

GEOMORFOLOŠKA EVOLUCIJA RIJEČNIH DOLINA I UŠĆA NA ISTARSKOM POLUOTOKU

prof. emeritus Čedomir Benac, dipl. ing. geol.

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
 Zavod za hidrotehniku i geotehniku
 Radmile Matejčić 3, Rijeka
 cbenac@gradri.uniri.hr

doc. dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ.

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
 Zavod za hidrotehniku i geotehniku
 Radmile Matejčić 3, Rijeka

doc. dr. sc. Igor Ružić, dipl. ing. građ.

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
 Zavod za hidrotehniku i geotehniku
 Radmile Matejčić 3, Rijeka

Maja Radišić, mag. ing. aedif.

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
 Zavod za hidrotehniku i geotehniku
 Radmile Matejčić 3, Rijeka

U radu su analizirane geomorfološke promjene u naplavnim dolinama i ušćima rijeke Dragonje, Mirne i Raše koje teku po istarskom poluotoku. Promjene su ustanovljene usporedbom povijesnih karata sa suvremenim. Najstarije karte za područje doline Raše datiraju iz druge polovice 18. stoljeća, a za područje Dragonje i Mirne iz prve polovice 19. stoljeća. Usporedba je pokazala izrazito veliku progresiju ušća Raše, a manje promjene na ušću Mirne, dok na ušću Dragonje nisu vidljive promjene zbog uređenja solane. Produkcija nanosa događa se zbog erozije lapora i fliša u uzvodnim područjima slivova. Većina sedimentata do ušća dolazi u obliku suspenzije. Nakon radova na regulaciji zaustavljeno je plavljenje u dolini Mirne i Raše, a u dolini Dragonje pedesetih godina 20. stoljeća. Nakon toga, promjene su vidljive samo po smanjenju dubine morskog dna oko ušća. Primjetno je smanjenje pronosa nanosa već od kraja 20. stoljeća, zbog smanjene obrade zemljišta i širenja šuma.

Ključne riječi: erozija, pronos nanosa, taloženje, riječno ušće, estuarij, Istra

1. UVOD

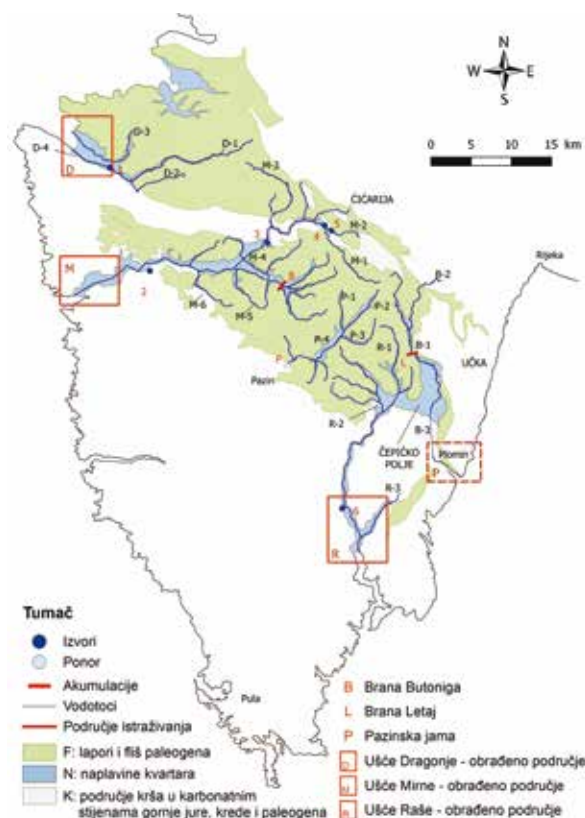
Morska razina je globalna granica iznad koje prevladavaju procesi erozije (trošenja stijena i odnošenja materijala), a ispod nje prevladavaju procesi akumulacije materijala. U skladu s oscilacijama morske razine tijekom geološke prošlosti, mijenjao se prostorni raspored i intenzitet erozije i akumulacije. Promjenom i rastom razine mora tijekom gornjeg pleistocena i holocena ušća rijeka su većim dijelom poplavljena te su nastali estuariji (Pirazzoli, 1996.). Usporavanjem globalnog rasta mora započinje obrnuti proces; intenzivna sedimentacija na ušćima, progresija obale, zatrpavanje estuarija i oblikovanje delti (Cowell i Thom, 1997.).

Uzajamnim suprotnim djelovanjem fenomena tektonskog tonjenja i hidroizostatskog dizanja terena postupno je počela stagnacija razine mora tijekom posljednjih pet tisućljeća u području sjevernog Jadrana (Pirazzoli, 2005.). To je vidljivo po položaju plimskih potkapina kao pretežito bioerozijskih oblika na

karbonatnim obalama zapadne (Favre i Fouache, 2003.) i istočne obale istarskog poluotoka (Benac et al., 2004.).

Središnji dio istarskog poluotoka, koji je geografski poznat kao Siva Istra, oblikovan je u paleogenskim sedimentnim stijenama: laporima i flišu (Vlahović et al., 2005.). Na tom je području razvijena površinska hidrografska mreža svih značajnijih istarskih vodotoka, a to su Dragonja, Mirna, Pazinski potok, Raša i Boljunčica (slika 1). Upojnost i vodopropusnost terena pretežito je mala pa je u razdobljima intenzivnih oborina dominantno površinsko otjecanje koje je često naglašeno bujičnog karaktera. Zbog ubrzanog trošenja i visoke erodibilnosti terena izražena je produkcija i pronos nanosa (Rubinić et al., 1998.). Zato je Siva Istra jedno od područja s najizraženijim bujičnim i erozijskim procesima na teritoriju Republike Hrvatske (Gulam et al., 2014.).

Produkcija nanosa, njegov transport u obliku vučenog i suspendiranog nanosa i onog u vodenoj suspenziji,



Slika 1: Pregledna geološka i hidrografska karta Istre (prema: Vlahović et al., 2005.): D-1 Dragonja, D-2 Argila, D-3 Drnica, D-4 kanal Sv. Odorika; M-1 Rečina, M-2 Draga, M-3 Bračana, M-4 Botonega, M-5 Muffrin, M-6 Krvar; P-1 Lipa, P-2 Borutski potok, P-3 Rakov potok, P-4 Pazinski potok; B-1 Boljunčica, B-2 Vranjska Boljunčica, B-3 hidrotehnički tunel; R-1 Posert, R-2 Karbunski potok, R-3 Krapanski potok; Izvori: 1-Bužin, 2-Gradole, 3-Bulaž, 4-Sv. Ivan, 5-Tombazin, 6-Rakonek

kao i akumulacija sedimenata, složeni je geomorfološki proces podložan znatnim oscilacijama (Charlton, 2008.). Shodno tomu, kao glavni cilj istraživanja bilo je ustanoviti intenzitet i moguće promjene tih procesa u dužem povijesnom razdoblju na području ušća rijeka na istarskom poluotoku. Na temelju dosadašnjih geoloških istraživanja i povijesnih podataka može se smatrati da su se i ušća Dragonje i Mirne nalazila u estuarijima, koji su s vremenom zatrpali pa su zato u posljednjim stoljećima u njima vidljive samo manje promjene. U znatno većem estuariju rijeke Raše primjetno je i tijekom posljednjih nekoliko stoljeća značajno pomicanje ušća (Benac et al., 2007.; Felja et al., 2015.).

Budući da su mjerenja pronosa nanosa obavljena samo mjestimično i u kratkim periodima (Rubinić et al., 1998.), jedna od mogućnosti određivanja njihovog intenziteta i promjene u vremenu je definicija veličine akumulacije sedimenata na temelju morfoloških promjena riječnih ušća. U skladu s time, u ovom je radu izvršena usporedba topografskih karata iz različitih povijesnih razdoblja sa suvremenim topografskim kartama za područja nizvodnog dijela toka i ušća Dragonje, Mirne i Raše. U prethodim istraživanjima ustanovljene su promjene položaja riječnih ušća ovih istarskih rijeka (Benac et al.,

1991; Benac et al., 2007.). U ovom je radu, uz precizniju kartografsku obradu geomorfoloških promjena, izvršena analiza uzročno-posljedičnih veza između produkcije pronosa nanosa, kao i progradacija riječnih ušća zbog sedimentacije.

2. GEOLOŠKA GRABA I MORFOGENEZA ISTARSKOG POLUOTOKA

U morfogenezi današnjeg reljefa i površinskog rasporeda naslaga na području Istre presudnu su ulogu imali pliocensko-pleistocenski tektonski pokreti koji su bili presudni za oblikovanje današnjeg reljefa i za sadašnji raspored naslaga na području Istre (Vlahović et al., 2005.). Zapadnoistarska antiklinala izgrađena od tektonski slabo poremećenih karbonatnih stijena, odnosno vapnenaca i dolomita gornjojurske i kredne starosti. Prema sjeveroistoku se pruža paleogenski bazen s foraminiferskim vapnencima u podini, iznad kojih se nalaze globigerinski lapori te siliciklastične stijene sa značajkama fliša u krovini (slika 1).

Globigerinski lapori su približne debljine 40 m i sadrže različite udjele karbonatnih i silicikalstičnih komponenti. Fliš, čija je ukupna debljina naslaga 90 do 100 m, može se podijeliti na dva dijela. Donji se dio flišnog kompleksa sastoji od ritmičke izmjene laporovitih i karbonatnih slojeva kojima debljina varira od 0,3 do megaslojeva debljine 7 m. Karbonatni slojevi sastavljeni su od konglomerata, foraminiferskih breča i pješčenjaka. U gornjem dijelu flišnog kompleksa istaložene su tankoslojevite karbonatno-siliciklastične turbiditne naslage (Bergant et al., 2003.).

Lapori i flišni slijed naslaga protežu se od Tršćanskog zaljeva na zapadu do hrpta Učke na istoku (slika 1). Te sedimentne stijene imaju gotovo horizontalni položaj slojeva, što je pokazatelj njihove slabe tektonske poremećenosti. Nasuprot tomu, u planinskoj skupini Čičarija nalaze se tektonski jako poremećene gornjokredne i paleogenske stijene sa značajkama ljuskave strukture. Područje planinskog hrpta Učke u geološkom smislu je tektonski jako poremećena i višestruko navučena antiklinalna struktura (Vlahović et al., 2005.; Velić i Vlahović, 2009.).

U morfološkom razvoju istarskog poluotoka globigerinski lapori i naslage fliša tvore glavninu stijenske mase koja je u cjelini podložna brzom razgradnji i stoga izrazito erodibilna. Upravo zbog toga, u procesu morfogeneze područja Istre, tijekom pleistocena pa i holocena, zbivala se značajna diferencijalna erozija terena izgrađenih od paleogenskih stijena. Na dijelovima terena gdje su više zastupljeni otporniji pješčenjaci i breče i konglomerati, stvorena su uzvišenja, dok su udubljena u reljefu postupno ispunjena erodiranim sedimentima (Mihljević, 1998.). U isto se vrijeme na karbonatnim stijenama odvijao znatno sporiji proces okršavanja. Zbog toga danas karbonatna stijenska masa ima obilježja krša; površinski vodotoci su rijetki, a kretanje podzemne vode

dogada se duboko u podzemlju (Biondić B. i Biondić R., 2014.). Nasuprot tomu, tereni oblikovani u laporima i naslagama fliša uglavnom su vodonepropusni te imaju gustu mrežu površinskih vodotoka (slika 1).

Relativno nagle promjene erozijske baze tijekom gornjeg pleistocena bile su prouzročene čestim oscilacijama razine Jadranskog mora (Benac i Juračić, 1998.). Pretpostavljena razina mora u sjevernom dijelu Jadrana nalazila se prije 10.000 godina na oko 40 m niže, dok se prije 4.000 godina nalazila svega 2 do 2,5 m u odnosu na sadašnju razinu (Lambeck i Purcell., 2005.). More je tijekom holocena poplavilo duboko usječene riječne doline Dragonje, Mirne i Raše, pa su nastali estuariji. Usporeni rastom i stagnacijom morske razine u području sjevernog Jadrana tijekom posljednjih milenija, stvoreni su uvjeti za zatrpavanje potopljenih riječnih dolina. Na taj su način postupno ispunjene sedimentima riječne doline Mirne i Dragonje, a djelomično i estuarij Raše. Na spori relativni rast morske razine ukazuje i položaj brojnih antičkih lučkih građevina (Surić, 2009.).

3. KARTOGRAFSKI IZVORI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Da bi se mogla izvršiti usporedba geomorfoloških promjena u naplavnim dolinama rijeka na istarskom poluotoku, kao i progresija njihovih ušća, bilo je potrebno pronaći odgovarajuće i dovoljno precizne povijesne topografske karte u muzejima i arhivima.

Kartografski prikazi do 18. stoljeća su vrlo generalizirani pa stoga nije moguća dovoljno točna usporedba sa suvremenim topografskim kartama. Jedna od takvih karata je regionalna karta Istre, autora Petra Kopačića iz 1525. godine (Slukan Altić, 2003.). Prva sustavna topografska izmjera Austrougarskog carstva nije obuhvatila područje Istre, koja se tada nalazila u sklopu Mletačke Republike. Međutim, pronađena je topografska karta iz 1771. godine na kojoj je ucrtana dolina rijeke Raše u mjerilu 1:28.800 (Topografska karta Markgrofovije Istre, 1771.).

Dovoljno precizne topografske karte s područja Jadrana datiraju tek iz prve polovice 18. stoljeća, kada počinje sveobuhvatna geodetska izmjera ondašnjeg teritorija Austrougarskog carstva (Lovrić, 1988.). Prve takve karte na kojima je prikazan istarski poluotok napravljene su u sklopu druge i treće izmjere teritorija Austrougarskog carstva, obje u mjerilima 1:28.800 (Topografska karta Istre, 1824.; Topografska karta Istre, 1882.)

Usporedbom tih dviju karata pokazalo se da su razlike u morfologiji riječnih ušća Dragonje i Raše neznatne, odnosno unutar granice točnosti georeferenciranih karata. Stoga su u daljnjoj obradi korištene karte treće izmjere čija izrada za područje Istre datira iz 1882. godine. Nasuprot tomu, u dolini i na ušću rijeke Mirne vidljive su promjene pa su kao takve i ucrtane. Također su korištene i preciznije karte Kraljevine Italije iz 1930. godine u mjerilu 1:25.000 (Topografska karta Istre, 1930.).

Navedene karte su skenirane, i geokodirane pomoću računalnog programa AutoCAD Map 3D (Autodesk). Tom metodom sve karte se nalaze u identičnom geografskom koordinatnom sustavu, a deformacije koje su nastale zbog starosti svedene su na minimum, s obzirom na samo izobličenje karata i preciznost izmjere.

Novije promjene, počevši od 1968. godine, analizirane su na ortofoto kartama pomoću preglednika (DGU, 2017; MGIPU, 2017), ali nisu uočene promjene u odnosu na starije karte. Rezultati ustanovljenih geomorfoloških promjena u sklopu provedenog istraživanja uneseni su na topografsku kartu u mjerilu 1:25.000 iz 2011. godine (TK 25: listovi Umag, Buje, Luka Mirna, Višnjan, Raša, Rakalj). Zbog potrebnog smanjivanja prilagođenog tisku u ovom časopisu i bolje čitljivosti topografskih oznaka, podatci o morfološkim promjenama korita i ušća prikazani su na topografskim kartama TK 1:100.000 (listovi 366 i 367).

4. HIDROGRAFSKE ZNAČAJKE, PRODUKCIJA I PRONOS NANOSA

Istarsko pobrđe, odnosno područje Sive Istre, ima sve fiziogenetske predispozicije za razvoj erozije prouzročene djelovanjem vode. Uzrok toj pojavi je višestruk i kompleksan, a najznačajniji faktori su energija reljefa, nagib i orijentacija kosina, litološki sastav osnovne stijene, vrsta i gustoća vegetacijskog pokrova, kao i mikroklimatske značajke (Zorn, 2009. a; Gulam, 2012.).

Istarsko pobrđe je oblikovano u siliciklastičnim stijenama u čijim se sitnozrnastim naslagama, kao što su glinci, siltiti i lapori, izrazito brzo odvija fizičko-kemijska razgradnja. Nasuprot tomu, kalcitični pješčenaci i brečokonglomerati znatno su postojaniji. Postupnom fizičko-kemijskim trošenjem sitnozrnastih litoloških članova iz osnovne stijene nastaje glinovito-prahovita zona raspadanja. Takav materijal je podložan ubrzanom eroziji. Veći nagibi kosina potiču plošnu eroziju koja s vremenom, uslijed degradacije vegetacijskog pokrova, prelazi u tip erozije brazdanjem i jaružanjem (slika 2). Na ogolinama koje čine oko 2 % ukupne površine u Sivoj Istri, prosječni godišnji iznos denudacije je 1 do 4 cm godišnje (Gulam et al., 2014.). Ustanovljeno je da je erozija prouzročena ispiranjem izrazito sezonskog karaktera pa se visoka produkcija i pronos nanosa događa uglavnom u toplijem dijelu godine pri pojavama intenzivnih oborina nakon dužih sušnih razdoblja. Uslijed erozije javlja se povećana koncentracija suspendiranog nanosa u površinskim vodama (Mihljević, 1998; Rubinić et al., 1998.).

Jaruge su područja ekstremno ekscesivne erozije gdje je produkcija nanosa čak i do 8.000 puta veća od područja pod vegetacijom i s debljom zonom pedosfere. Najveća specifična produkcija nanosa od 10000 m³/km² ustanovljena je upravo u jarugama okruženim ogolinama na kojima prevladavaju sitnoklastični litološki članovi flišne stijenske mase. Na plitkom tlu, gdje je vegetacijski

pokrivač većim dijelom degradiran, produkcija nanosa je oko 3.500 m³/km² (Jurak et al., 2002.).



Slika 2: Ogoline u slivu Boljučice, na zapadnom rubu Boljunske polja (snimio Č. Benac)

Rijeka Dragonja duga je 28 km, a površina sliva je 95,6 km². Riječni tok nastaje spajanjem više potoka kod Gračišća koji teku po terenu oblikovanom laporima i flišu. Donji tok Dragonje je naplavna ravnica s melioriranim poljoprivrednim površinama. S južne strane do korita dolazi voda iz vodotoka Argila i krškog vrela Bužin. Tu je vodotok Dragonje u razdoblju nakon 2. svjetskog rata preusmjeren u obodni kanal Sv. Odorika (Kos, 2005.), dok kroz staro korito u more teku vode iz desnog pritoka Drnica (slika 1). Dragonja ima pluvijalni riječni režim sredozemnog tipa. Ljeti često presuši, a pri većim kišama zimi vodostaj brzo naraste pa rijeka poplavljuje okolno područje (Požeš, 2005.).

Izračunata godišnja količina produkcije nanosa u 1971. g. je bila 28.168 m³, a u 1995. godini svega 11.102 m³, dok je u tom razdoblju ustanovljeno povećanje vegetacijskog pokrivača u slivu Dragonje za 25 do 65% (Globevnik et al., 2003.).

Precizna mjerenja erozije na parcelama u uzvodnom dijelu sliva Dragonje tijekom jednogodišnjeg razdoblja između svibnja 2005. i travnja 2006. godine pokazala su izrazito velike razlike u intenzitetu erozije jaružanjem od 9 do 415 g/m², što zavisi o veličini otjecanja, nagibu terena, kao i vrsti i gustoći vegetacije (Zorn, 2009.a). Mjerenja na ogolinama oblikovanim u flišnoj stijenskoj masi, tijekom 2005. i 2006. godine, pokazala su da je prosječno produkcija nanosa čak 80 kg/m² (Zorn, 2009. b).

Rijeka Mirna je najduži površinski vodotok u Istri. Ukupne je duljine 53 km, dok je površine neposrednog sliva oko 380 km² (Mičetić i Petrović, 2001.). Ukupan hidrološki sliv dvostruko je veći zbog prihranjivanja Mirne iz više vrlo izdašnih krških izvora (Biondić, B. i Biondić, R., 2014.). Uzvodni dio sliva Mirne nalazi se na padinama oblikovanim u laporima i flišu, ispod padina Čičarije, gdje se spajaju vode dvaju njenih glavnih bujičnih ogranaka: Rečine i Drage, a kojima se pridružuju i vode izvora Tombazin i Sv. Ivan kod Buzeta. Nizvodno od Buzeta korito Mirne prolazi kroz kanjon duljine oko 5 km, usječen u karbonatne stijene. Tu se u Mirnu ulijeva i značajni desni prtok Bračana (slika 1).

Nakon kanjona, dolina Mirne proširuje se u naplavnu ravnica koja je kod toplica Sv. Stjepana široka oko 1 km. Na tom se dijelu tok Mirne prihranjuje vodom iz snažnog krškog vrela Bulaž. Najznačajniji lijevi prtok je Butoniga s više bujičnih pritoka u uzvodnoj zoni oblikovanoj u flišnoj stijenskoj masi. Nizvodno, u blizini spajanja Butonige i njenih pritoka Dragučkog i Račićkog potoka, 1988. godine formirana je akumulacija. Nizvodno od utoka Butonige nalaze se značajniji lijevi pritoci: Muftrin i Krvar (slika 1), a još nizvodnije, u donjem dijelu toka, nalazi se jako krško vrelo Gradole, čije preljevne vode daju značajne količine vode neposrednom slivu Mirne.

Prema novim istraživanjima, upravo u slivu Butonige ogoline i ogoljele površine čine 16 % površine sliva na flišu i laporima, što je najviše u odnosu na cijeli sliv Mirne, pa su tu erozija i produkcija nanosa najizraženiji (Gulam, 2012.). U prošlosti se rijeka Mirna učestalo izlivala iz korita pa je sedimentacija uzduž njezine doline bila intenzivna. Prilikom iskopa za novu regulaciju Mirne, šezdesetih godina 20. stoljeća, otkopani su panjevi posječanih stabala kod Motovuna. Razina doline na toj lokaciji je prosječno 9 m n. m., a panjevi su se nalazili približno 4,5 m niže. Provedenom laboratorijskom analizom poluraspada izotopa ugljika ¹⁴C ustanovljeno i prema srednjoj vrijednosti dendrokronološke korekcije, godina sječe stabala datira u 1505 +/- 70 godinu. Na temelju tadašnje i sadašnje razine doline procijenjeno je prosječno podizanje dna doline Mirne ispod Motovuna za oko 0,9 do 1,0 cm/god. (Rubinić et al., 1998.).

Korito Mirne je tijekom posljednjih stotinu godina regulirano čitavim njenim dolinskim tokom. To je imalo vrlo značajan utjecaj na intenzitet pronosa nanosa i na njegovu sedimentaciju koja se od tada odvija gotovo u cijelosti na ušću Mirne u Tarskoj vali. Tu je izgrađen hidromelioracijski sustav čije su površine dijelom i niže od razine mora, pa se odvodnja obavlja i putem crpne stanice (Mičetić i Petrović, 2001.).

Pazinski potok je najduža istarska ponornica koja vodu dobiva sa svojih ogranaka Lipe, Borutskog i Rakovog potoka i više manjih bujičnih tokova koji teku po terenu oblikovanom u laporima i flišu. Površina sliva Pazinskog potoka je oko 77 km² (Mičetić i Petrović, 2001.). Nizvodni dio toka djelomično je reguliran. Sve te vode završavaju

u ponoru Pazinske jame, a odatle podzemnim tokovima prihranjuju izvore u dolini Raše (Biondić, B. i Biondić, R., 2014.; [slika 1](#)). Na taj način u dolinu Raše dolaze i sitnozrnasti sedimenti u suspenziji.

Sliv Pazinskog potoka obilježava manji udio ogolina i ogoljelih površina u odnosu na susjedne slivove Mirne, Raše i Boljunčice: 0,8 do 2,1 % (Gulam, 2012.). Stoga u tom području erozija i pronos nanosa nisu toliko intenzivni.

Rijeka Raša duga je 50 km, a ima površinu neposrednog sliva od oko 180 km², a ukupni sliv barem je dvostruko veći. Svoj tok započinje spojem najsjevernijeg pritoka vodotoka Posert i Karbunskog potoka na naplavnoj ravnici kod naselja Potpićan (Mičetić i Petrović, 2001.; [slika 1](#)). U srednjem toku Raša prima vodu iz nekoliko većih stalnih i povremenih krških izvora (Bolobani, Češljari, Sušmica, Sv. Anton, Sušak, Grdak i Rakonek) do kojih voda dolazi kroz krško podzemlje iz sliva Pazinskog potoka (Rubinić, 1994.).

U području slivova pritoka rijeke Raše koji teku po terenu oblikovanom u laporima i flišu, zastupljenost ogolina i ogoljelih površina je iznimno visoka; do 20 % površine. Stoga su erozija i produkcija nanosa relativno visoki (Gulam, 2012.).

Glavni pritoci rijeke Raše, Karbunski potok i Posert, mogli su prije regulacije prihvatiti samo male i srednje vode. Velike vode redovito su se izljevale po dolini, noseći dio nanosa koji je tu istaložen. Nizvodnije u Raškom polju, u Rašu se ulijeva Krapanski potok ([slika 1](#)). Nakon regulacije korita sve vode teku u korito rijeke Raše, čime je spriječeno periodično plavljenje doline. Međutim, povećana je transportna snaga vode pa nanos gotovo u cijelosti dospijeva do riječnog ušća (Juračić et al., 1995.).

Vodotok Boljučice je ukupne duljine oko 20 km, a površina neposrednog sliva od oko 136 km² (Kos, 2005.). Izvorišni dio oblikovan je u flišu i manjim dijelom u laporima po kojem teku Boljučica i Vranjska Boljunčica čiji se tokovi spajaju u Boljunskom polju. Udio ogolina i ogoljelih površina na površini sliva koji je oblikovan u laporima i flišu izrazito je visok; ukupno 8,3 % (Gulam, 2012.).

Na kraju Boljunskog polja izgrađena je brana Letaj radi prihvata bujičnih voda, ali se od njene izgradnje 1970. godine u zaplavu akumulacije nataložila i vrlo velika količina nanosa. Prosječna godišnja količina nanosa je 20.500 m³. Boljunčica je do tridesetih godina 20. stoljeća tekla do jezera u današnjem Čepičkom polju koje je otjecalo u rijeku Rašu. Nakon što je 1932.g. prokopan hidrotehnički tunel duljine 4,5 km, voda Boljunčice izljevava se u Plominski zaljev ([slika 1](#)). Od tada je počela intenzivna sedimentacija, tako da je do devedesetih godina 20. stoljeća u cijelosti zatrpalo područje nekadašnje luke ispred naselja Plomin. Procijenjeni pronos nanosa u zaljev iz sliva Boljunčice procijenjen je na oko 15.000 m³/god. Produbljivanjem Plominskog zaljeva u području luke 1999. godine iskopano je i izmješteno oko 610.000 m³ muljevutih sedimenata (Rubinić et al., 2007.).

5. REZULTATI

Nakon skeniranja i digitalne obrade karata iz povijesnih arhiva, kao i njihove usporedbe s novijim kartama, dobiveni su dovoljno sigurni rezultati na temelju kojih se može izvršiti procjena morfološke evolucije riječnih ušća Dragonje, Mirne i Raše.

5.1. Rijeka Dragonja

Usporedbom topografskih karata iz 1824., 1882., 1930. i 2011. godine, ustanovljeno je da se položaj korita nije značajnije mijenjao uzvodno od mjesta Škrile, dok je na karti iz 2011. godine vidljivo da je tok Dragonje preusmjeren u desni obuhvatni kanal Sv. Odorika, što je napravljeno u razdoblju od 1948. do 1954. godine (Kos, 2005.). Od tada je djelomično promijenjena dinamika taloženja u Piranskom zaljevu. Položaj obalne linije oko ušća nije promijenjen, što se može protumačiti uređenjem obale zbog zaštite nekadašnjih solana ([slika 3](#)).

Prema raspoloživim saznanjima, procesi taloženja nanosa na ušću Dragonje u Piranskom zaljevu nisu dosad sustavno istraženi ([slika 4](#)).



Slika 3: Morfološka evolucija doline i ušća rijeke Dragonje



Slika 4: Ortofotokarta ušća Dragonje iz 2006. godine (DOF 5, listovi: B190162B, B190262D)

5.2. Rijeka Mirna

Usporedbom topografskih karata iz 1824., 1882., 1930. i 2011. godine, vidljiv je pomak od približno 350



Slika 5: Morfološka evolucija doline i ušća rijeke Mirne

m sjeverno od ušća, dok pomicanje obalne linije prema dolini južno od ušća može biti posljedica građevinskih zahvata (slika 5).

Prvi prokopi na ostrim krivinama i produbljivanje korita Mirne obavljani su već u razdoblju od 1829. do 1830. godine. Opsežniji radovi na regulaciji nizvodnog dijela doline Mirne, od ušća do Ponte Portona, koji su uključivali i značajno premještanje korita, započeli su 1902. godine i s prekidi-ma trajali sve do 1955. godine. Do 1975. godine završena je regulacija uzvodnog dijela doline, sve do toplica Sv. Stjepana. Posljednji veliki građevinski zahvat u slivu rijeke Mirne završen je 1988. godine. To je bila izgradnja brane i formiranje akumulacije na lijevoj pritoci Butonige (Kos, 2005.).

Na taj je način korito Mirne tijekom posljednjih stotinjak godina regulirano čitavim njenim dolinskim tokom. To je imalo značajan utjecaj na intenzitet pronosa nanosa i na njegovo taloženje koje se danas događa gotovo u cijelosti na ušću Mirne u Tarskoj vali (slika 6).

5.3. Rijeka Raša

Usporedbom topografskih karata iz 1771., 1824., 1882., 1930. i 2011. godine vidljiva je vrlo izražena migracija riječnog ušća do tridesetih godina 20. stoljeća; oko 4 km u posljednjih 240 godina. Analizom povijesnih karata također je ustanovljena lateralna migracija korita rijeke Raše prema istoku u uzvodnom dijelu doline. To je karakteristično za rijeke male brzine vode s naglašenom bočnom erozijom.

Ušće Raše se krajem 19. stoljeća premjestilo prema istočnom kraku estuarija, gdje je uz glavni tok Raše počelo intenzivnije taloženje pa je nastalo Krapansko jezero. Njegove vode su bile bočate, a osim okolnih vodotoka u to su jezero utjecale vode iz krških izvora Fonte Gaia i Kokoti (slika 7).

Prvi radovi na regulaciji Raškog polja odvijali su se od 1902. do 1908. godine. Nastavak radova odvijao se od 1925. godine do 1941. godine. U sklopu tih opsežnih radova izvršen je prokop tunela i isušivanje jezera u Čepićkom polju, koje je do tada istjecalo u rijeku Rašu. Također je isušeno Krapansko jezero i uređeno ušće rijeke Raše. U razdoblju od 1958. do 1963. godine završena je posljednja, 5. etapa regulacije doline Raše, koja je



Slika 6: Ortofoto karta ušća Mirne iz 2004. godine (DOF 5, list: 5B18-12-DOF)

uključivala i melioracijske radove u Potpićanskom i Posertskom polju (Kos, 2005.).

Primjetno smanjivanje dubine mora oko ušća jasan je pokazatelj pronosa i akumulacije nanosa. Usporedbom karata mjerila 1:5.000 ustanovljeno je da je morsko dno na ušću Raše postalo pliće za 4 do 5 m između 1950. i 1980. godine (Benac et al., 1991.). Također je ustanovljeno da se taloženje ne zbiva jednoliko, već pretežito zapadno od ušća, kao i u koritastom morfološkom udubljenju uz istočnu obalu između obalnih građevina u Bršicama i naselju Trget (Juračić et al., 1995.; slika 8).

6. RASPRAVA

Na naizgled gotovo nepromjenjivim obalama Istre, ali i ostalog dijela hrvatske obale Jadranskog mora, estuariji su geomorfološki vrlo dinamični. Do sada nije razjašnjen nastanak dubokih paleodolina, u ovom radu obrađenih ušća Dragonje, Mirne i Raše, ali isto tako i današnjeg Limskog kanala i Plominskog zaljeva. O mogućim starijim ciklusima erozije i sedimentacije nema za sada pouzdanih znanstvenih dokaza.

Posljednji ciklus sedimentacije i zatrpavanja estuarija povezan je sa stagnacijom razine mora u sjevernom Jadranu koje je počelo prije približno 5.000 godina (Pirazzoli, 2005.). Sukladno tomu, na temelju rezultata makro i mikro paleontoloških analiza sedimenata iz jezgri bušotina u dolini rijeke Mirne, ustanovljeno je da se estuarij protezao 7 km uzvodno u odnosu na sadašnji položaj ušća prije približno 7.000 godina (Felja et al.,

2015.). Nakon toga počinje progresija ušća rijeke Mirne. Slični scenariji vjerojatno su se događali u potopljenim dolinama ondašnje Dragonje, ali i Raše, gdje je pronađena marinska makrofauna približno 4 km uzvodnije od sadašnjeg ušća (Benac et al., 1991.).

Procesi erozije i sedimentacije nanosa na riječnim ušćima su u većini slučajeva rezultat djelovanja različitih prirodnih čimbenika, koji se mijenjaju, ali uglavnom na duljoj vremenskoj ljestvici (Nichols i Biggs, 1985.). Antropogenim utjecajima prouzročeni erozijski procesi u slivu, pa tako i produkcija nanosa, mogu se u puno kraće vrijeme značajno ubrzati ili usporiti. To, naravno, ima bitan utjecaj na taloženje u naplavnim ravninama rijeka i na geomorfološke promjene na njihovim ušćima.

Indikativni su rezultati paleoekoloških istraživanja u sedimentima nekadašnjeg jezera na Čepičkom polju (Balba et al., 2006.). Dokazano je da je brzina sedimentacije u razdoblju od 7.000 do 4.000 godina p.n.e. bila 1 mm/god., a od tada do sadašnjosti je povećana je na 3,5 mm/god. Razlog toj promjeni povezan je s klimatskim varijacijama, ali i antropogenim utjecajem, odnosno smanjenjem gustoće vegetacije čija je posljedica povećanje erozije. Temeljem rezultata makro i mikro paleontoloških analiza sedimenata iz jezgri bušotina, također je ustanovljeno značajno povećanje pronosa sedimenata približno od 4. stoljeća nove ere (Felja et al., 2015.). Moguće je da su već u tom razdoblju nastale ogoline karakteristične

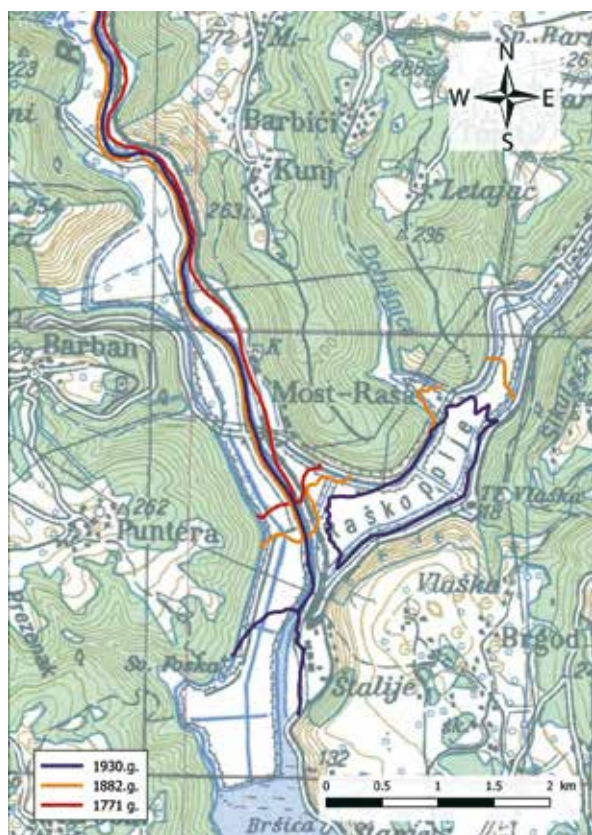
za područje Sive Istre gdje je produkcija nanosa najveća (Zorn, 2009. b; Gulam, 2012.).

Nadalje, na jednoj od prvih regionalnih karata Istre, autora Petra Kopića iz 1525. godine, ucrtana je močvarna zona na ušću Dragonje, estuarij Mirne nekoliko kilometara uvučen u kopno i također duboki estuarij Raše, čiji tok počinje od nekadašnjeg jezera u Čepičkom polju (Slukan Altić, 2013.). Međutim, ta je karta vrlo neprecizna, kao i druge geografske karte iz tog razdoblja, pa može poslužiti samo kao indicacija.

Tek na temelju digitalne obrade dostupnih topografski karata iz druge polovine 18. stoljeća za dolinu rijeke Raše, i/ili topografskih karata iz 19. i prve polovine 20. stoljeća za sve tri rijeke bilo je moguće napraviti objektivno rekonstrukciju geomorfoloških promjena na riječnim ušćima (slike 3, 5 i 7).

Gotovo svi sedimenti koje riječni tokovi Dragonje, Mirne i Raše transportiraju do ušća dolaze u obliku suspenzije. Razlog tome je erozija sitnozrnastih naslaga (lapora i fliša) u njihovim slivovima. Naravno, količina sedimenata unutar navedenih slivova jako varira u ovisnosti o hidrološkim prilikama, budući da sve tri rijeke imaju bujična obilježja (Mičetić i Petrović, 2001.).

Laboratorijskim analizama je ustanovljeno da su sedimenti koji rijeka Mirna donosi do svog ušća, prema granulometrijskom sastavu glinoviti prah (Janeković et al., 1995). Većina suspendiranog nanosa podrijetlom je iz erodiranih ogolina i ogoljelih površina oblikovanih u



Slika 7: Morfološka evolucija doline i ušća rijeke Raše



Slika 8: Ortofoto karta ušća Raše iz 2004. godine (DOF 5, list: 5C16-27-DOF)

laporima i flišu. Međutim, produkcija nanosa se zbiva i nizvodno, jer u svom donjem toku korito Mirne nije bilo u cijelosti zaštićeno od bočne erozije. Stoga je tijekom visokog vodostaja dolazilo do pojačane bočne erozije pa i manjih odrona pretežito glinovito-prahovitog materijala u korito (slika 9).

Većina sedimentata taloži se u Tarskoj vali, neposredno uz ušće, zbog male energije morskih mijena te vjetrorenih valova i morskih struja (Janeković et al., 1995.). Zbog sličnih morfoloških i oceanografskih obilježja, vjerojatno je da se procesi sedimentacije odvijaju na sličan način i na ušću Dragonje (slike 4 i 6). Nažalost, dovoljno precizna periodična mjerenja dubina morskog dna u Piranskom zaljevu, Tarskoj vali i u Raškom zaljevu nisu obavljena. Provedbom tih mjerenja mogu se dobiti podatci o intenzitetu sedimentacije i neizravno o intenzitetu erozije u slivovima ovih rijeka.

U isto vrijeme, iz rezultata usporedbe povijesnih karata, uočljivo je i značajno brže zatrpavanje estuarija rijeke Raše kao i migracija riječnog ušća u odnosu na ušća Mirne i Dragonje (slike 3, 5 i 7). Jedan od značajnih razloga je podatak da je sve do isušivanja jezera u Čepičkom polju i prokopavanja hidrotehničkog tunela prema Plominskom zaljevu sliv Rijeke Raše obuhvaćao i sliv Boljunčice, gdje je produkcija nanosa osobito izražena, a vjerojatno je da je slična ili čak veća bila tijekom 18. i 19. stoljeća.

Usporedbom dubina morskog dna u estuariju Raše na temelju karata iz 1938. i 1968. godine bilo je vidljivo smanjenje dubina oko ušća, a procijenjena količina istaloženih sedimentata procijenjena je na oko 2,000.000 m³ (Bakota, 1986.). Revizijom podataka ustanovljeno je da se u tom razdoblju istaložilo oko 1,450.000 m³ sedimentata, ili prosječno 48.500 m³/god. od čega više od 90 % dolazi u obliku suspenzije. Veći se dio taloži u 3 kilometra dugačkoj zoni prodelte gdje se zbiva miješanje riječne i morske vode (Juračić et al., 1995.; slika 8).

Državni hidrometeorološki zavod obavljao je mjerenja koncentracija i pronosa suspendiranog nanosa na profilu Potpićan – Raša od 1976. do 2014. godine. Srednji godišnji pronos nanosa u tom razdoblju bio je oko 12.600 m³. Budući da to nije cjelokupni sliv Raše, ukupna količina sedimentata koja dopijeva do ušća vjerojatno je nešto veća, budući da se nizvodno od mjesta mjerenja vode iz Krapanskog potoka ulijevaju u korito Raše vode iz Krapanskog potoka. Osim toga, u rijeku Rašu ulijevaju se vode iz nekoliko većih stalnih ili povremenih krških izvora do kojih voda dolazi iz sliva Pazinskog potoka, što je razlog periodične pojave iznimne mutnoće njihovih voda (Rubinić, 1994.; Rubinić et al., 1998.). Intenzivna sedimentacija je posljedica procesa flokulacije (Sondi et al., 1995.).

Iz usporedbe ortofoto karata iz 1966. godine s onima iz 2004. i 2012. godine jasno je vidljivo povećanje površina koje pokriva šumska vegetacija na cjelokupnom području Sive Istre. To je temeljni razlog značajnog smanjenja pronosa nanosa, a posljedično i taloženja u estuariju Raše, ali i u slivovima Dragonje i Mirne.

Sedimentna tijela širine nekoliko stotina metara i



Slika 9: Bočna erozija i odroni uz korito rijeke Mirne (snimio Č. Benac)

mjestimične dubine preko sto metara u dolinama Dragonje, a pogotovo Mirne i Raše, sastavljena su od vodonepropusnih glinovito-prahovitih sedimentata, lokalne su hidrogeološke barijere. Njihovim relativno brzim širenjem prema moru mijenjala se i dinamika podzemnih voda u okolnom krškom podzemlju. Te pojave su utjecale na postupno smanjenje slanosti krških izvora u dolini Raše kao što je izvor Rakonek, koji se sada nalazi nekoliko kilometara uzvodno od ušća. Moguće je da su neki od tih izvora bili zaslanjeni samo prije nekoliko stoljeća, kao što je to danas krško vrelo Blaz na zapadnoj obali Raškog zaljeva.

7. ZAKLJUČCI

Dinamika progresije ušća rijeke Dragonje, Mirne i Raše na istarskom poluotoku kao i dinamika procesa sedimentacije na tim prostorima ustanovljena je na temelju usporedbe dovoljno preciznih povijesnih karata s onim suvremenim. Najstarije takove karte za područje doline Raše datiraju iz druge polovine 18. stoljeća, a za područje Dragonje i Mirne iz prve polovice 19. stoljeća. Usporedba topografskih karata iz različitih razdoblja pokazala je izrazito velike promjene u estuariju rijeke Raše, znatno manje na ušću Mirne. Na povijesnim kartama nisu vidljive promjene na obalama oko ušća Dragonje, jer su u to vrijeme već bili izgrađeni bazeni solane. Razlozi različite progresije ušća Mirne i Raše su različita produkcija nanosa i erozijska moć vodotoka u slivovima ovih rijeka, ali i djelomično različiti okoliši taloženja. Sedimentacija na ušćima Dragonje i Mirne izložena je djelovanju valova i morskih struja. Nasuprot tomu, u dubokom estuariju Raše zbiva se u 3 kilometra dugačkoj zoni miješanje riječne i morske vode.

Do tridesetih godina 20. stoljeća zaustavljen je proces prirodnih geomorfoloških procesa na ušćima Mirne i Raše zbog regulacije njihovih dolinskih dijelova korita. Izgradnjom kanala Sv. Odorika i premještanjem korita Dragonje, promjene na ušću Dragonje završene su sredinom 20. stoljeća. Na taj je način gotovo prestalo taloženje u nekadašnjim naplavnim ravninama.

Prevladavajuća količina sedimentata koje riječni toko-

vi Dragonje, Mirne i Raše transportiraju do ušća dolazi u obliku suspenzije. Produkcija nanosa događa se zbog ubrzanog trošenja i erozije sitnozrnastih naslaga (lapora i fliša) u uzvodnim područjima njihovih slivova. Nakon regulacije nizvodnih dijelova riječnih dolina, sedimenti doneseni riječnim tokovima talože se u užoj ili široj zoni oko ušća, što se može vidjeti po smanjenju dubina morskog dna.

Primjetno je smanjenje pronosa nanosa već od kraja 20. stoljeća. Temeljni razlog je smanjenje korištenja poljoprivrednog i šumskog zemljišta i povećanje površina koje su pokrivene gustim sklopovima šumske vegetacije. Na taj način antropogeni procesi dodatno utječu na prirodne procese produkcije i pronosa nanosa, kao i na njegovo taloženje. ■

LITERATURA

- Balbo, L. A.; Andrić, M.; Rubinić, J.; Moscariello, A.; Miracle, P. T. (2006.): Palaeoenvironmental and Archaeological Implications of a Sediment Core from Polje Cepic, Istria, Croatia. *Geologija Croatica*, 59 (2), 107-122.
- Bakota, J. (1986.): *Vodoprivredna rješenja za izradu prostornog plana lučko-industrijske zone Raša (Erozija-Bujice)*. Knjiga III, Vodoprivreda, Rijeka.
- Benac, Č.; Arbanas, Ž.; Pavlovec, E. (1991.): Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše. *Pomorski zbornik*, 29, 475-492.
- Benac, Č.; Juračić, M. (1998.): Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Wuerm) and Holocene in the Kvarner region. *Acta Geographica Croatica* 33, 27-45.
- Benac, Č.; Juračić, M.; Bakran-Petricioli, T. (2004.): Submerged tidal notches in the Rijeka Bay NE Adriatic Sea: indicators of relative sea-level change and of recent tectonic movements. *Marine Geology*, 212, 21-33.
- Benac, Č., Rubinić, J.; Ružić, I.; Celija, I. (2007.): Geomorfološka evolucija riječnih ušća na istarskom poluotoku. *Zbornik radova 4. Hrvatske konferencije o vodama* (ur. Greš, D), 273-280. Hrvatske vode, Zagreb.
- Bergant, S.; Tišljar, J.; Šparica, M. (2003.): Eocen carbonates and flysch deposits of the Pazin basin. *22nd IAS meeting of sedimentology Opatija. Field trip guidebook* (ur. Vlahović, I., Tišljar, J.), 57-63.
- Biondić, B.; Biondić, R. (2014.): *Hidrogeologija dinarskog krša u Hrvatskoj*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Charlton, R. (2008.): *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. Routledge, Abingdon-New York, U.S.A.
- Cowell, P. J.; Thom, B. G. (1997.): Morphodynamics of coastal evolution. *Coastal evolution* (ur. Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D.), 33-86, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Faivre, S.; Fouache, E. (2003.): Some tectonic influences on the Croatian shoreline evolution in the last 2000 years. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 47(4), 521-537.
- Felja, I.; Fontana, A.; Furlani, S.; Barjaktarević, Z.; Paradžik, A.; Topalović, E.; Rossato, S.; Čosović, V.; Juračić, M. (2015.): Environmental changes in the lower Mirna River valley (Istria, Croatia) during the Middle and Late Holocene. *Geologia Croatica*, 68 (3), 209-224.
- Globevnik, L.; Holjević, D.; Petkovšek, G.; Rubinić, J. (2003.): Applicability of the Gavrilović method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. *IAHS publication*, (ur. De Boer, D., Froehlich, W., Mizinjama, T., Pietroniro, A.), 279, 224-232, Sapporo, Japan.
- Gulam, V. (2012.): *Erozija ogolina u flišu središnje Istre*. Doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Gulam, V.; Pollak, D.; Podolszki, L. (2014.): The analysis of the flysch badlands inventory in central Istria, Croatia. *Geologia Croatica*, 67(1), 1-15.
- Janeković, M.; Juračić, M.; Sondi, I. (1995.): Sedimentacijske osobitosti rijeke Mirne (Istra, Hrvatska). *1. Hrvatski geološki kongres. Zbornik radova 1* (ur. Vlahović, I., Velić, I., Šparica, M.), 225-227. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Juračić, M.; Sondi, I.; Rubinić, J.; Pravdić, V. (1995.): Sedimentacija u neravnotežnom estuariju pod utjecajem rijeke: krški estuarij Raše, Hrvatska. *1. Hrvatski geološki kongres. Zbornik radova 1* (ur. Vlahović, I., Velić, I., Šparica, M.), 265-268. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Jurak, V.; Petraš, J.; Gajski, D. (2002.): Istraživanje ekcesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestičke fotogrametrije. *Hrvatske vode*, 10 (38), 49-58.
- Kos, Z. (2005.): *Vodogradnja. Istarska enciklopedija* (ur. Berतोša, M., Matijašić, R.), 884-885, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb.
- Lambeck, K.; Purcell, A. (2005.): Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1969-1988.
- Lovrić, P. (1988.). *Opća kartografija*. Sveučilišna naknada Liber, Zagreb.
- Mihljević, D. (1998.): Reljef strukturnog podrijetla i strukturno-geomorfološke regije Istre i Kvarnera. *Prirodoslovna istraživanja riječkog područja*. Prirodoslovna biblioteka 1. (ur. Arko-Pijevac, M., Kovačić, M., Crnković, D.) 277-302, Rijeka.
- Mičetić, G.; Petrović, G. (2001.): *Vodnogospodarska osnova Hrvatske – I. faza. Postojeće stanje – karta hidrografske mreže i neposrednih slivova*. Hrvatske vode VGO Rijeka.
- Nichols, M.; Biggs, R. B. (1985.): Estuaries. *Coastal Sedimentary Environments 2. ed.* (ur. Davis, R.A.). 777-186, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Pirazzoli, P. A. (1996.): *Sea-level Changes. The last 20.000 Years*. John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- Pirazzoli, P. A. (2005.): A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene sea-level histories from the Mediterranean area. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1989-2001.
- Požeš, M. (2005.): *Dragonja. Istarska enciklopedija*, (ur. Berतोša, M., Matijašić, R.), 184-185. Leksikografski zavod Miroslava Krleža, Zagreb.

- Rubinić, J. (1994.): Hidrološka analiza bilansa i mutnoća vode izvora Rakonek. *Drugi stručni skup Sekcije za vodoopskrbu i odvodnju, Zbornik radova*. (ur. Makvić, Ž., Vančina, F.). Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora, Zagreb.
- Rubinić, J.; Bušelić, G.; Kukuljan, I.; Kosović, M. (1998.): Hidrološka analiza suspendiranog nanosa u istarskim vodama. *Hrvatske vode* 7 (27), 127-131.
- Rubinić, J.; Ružić, I.; Mihalić, I.; Oštrić, M. (2007.): Analysis of changes in sedimentation process in the Boljunčica basin and the Plomin bay due to draining of the Čepić lake and building of storage reservoir Boljunčica - Istria (Croatia). *Erosion and torrent control as a factor in sustainable river basin management*, (ur. Kostadinov, S., Bruk, S., Walling, D.) 251-258. Faculty of Forestry, Beograd.
- Slukan Altić, M. (2003.). *Povijesna kartografija. Kartografski izvori u povijesnim znanostima*. Meridijani, Zagreb.
- Sondi, I.; Juračić, M.; Pravdić, V. (1995.): Flokulacija sitnozrnatog materijala u estuariju rijeke Raše. 1. *Hrvatski geološki kongres, Zbornik radova 2* (ur. Vlahović, I., Velić, I., Šparica, M.) 553-554. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Surić, M. (2009.): Rekonstruiranje promjena morske razine na istočnoj obali Jadrana (Hrvatska) – pregled. *Geoadria*, 14(2), 181-199.
- Topografska karta Markgrofovije Istre (1771.): *Zemaljski sabor Markgrofovije Istre, topografska karta 1:28.800*. Državni arhiv u Rijeci.
- Topografska karta Istre (1824.): *Topografska karta Austro-ugarskog carstva 1:28.800*. Druga izmjera, Kuestenland 1821.-1824. Arhiv Povijesnog muzeja Istre, Pula.
- Topografska karta Istre (1882.): *Topografska karta Austro-ugarskog carstva 1:28.800*. Treća izmjera 1869.-1887. Arhiv Povijesnog muzeja Istre, Pula.
- Topografska karta Istre (1930.): *Carta topografica del Regno d'Italia, scala di 1:25.000*. (Umago, Corte d'isola, Citanova d'Istria, Visignano, Barbana d'Istria, Porto Albona). Arhiv Centra za povijesna istraživanja, Rovinj.
- Velić, I.; Vlahović, I. (2009.): *Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Vlahović, I.; Tišljar, J.; Matičec, D.; Velić, I. (2005.): *Geologija. Istarska enciklopedija*, (ur. Bertoša, M., Matijašić, R.), 246-249. Leksikografski zavod Miroslava Krležu, Zagreb.
- Zorn, M. (2009. a): Erosion processes in Slovene Istria. Part 1, Soil erosion. *Acta geographica Slovenica*, 49(1), 39-87.
- Zorn, M. (2009. b): Erosion processes in Slovene Istria. Part 2, Badlands. *Acta geographica Slovenica*, 49(2), 291-341. <https://geoportal.dgu.hr/> (pristup: 18.02.2017.)
- https://ispu.mgipu.hr/?icn=article&ici=regular-link_content (pristup: 18.02.2017.)

Geomorphological evolution of river valleys and river mouths on the Istrian peninsula

Abstract. The paper analyses geomorphological changes in the floodplains and river mouths of the Dragonja, Mirna and Raša which flow through the Istrian peninsula. These changes were determined by comparing the historical and contemporary maps. The oldest maps of the Raša river valley date back to the second half of the 18th century, whereas the maps depicting the Dragonja and Mirna areas originate from the first half of the 19th century. The comparison showed a markedly large progression of the Raša river mouth, minor changes in the Mirna river mouth and no visible changes in the Dragonja river mouth due to the salt works establishment. Sediment production is caused by marl and flysch erosion in the upstream areas of the river basins, the majority of which arrives at the river mouth in the form of a suspension. The river regulation works prevented further flooding in the Mirna and Raša river valleys, including in the Dragonja river valley in the 1950s. Following this, changes can be seen only in the reduced depth of the sea bottom around the river mouth. A reduction in sediment transport was evident already by the end of the 20th century due to reduced land cultivation and forest spreading.

Key words: erosion, sediment transport, deposition, river mouth, estuary, Istria

Geomorphologische Evolution der Flusstäler und Mündungen auf der Halbinsel Istrien

Zusammenfassung. Im Beitrag werden geomorphologische Prozesse in den Auen und Mündungen der istrischen Flüsse Dragonja, Mirna und Raša analysiert. Anhand des Vergleichs von historischen und zeitgenössischen Karten konnten Veränderungen festgestellt werden. Die ältesten Karten des Rašatalstammes stammen aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, während die ältesten Karten des Dragonja- und des Mirnatales aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts stammen. Im Vergleich zeigt sich ein ausgesprochen starkes Fortschreiten der Rašamündung, während die Veränderungen an der Mirnamündung kleiner und an der Draganjamündung unsichtbar sind, weil dort eine Saline eingerichtet ist. Die Sedimente entstehen durch die Ablagerung von Mergel und Flysch in den Einzugsgebieten stromaufwärts. Die meisten Sedimente werden bis zur Mündung in suspendierter Form transportiert. Im Mirna- und im Rašatal kommen nach den Regulierungsarbeiten die Überschwemmungen nicht mehr vor, und im Dragonjatal gibt es Überschwemmung seit den 50-er Jahren des 20. Jahrhunderts nicht mehr. Nach dieser Zeit ist die Verminderung der Tiefe des Meeresbodens um die Mündungen die einzige sichtbare Veränderung. Seit dem Ende des 20. Jahrhunderts konnte die Verminderung des Sedimenttransports wegen der reduzierten Bodenbearbeitung und der Ausbreitung des Waldes beobachtet werden.

Schlüsselwörter: Erosion, Sedimenttransport, Ablagerung, Flussmündung, Ästuarium, Istrien