

RAZPRAVE

EROZIJSKI PROCESI V HRVAŠKEM DELU »SIVE ISTRE«

AVTOR

dr. Matija Zorn

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
matija.zorn@zrc-sazu.si

UDK: 91:551.3.053(497.571)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Erozijski procesi v hrvaškem delu »Sive Istre«

Flišni del polotoka Istra se zaradi zunanje podobe pokrajine imenuje »Siva Istra«. V njej zaradi visoke erodibilnosti flišnih kamnin in prsti potekajo intenzivni erozijski procesi. Predstavljena so preučevanja teh procesov v zadnjih desetletjih v hrvaškem delu pokrajine, nekaj pa je tudi primerjav s slovenskimi preučevanji. Predstavljene so meritve na erozijskih poljih v Abramih, kjer so intenzivna preučevanja potekala v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja in v zadnjem desetletju, fotogrametrične meritve umikanja golih skalnih pobočij, odlaganje gradiva v akumulacijskih jezerih in ob rečnih ustjih.

KLJUČNE BESEDE

geografija, geomorfologija, geomorfni procesi, erozijski procesi, Siva Istra, hrvaška Istra

ABSTRACT

Erosion processes in the Croatian part of »Grey Istria«

Flysch part of Istrian peninsula is due to its looks called »Grey Istria«. High erodibility of flysch rocks and soils results in intensive erosion processes. The research of these processes in the last decades in the Croatian part of Grey Istria is presented, with some comparison with the research in Slovenian part. Measurements on closed erosion plots in Abrami (near the town of Buzet), where intensive measurements were conducted in the 1970s and also in the last decade, are presented, as well as photogrammetric measurements of rock-wall retreat, sedimentation behind dams and at river mouths.

KEY WORDS

geography, geomorphology, geomorphic processes, erosion processes, Gray Istria, Croatian Istria

Uredništvo je prispevek prejelo 20. junija 2008.

1 Uvod

Flišni del Istre zaradi zgleda pokrajine imenujemo »Siva Istra« (Melik 1960, 152). Tako jo ločimo od »Bele Istre« vzhodno od nje (Čičarija), kjer je na površju najbolj viden apnenec, in »Rdeče Istre« zahodno in južno od nje, kjer je prst polna rdečega boksita (Pavlovec 1975, 160).

Rutar (1896, 12) imenuje flišni del Istre kot »žolto« (rumeno, opomba avtorja) Istro, »... ker so tla sestavljena iz rumenega peščenca («tassello») ... (ob slovenski obali je »tašelo« ljudski izraz za flišni lapor (Pavlovec, 1961, 161), opomba avtorja) ... Tudi zemlja, ki se iz njega rada naredi in ki včasih prav na globokem leži, je žolta ali pa žoltorujava. Tu ni nič strmih oblik, ampak samo okrogli griči, le vodotočine so globoko izdolbene ...«. V opisu nadaljuje: »... Žolta Istra (Siva Istra, opomba avtorja) se vzdiga med 285 pa 380 m. Tam, kjer se nahaja kraški vapnenec kot temelj zemljišča, so tla popolnoma gola, ker po nespametnem uničenju gozdov ta kamen ni skoro nič sperel (preperel, opomba avtorja) ... Peščenec pa se vedno preobrazuje, razpada, drobi in voda ga odnaša, izvzemi bolj ravne kraje. Samo trša peščenčeva zrna in ostanki vapnenčevih skal štrle izmed rodovitne zemlje, ker je mehkejši peščenec že razpadel. Na teh vzvišjih se nahajajo bivališča že od starodavnosti. Bolj strmi obronki, s katerih se zemlja vedno useda, so goli, a položnejši in ilnati, pa precej zeleni ter z gozdom porasteni. Zato najdemo sredi žolte Istre večkrat obsežne travnike, polja, gaje in celo gozdove ... Med globokimi jarugami (erozijski jarki, opomba avtorja) se vijo kačasto potoki, položnejši obronki pa nosijo travnike, njive, vinograde in tu pa tam celo listavce ...«.

Že Lorenz (1891, 24) piše, da je »... preperiv 'tassello' podvržen neprestanemu preoblikovanju, krušenju in odplavljanju. V tem območju neko stalnost oblik kažejo le ravnine, na katerih ne prihaja do odplavljanja, pa tudi oblike v tršem peščenjaku ali na izdankih apnenca ...«. Po Lorenzu (1891, 24) so zato ponavadi »... sklenjena naselja le na takšnih stabilnejših višinah, nasprotno pa so strmejša, stalno krusljiva pobočja gola. Manj strma pobočja imajo obilna ilovnata tla ... in zato v rumeni Istri pogosto najdemo travnike, polja in gozdove ...«.



Slika 1: Pokrajinska delitev Istre (Lončar 2005, 249).



Slika 2: Med Kremenjem in Marušiči (Hrvaška) je na južnem robu porečja Dragonje meja med Sivo Istro (zgoraj; rumenkasta prst na flišu) in Rdečo Istro (spodaj; rdečkasta prst (terra rosa) na apnencu).

Na recentne erozijske oblike v flišnem delu Istre (Zorn 2007a; 2007b; 2008) je v največji meri vplival človek, ki je z delovanjem na območju z »labilnim« naravnim ravnovesjem pospešil erozijo (Lazarević in Miličević 1983, 58). Z izsekavanjem in požiganjem gozdov je povečal pašnike in obdelovalna zemljišča, zlasti za vinogradništvo, s čimer je podrl krhko naravno ravnovesje (Lazarević in Miličević 1983, 61).

2 Preučevanje erozijskih procesov na erozijskih poljih

Prevladujoč geomorfni proces v flišni Istri je vodna erozija. Izraža se v različnih oblikah, na primer kot površinsko spiranje (v največji meri na neporaslih območjih), žlebična in jarkovna erozija ter kot hudourniška erozija vodotokov (Jurak in Fabić 2000, 603, 611).

Erozija, ki jo povzročajo padavine, je v Istri po Juraku in Fabiću (2000, 605) izrazito sezonskega značaja. Sproščanje je največje poleti (julij in avgust) v času intenzivnih padavin, kar še posebej velja za neporasla območja. V času vegetacijske dobe od aprila do septembra se sprosti kar od 60 do 80 % gradiva.

Mihljević (1996, 200) piše, da je »... povprečno letno denudacijsko zniževanje površja ... « v »... istrskem gričevju ... « 0,64 mm, s tem, da je ponekod tudi nekajkrat večje, na primer na območju hudournika Škopljak v porečju Raše znaša kar 12,5 mm. Isti avtor piše še o »klimatomorfološkem mehanizmu«, ki naj bi bil temelj za razvoj reliefa v tem gričevju.

Preglednica 1: Erozijsko-denudacijski procesi in reliefne oblike v flišnem delu Istre (prirejeno po Juraku in Fabiču 2000, 607).

oblika erozijsko-denudacijskega procesa		reliefne oblike
dežna erozija	površinsko spiranje	strma pobočja (stene) z razkrito kamninsko podlago
	mešana erozija	
hudourniška erozija	žlebična erozija jarkovna erozija	rebrast relief; nastajanje rečne mreže nižjega reda
	globinska erozija	
rečna erozija	bočna erozija	strmi bregovi stalnih vodotokov
termodinamična erozija	sproščanje	na vseh neporaslih območjih, zlasti na strmih pobočjih
plazenje	zemeljski plazovi	nepomembno; skoraj ni plazenja, le ponekod plitvo odkrivanje prsti

2.1 Meritve v Abramih

Intenzivnost sproščanja gradiva v hrvaškem delu flišne Istre so dalj časa merili na erozijskih poljih v Abramih v porečju hudournika Bračana (porečje Mirne), 4 km severovzhodno od Buzeta (na primer Rula 1972, 880; Kisić in ostali 1999, 16).

Preglednica 2: Naravne značilnosti območja meritev erozije v Abramih (Rula 1972, 880).

površina območja	25 ha
nadmorska višina	od 60 do 130 m
povprečni naklon	od 14 do 20°
letne padavine (obdobje: 1958–1968)	od 992 do 1323 mm
povprečna letna temperatura	12,8 °C
kamninska sestava	eocenski fliš
prst	plitva gozdna prst, v kateri prevladuje drobni pesek (0,2–0,02 mm); razmerje med peskom in glino je 32,5:67,5
prostorninska masa prepereline	od 1,18 do 1,92 g/cm ³
prostorninska masa brez por in votlinic	od 2,60 do 2,77 g/cm ³
poroznost	od 30,2 do 54,7 %
vegetacija	prehodi od gozdnih združb raznih vrst gabrov do slabo poraščenih kamnišč

Z meritvami v Abramih so želeli ugotoviti odvisnost erozije od padavin, rastlinstva, naklona in prsti ter preveriti delovanje protierozijskih ukrepov in odtekanje vode z melioriranih in nemelioriranih zemljišč (Rula 1972, 881). Rezultati teh meritev so pomembni, saj kot pišeta Jurak in Fabič (2000, 603) omogočajo oceno specifičnega sproščanja tudi za ostala flišna območja v Istri. Kot piše Tomić (1983, 45), rezultati teh meritev »... na žalost niso bili izkoriščeni ...« za še uspešnejšo borbo proti eroziji, čeprav prenos podatkov na ostala flišna območja Istre zaradi podobnih kamninskih in podnebnih



BLAŽ KOMAC, 12. 6. 2002

Slika 3: Erozijsko polje 1 v Abramih v hrvaški Istri veliko 15,08 m².



Slika 4: Erozijsko polje 2 v Abramih v času meritev v sedemdesetih letih 20. stoletja (Rula 1972, 881).

razmer ne bi smel biti vprašljiv. Dejstvo je, da »... so bile raziskave (potekale so med letoma 1956 in 1977/78, opomba avtorja) vodene iz Beograda ...« in zato na Hrvaškem ni izvirnih podatkov teh raziskav, »... ki so po razpadu bivše Jugoslavije ostali v lastništvu Inštituta J. Černi ...« (Kisić in ostali 1999, 16). O kakovosti posameznih erozijskih polj in o dobljenih rezultatih so nekateri avtorji (na primer Bakota, Štajduhar in Mičetić 1983, 80) imeli sicer pomisleke, a je vseeno prevladalo mnenje, da so podatki (glej Rula 1972; Rula in Stefanović 1977; Rula in ostali 1977) dovolj natančni (Jurak in Fabić 2000, 604).

Na pobudo Fakultete za gradbeništvo Univerze v Zagrebu se meritve od leta 1999 nadaljujejo (Petraš, Holjević in Kunštek 2007).

Med letoma 1971 in 1977 so na šestih erozijskih poljih z različnimi pedološko-vegetacijskimi značilnostmi zbrali 948 vzorcev sproščenega gradiva, ki so nastali ob 158 erozivnih padavinskih dogodkih (Jurak in Fabić 2000, 605). V preglednici 3 lahko vidimo, da je bilo največje sproščanje na erozijskem polju 1 (gola matična kamnina z velikim naklonom), kjer je bilo sproščanje več kot 8000-krat večje kot na erozijskih poljih 3 in 4, prekritih s prstjo. Tako veliko sproščanje na erozijskem polju 1 je posledica padavin in termodinamičnih procesov. Slednji so neodvisni od padavin in potekajo prek celega leta (Jurak in Fabić 2000, 605), na drugih erozijskih poljih pa niso bili tako pomembni.

Meritve v Abramih so pokazale, da je zaradi pogostejših neviht večje sproščanje v poletnih mesecih (preglednica 4; Rula 1972, 883).

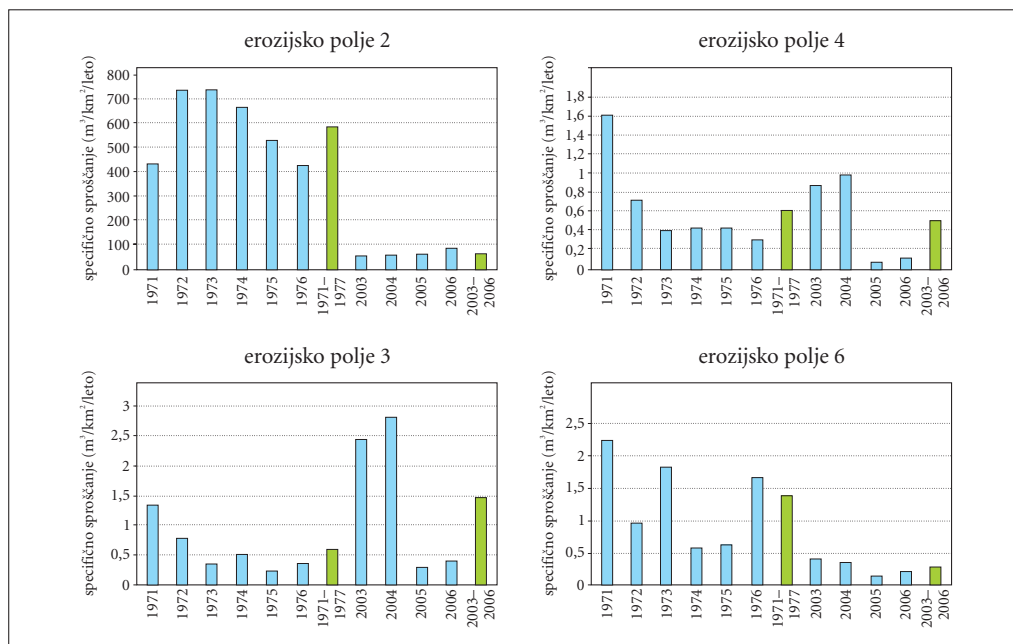
Meritve na teh erozijskih poljih so ponovno stekle leta 1999. Prve primerjave obdobja 1971–1977 in obdobja 2003–2006 kažejo na precejšnje zmanjšanje površinskega odtoka, kot tudi samega sproščanja gradiva z izjemo erozijskega polja 1. Zmanjšanje je vidno tako na letni ravni, kot na ravni posameznih padavinskih dogodkov. Večje zmanjšanje je seveda na erozijskih poljih, kjer ugotavljajo primernost protierozijskih (melioracijskih) ukrepov (Petraš, Holjević in Kunštek 2007, 13).

*Preglednica 3: Sproščanje gradiva v Abramih med letoma 1971 in 1977 (Jurak in Fabić 2000, 605; ^{*1} erozijsko polje ustreza erozijskim poljem Zorna (2007a; 2008; Zorn in Mikoš 2008) na strmem flišnem pobočju v slovenski Istri, ^{*2}Rula (1972, 883) piše, da je to erozijsko polje »brez vegetacijskega pokrova (polje 2)«, ^{*3} Petraš, Holjević in Kunštek (2007, 8) za to erozijsko polje navajajo podatek 160 m³/km² na leto).*

vir: Rula in ostali 1977							prirejena Gavrilovičeva enačba (Lazarević 1985)			
erozijsko polje	kamninske, prstene oziroma rastlinske značilnosti	stanje okolja	tlorisna (reducirana) površina (m ²)	naklon (°)	meritve 1971–1977		kategorija	stopnja razvitosti erozijskih procesov		
					povprečno letno sproščanje gradiva (m ³ /km ²)	indeks		opis	koeficient erozije (Z)	letno sproščanje gradiva (m ³ /km ²)
1 ^{*1}	popolnoma gola matična kamnina – fliš z vodoravnimi plastmi	naravno okolje	15,08	60	5380	8677	I.	območje pospešene mešane erozije – neporasla območja in neporasle brežine hudournikov	1,20	10.000
2 ^{*2}	plitva, ponekod neporasla prst; popolnoma degradirano rastlinstvo, zgolj travne krpe	naravno okolje	84,75	31	590	951	II.	območje močne mešane erozije – strma pobočja brez rastlinja s plitvo degradirano prstjo	0,80	3500
3	degradiran gozd belega gabra in hrasta na globoki prsti	naravno okolje	93,25	24	0,62	1	V.	območja z zelo majhno erozijo ali brez nje – poljedelska in gozdna	0,10	od 0 do 50
4	gradoni, zasajen bor, brnistra in trava	protierozijski ukrepi	102,40	30	0,62	1	V.	zemljišča na ravnih območjih (terase, temena slemen) in travniki z bujno travo	0,10	od 0 do 50
5	zelo plitva in degradirana prst s ponekod odkrito podlago; borovci	protierozijski ukrepi	98,57	17	41,6 ^{*3}	67	III.	območja z srednjo površinsko erozijo – območja, deloma porasla z redkim grmičevjem	0,40	1250
6	plitva prst, gradoni; posajeni borovci	protierozijski ukrepi	122,70	15	1,4	2,2	IV.	območja z majhno površinsko erozijo – ostanki gozda, mestoma spiranje	0,20	500



Slika 5: Iztok iz erozijskega polja v Abramih.



Slika 6: Meritve sproščanja gradiva iz erozijskih polj 2, 3, 4 in 6 v Abramih med letoma 1971 in 1977 ter med letoma 2003 in 2006 (Petraš, Holjevič in Kunštek 2007).

Preglednica 4: Koeficient odtoka ter sproščanje gradiva med julijem in marcem iz erozijskih polj v Abramih (Rula 1972, 882–883).

erozijsko polje	srednji koeficient odtoka	meseči (t/km ²)		
		julij–september	oktober–december	januar–marec
1	–	ni podatka	14,3	20,5
2	0,296	1490,0	62	6,4
3	0,027	12,6	0,2	0,6
4	0,038	29,0	0,9	0,3
5	0,192	175,0	77,2	13,5
6	0,029	27,0	1,4	1,0

Preglednica 5: Primerjava specifičnega letnega sproščanja v hrvaški Istri, ugotovljenega po različnih metodah (Jurak in Fabić 2000, 610).

vir	območje preučevanja	metoda	čas preučevanja	specifično sproščanje gradiva (m ³ /km ² /leto)	opombe
<i>terenske meritve</i>					
Rula in ostali (1977), Rula in Stefanović (1977)	erozijsko polje 1 v Abramih	lovljenje gradiva	1971–1977	5380	le dežna erozija
Petraš, Kunštek in Gajski (1999, 1035)	erozijsko polje 1 v Abramih	terestična fotogrametrija	1995–1997 (30 mesecev)	20.000 48.108	površina v pogledu reducirana (tlorisna) površina
<i>kartiranje porečja po izkustvenih (kvalitativnih) kategorijah razvitosti erozijskih procesov</i>					
Čulinović in ostali (1964; po Juraku in Fabiću 2000)	porečje nad pregrado Grobnik	Gavrilovićeva (1972) metoda		1400	–
Jurak, Barić in Fabić (1989)	porečje nad pregrado Grobnik	po podatkih Rule in ostalih (1977)		450	izključno dežna erozija
Lazarević in Miličević (1983, 57)	porečje nad pregrado Butoniga	prirrejena Gavrilovićeva metoda (Lazarević 1985)		2108	–
Barbalić, Bagić in Petraš (1999)	porečje nad pregrado Butoniga	GIS		1716	izhajajoč iz karte erozije po prirrejeni Gavrilovićevi metodi (Lazarević 1985)
<i>ocena na podlagi količine gradiva odloženega za pregradami akumulacijskih jezer</i>				<i>odloženo gradivo (m³/leto)</i>	
Rubinić in ostali (1999)	pregrada Boljunčica (Letaj)		1972–poletje 1993	20.500	povprečno odlaganje gradiva
Mičetić (1997)	pregrada Boljunčica (Letaj)		1972–1988	~930	groba ocena odlaganja gradiva iz flišnega dela porečja
Mičetić (1997)	porečje Raše			520	–
Mičetić (1997)	porečje Boljunčice			590	–

Pri uporabi podatkov iz Abramov se moramo zavedati, da so bili zbrani na razmeroma majhnih površinah (nekaj m²), njihovi rezultati pa so bili preračunani na mnogo večje površine, na primer na ha ali km² (Jurak in Fabič 2000, 610). Racz (1997) opozarja, da so kljub prednostim, ki jih imajo izmerjeni podatki, ob ekstrapolaciji na cela porečja vedno možne napake. Kljub temu tak način kvantifikacije procesov ni daleč od priporočil Griesbacha in ostalih (1997; po Juraku in Fabiču 2000, 610).

Rezultate terenskih meritev je treba vedno kritično pretresti in jih primerjati z meritvami v istih razmerah (na primer podnebnih, geoloških ...) drugod in z drugimi metodami (Jurak in Fabič 2000, 610–611). Takšni primerjavi je namenjena preglednica 5, ki kaže, da enotna metodologija za izračunavanje sproščanja gradiva na ravni porečja še ne obstaja. Sproščanje, ugotovljeno po različnih metodah, se močno razlikuje, kar po Juraku in Fabiču (2000, 611) »... ni nepričakovano, saj je sproščanje gradiva v porečjih težko nadzorovati...« Poleg tega je za boljše primerljivost rezultatov potreben daljši časovni niz meritev.

Po mnenju Lazarevića in Milićevića (1983) so erozijska polja v Abramih najbolj reprezentativna za I. in II. kategorijo razvitosti erozijskih procesov (po prirejeni Gavrilovićevo metodi (Lazarević 1985); preglednica 3), ki ju predstavljata erozijski polji 1 in 2 (Jurak in Fabič 2000, 608).

Nekaj primerov uporabe meritev iz Abramov je bilo na Hrvaškem (na primer Jurak in Fabič 2000), v Sloveniji pa jih niso uporabljali. Pri nas tudi niso širše poznani. Po nam znanih virih jih citirata le Petkovšek (2002, 65) in Zorn (2007a; 2008).

2.2 Fotogrametrične meritve

*Preglednica 6: Primerjava meritev erozije na golih in strmih flišnih pobočjih v hrvaški in slovenski Sivi Istri (Petraš, Kunštek in Gajski 1999, 1035; Petkovšek 2002, 57, 63; Jurak, Petraš in Gajski 2002, 57; Petraš, Holjević in Kunštek 2007, 9; Zorn 2007a; Zorn 2007b; Zorn 2008; ^{*1} na podlagi 158 erozivnih padavinskih dogodkov, ^{*2} zgornja tretjina originalne površine iz sedemdesetih let 20. stoletja, ^{*3} obdobje: 10. 2. 2005–8. 2. 2006, ^{*4} obdobje: 28. 4. 2005–26. 4. 2006).*

erozijsko polje	metoda	obdobje meritev	sproščeno gradivo (m ³)	površina v pogledu (m ²)	tlorisna (reducirana) površina (m ²)	povprečno letno sproščanje gradiva (m ³ /km ² /leto)	
						površina v pogledu	tlorisna površina
Abrami* ¹ – erozijsko polje 1	lovljenje sproščenega gradiva	1970–1976; 76 mesecev	~ 1,024	~ 30	15,08	~ 2690	5380
Abrami – erozijsko polje 1	terestična fotogrametrija	1995–1997; 30 mesecev	0,445	8,9* ²	3,7	20.000	48.108
Sveti Donat	terestična fotogrametrija	1995–1997; 30 mesecev	215	3856	2191	22.303	39.251
Sveti Donat	terestična fotogrametrija	1997–2001; 38 mesecev	361	4239	2292	26.890	49.733
Rokava – Škrline	terestična fotogrametrija	27. 9. 2001–27. 8. 2002; 11 mesecev	–	3685	2682	40.000	50.000
Rokava – Marezige	lovljenje sproščenega gradiva	10. 2. 2005–26. 4. 2006; 15 mesecev	0,43	~ 11,34	–	45.205,67* ³ 49.215,11* ⁴	–

Erozijske procese na erozijskih žariščih so v hrvaški Istri preučevali s pomočjo terestrične fotogrametrije. Tako so erozijo merili na štirih erozijskih žariščih: na erozijskem polju 1 v Abramih, pri Sv. Donatu, v Medveji pri Sv. Petru in dolvodno od pregrade Butoniga (Jurak, Petraš in Gajski 2002, 50). Pri zadnjih treh je bilo začetno stanje fotografirano 12. 6. 1995, naslednji fotografirani pa sta bili 11. 12. 1997 in 12. 2. 2001 (Jurak in ostali 2002, 51–52). Podobne meritve je v slovenskem delu Sive Istre v porečju Rokave (erozijsko žarišče na Škrlinah) izvajal Petkovšek (2002, 63).

Razlika med meritvami na erozijskem polju 1 v Abramih, merjenimi s terestrično fotogrametrijo, in meritvami (lovljenje gradiva) Zorna (2007a; 2007b; 2008; Zorn in Mikoš 2008) v porečju Rokave je kar za faktor 17 oziroma 18. Primerjava hrvaških rezultatov terestrične fotogrametrije pa kaže, da so dobljeni rezultati znotraj istega reda velikosti (Jurak in ostali 2002, 58). Podatki Zorna (2007a; 2007b) pa so zelo podobni fotogrametričnim meritvam Petkovška (2002, 57, 63). V Abramih velike razlike med obema metodama pripisujejo deloma dejstvu, da so meritve v sedemdesetih letih 20. stoletja »... zajele le vodno erozijo, ne pa tudi posipne (hrvaško *osulinska*, opomba avtorja) erozije ...«, ki je tudi prisotna na erozijskem polju. Razlike deloma pripisujejo še dejstvu, da se je v dvajsetih letih močno spremenil mikorelief erozijskega polja. Naklon se je povečal na zgornji polovici erozijskega polja in zmanjšal na spodnji polovici zaradi odlaganja gradiva z zgornje polovice (Petraš, Kunštek in Gajski 1999, 1035). V zgornjem delu prevladuje erozija kot posledica termodinamičnih procesov, v spodnjem pa prevladuje dežna erozija (Jurak, Petraš in Gajski 2002, 57).

3 Odlaganje gradiva v akumulacijskih jezerih

V flišnem delu Istre je šest večjih vodotokov: Rižana, Dragonja, Mirna, Pazinski potok, Boljunčica in Raša, na katerih so zaradi njihovega hudourniškega značaja zgradili več pregrad.

O hudourniškem značaju Istrskih vodotokov v Slavi vojvodine Kranjske piše že Janez Vajkard Valvasor. Za vodotok Boljunčica je zapisal: »... Ob dežju zelo naraste, postane divja in nevarna ter poplavlja ...« (Holz 1999, 177).

3.1 Akumulacijsko jezero na Boljunčici

Akumulacijsko jezero na Boljunčici je nastalo leta 1970 za pregrado Letaj z namenom, da bi pred poplavami zaščitili Čepičko polje (Blažević 1994, 69; Rubinić 1994, 31; Rubinić in ostali 1999, 133). Porečje nad pregrado meri 71 km² in ni povsem flišno (le 57 %). Za pregrado je prostora za 6.500.000 m³ vode, od tega je 2.250.000 m³ rezerviranega za velik poplavni val, preostali prostor pa je namenjen za zadrževanje vode (namakanje) oziroma za odlaganje erodiranega gradiva. Rinjene plavine (oziroma prod; Radinja 1979, 114) deloma zadržijo že pregrade pred jezerom, suspendirano gradivo pa se v celoti odlaga v jezeru. Od leta 1970 se je na dnu jezera, kjer je odlaganje največje (tam je bila struga vodotoka), nabrala od 8 do 10 m debela plast mulja. Leta 1988 so ocenili, da se je od zgraditve pregrade v jezeru odložilo 296.000 m³ gradiva (oziroma po Rubiniću in ostalih (1999, 133) med letoma 1971 in 1988 264.000 m³), za pregradami pred jezerom 91.000 m³ gradiva, v podzemlje pa naj bi ga s ponikalnicami izginilo 12.000 m³. Iz teh podatkov in nekaterih ocen so izračunali, da se v porečju letno sprosti 57.000 m³ gradiva (803 m³/km² na leto), v jezeru pa se letno odloži okrog 25.000 m³ ali 44 % gradiva (352 m³/km² na leto) (Mičetić 1993, 22). Rubinić in ostali (1999, 133) navajajo podatek, da naj bi bilo med letoma 1972 in 1988 iz porečja odplavljenega 399.000 m³ gradiva (seštevke gradiva odloženega v jezeru, gradiva odloženega za pregradami pred jezerom in ocene gradiva, ki naj ga akumulacija ne bi zadržala). Blaževićeva (1984, 229) navaja, da štirideset potokov in hudournikov v porečju Boljunčice letno odplavi 58.000 m³ gradiva.

Leta 1993 so akumulacijski prostor znova izmerili in ugotovili, da se je njegova prostornina zmanjšala za 42.000 m³. Oktobra tega leta so bile v Istri visoke vode s povratno dobo 150 let, ki so se najbolj

MATIJA ZORN, 9. 8. 2008



Slika 7: Čepicko polje z najvišjim vrhom Istre Učko (1401 m) v ozadju.



Slika 8: Gradivo, odloženo za pregrado Letaj (Rubinič in ostali 1999, 134).

razdivjale prav v porečju Boljunčice. Visoke vode so v delu jezera, kjer je bila prej rečna struga, nanesle toliko gradiva, da se je dno dvignilo za 10 cm (Rubinić in ostali 1999, 134).

Omenili smo, da del gradiva izgine v podzemlje. V hrvaški Istri je namreč precej kontaktnega krasa. Posledica je kalnost izvirov, med katerimi so tudi vodooskrbni. Ob ekstremnih dogodkih vsebujejo vzorci vode na izvirih veliko suspendiranega gradiva. 7. 5. 1991 je imel vzorec vode iz izvira Rakonek kar 24.400 mg/l suspendiranega gradiva, kar je največja izmerjena vrednost med vsemi izviri v Istri (Rubinić in ostali 1999, 127, 129, 136).

Preglednica 7: Suspendirano gradivo v istrskih vodooskrbnih izvirih med letoma 1981 in 1990 (Rubinić in ostali 1999, 135).

izvir	razpon suspendiranega gradiva (mg/l)	delež (%) dni v letu, ko je bilo več kot 5 mg/l suspendiranega gradiva
Gradole	< 5 do 390	74
Sveti Ivan	< 5 do 2000	88
Kožljak	< 5 do 80	4
Plomin	< 5 do 31	10
Kokoti	< 5 do 190	40
Fonte Gaia	< 5 do 110	6
Rokonek	< 5 do 24.400	19
Puljski izviri	< 5 do 40	0 do 9

V izviru Sveti Ivan v Buzetu voda kar 88 % dni v letu vsebuje več kot 5 mg/l suspendiranega gradiva, 15 % dni v letu so koncentracije višje od 100 mg/l, 2 % dni v letu pa presega 1000 mg/l (Rubinić in ostali 1999, 136).

Za izvir Rakonek so na podlagi opazovanj med letoma 1971 in 1989 ugotovili, da se skrajna kalnost čez 3000 mg/l pojavlja skoraj vsako leto med oktobrom in aprilom. Koncentracije več kot 100 mg/l se pojavljajo povprečno 23 dni (6 %) na leto, koncentracije čez 1000 mg/l pa 4 dni (1 %) na leto (Rubinić in ostali 1999, 136). Izvir ima povprečni letni pretok 0,412 m³/s, minimalnega 0,2 m³/s in maksimalnega 2 m³/s (Rubinić in Ozanić 1999, 5).

3.2 Akumulacijsko jezero Butoniga

Akumulacijsko jezero Butoniga je bilo leta 1987 zgrajeno na levem pritoku reke Mirne zaradi zaščite pred poplavami in vodne oskrbe. Skupna prostornina akumulacije je 17.700.000 m³ (oziroma 19.500.000 m³ (Rubinić in ostali 1999, 132), 2.200.000 m³ je »mrtvega prostora«). Po Pavletiću in ostalih (1993, 30; Milotić 2004, 41) je hidronim *Botonega* oziroma *Bottonega* beneškega izvora in se nanaša na veliko poplavnost območja oziroma na hudourniški značaj Butonige. Zgodovinarji se s tem ne strinjajo in trdijo, da je hidronim keltskega izvora (keltsko *bute* pomeni 'reka'; glej Milotić 2004, 41–42).

Porečje nad pregrado meri 73 km² in je v celoti flišno (Mičetić 1993, 22). Povprečna letna temperatura zraka je 12,5 °C, povprečna letna količina padavin pa 1130 mm, pri čemer lahko dnevni ekstremi presežejo 100 mm na dan. Glavni tok Butonige od povirja do pregrade meri 11 km. Za zgornji in srednji del porečja so značilni globoki erozijski jarki, dolinsko dno pa je zasuto z gradivom, kar je posledica preteklih erozijskih dogodkov. S kartiranjem po prirejeni Gavrilovičevi metodi (Lazarević 1968) so ugotovili, da se letno sprost 143.577 m³ gradiva (2107,69 m³/km² na leto), 80.535 m³ pa se ga odloži v jezeru (1103,23 m³/km² na leto). Odplavljenega je 56 % sproščenega gradiva (Lazarević in Miličević 1983, 51, 53, 56). Za primerjavo navedimo, da so Zemljič, Blažič in Pirnat (1970) za porečja

primorsko-istrskih vodotokov v Sloveniji izračunali, da se v njihovih porečjih letno sprosti 397 m³/km² gradiva.

Leta 1981 je bil izdelan zemljevid erozije v porečju reke Butonige (Lazarevič in Miličević 1983, 51). Ugotovljeno je bilo, da erozija poteka na 93,31 %, akumulacija pa na 6, 69 % porečja. Največjo površino zavzema IV. kategorija razvitosti erozijskih procesov (preglednica 8; Lazarevič in Miličević 1983, 51, 53).

Preglednica 8: Erozija v porečju Butonige, določena po prirejeni Gavrilovičevi metodi (Lazarevič in Miličević 1983, 53).

velikost območja (km ²)	delež glede na porečje (%)	sproščanje gradiva (m ³)	delež glede na porečje (%)	velikost območja (km ²)	delež glede na porečje (%)	sproščanje gradiva (m ³)	delež glede na porečje (%)
I. kategorija				II. kategorija			
13,281	18,90	68.204	47,51	11,236	15,39	32.688	22,77
III. kategorija				IV. kategorija			
14,423	19,76	22.756	14,46	27,945	38,28	21.698	15,11
V. kategorija				območje, kjer poteka sproščanje gradiva (km ²)	delež glede na porečje (%)	območje, kjer poteka akumulacija gradiva (km ²)	delež glede na porečje (%)
1,231	1,69	211	0,15	68,116	93,31	4,883	6,69
skupaj							
velikost območja (km ²)	delež glede na porečje (%)	sproščanje gradiva (m ³)	specifično sproščanje gradiva (m ³ /km ² /leto)	odplavljanje gradiva (m ³)	specifično odplavljanje gradiva (m ³ /km ² /leto)		
72,999	100,00	143.577	2107	80.535	1103,23		

Rezultate, ki so navedeni v preglednici 8, so primerjali z rezultati meritev v Abramih. Rezultati so primerljivi za I. in II. (erozijsko) kategorijo, medtem ko so meritve za ostale kategorije v Abramih dale višje rezultate. Ali povedano drugače, sproščanje gradiva na ogolelih flišnih območjih (I. kategorija) in vinogradniško-njivskih zemljiščih ter v močno degradiranih gozdovih in pašnikih (II. kategorija) je podobno po obeh metodah, medtem ko so pri drugih erozijskih kategorijah določene razlike. Slednje Lazarevič in Miličević (1983, 56) razlagata z ugotovitvijo, da neposredna primerjava niti ni mogoča, saj meritve v Abramih za te kategorije niso najbolj reprezentativne.

Ugotovili so tudi, da se z golih površin (te so neposredno izpostavljene spremembam vlažnosti zraka, dnevnih temperatur, zmrzovanju in odtaljevanju ter vetru), ki zavzemajo 18 % porečja, sprosti okrog 47 % gradiva. Ob takšni hitrosti nanašanja gradiva v jezero bo »mrtvi« prostor zasut v tridesetih letih (Mičetič 1993, 22; Pavletič in ostali 1993, 33). Zanimivo je, da so ob projektiranju akumulacije predvideli odlaganje okrog 22.000 m³ gradiva (Rubinič in ostali 1999, 132) oziroma 300 m³/km² na leto (Lazarevič in Miličević 1983, 56), kar bi pomenilo, da bi se »mrtvi« prostor zapolnil v stotih letih.

Podatki o letnem odlaganju gradiva v jezeru Butoniga se precej razlikujejo od podatkov za pregrado Letaj. Odstopanja so posledica dejstva, da smo za Letaj navedli merjene podatke, za Butonigo pa izračune (Mičetič 1993, 22), saj podatki kontrolnih merenj zapolnjenosti jezera z erodiranim gradivom niso razpoložljivi. Po Rubiniču in ostalih (1999, 132) je bilo kontrolno merjenje izvedeno leta 1998.

Koncentracije suspendiranega gradiva (preglednica 9) so najnižje med avgustom in septembrom, najvišje pa med marcem in junijem (Rubinič in ostali 1999, 132).

Preglednica 9: Delež trajanja povprečnih mesečnih in letnih koncentracij suspendiranega gradiva v jezeru Butoniga med letoma 1990 in 1995 (Rubinić in ostali 1999, 133).

mesec	povprečno mesečno in letno trajanje koncentracij suspendiranega gradiva (%)		
	> 2 (mg/l)	> 5 (mg/l)	> 10 (mg/l)
januar	72,1	30,7	1,1
februar	80,9	29,2	2,4
marec	89,2	35,5	26,9
april	91,4	61,5	10,3
maj	96,1	71,8	10,0
junij	97,3	59,8	10,8
julij	83,3	33,3	4,3
avgust	65,1	8,1	0,0
september	60,5	3,9	0,6
oktober	73,7	19,4	3,8
november	78,3	30,0	6,1
december	80,1	22,6	3,8
letno	80,7	34,1	4,6



PRIMOŽ PIPAN, 27. 5. 2004

Slika 9: Pregrada in jezero Butoniga.

Koncentracije suspendiranega gradiva v istrskih vodotokih (preglednica 10) so med 0 in 17.355 mg/l, kolikor so namerili 25. 7. 1972 na postaji Dubravica. Tudi povprečne letne koncentracije se močno razlikujejo (od 14,8 mg/l v Abramih do 92,3 mg/l v Pengarih; višja je le vrednost za Letaj, a glede na kratkotrajnost opazovanja ta podatek ne more biti reprezentativen, kot tudi ne podatek za akumulacijo Butoniga). Po zgraditvi pregrade Butoniga so povprečne letne koncentracije manjše kot prej (Ščulci), saj se dobršen del gradiva odloži že pred merilno postajo (Rubinić in ostali 1999, 131).

Preglednica 10: Izmerjene koncentracije suspendiranega gradiva na merilnih postajah istrskih vodotokov (Rubinić in ostali 1999, 129).

merilno mesto	vodotok	obdobje meritev	koncentracija suspendiranega gradiva (mg/l)				povprečni letni minimum	povprečni letni maksimum
			povprečna letna koncentracija	standardna deviacija povprečne letne koncentracije	minimalna izmerjena dnevna koncentracija	maksimalna izmerjena dnevna koncentracija		
Dubravica	Pazinski potok	1971–1995	30,4	23,9	0	17.355	1,84	2278
Lovrečiči	Borutski potok	1971–1976	51,5	10,4	0	5512	0,16	3491
Potpician	Raša	1976–1995	36,5	10,3	0,04	2466	3,68	274
Pengari	Rečina	1971–1989	92,3	57,2	0,07	13.758	1,69	1508
Abrami	Bračana	1976–1995	14,8	5,8	0,13	3644	1,97	186
Ščulci	Butoniga	1971–1976, 1986–1987	39,6	17,8	0,07	5487	3,82	535
akumulacija								
Butoniga	Butoniga	1989–1995	5,1	1,9	0,13	73	2,03	11
Letaj	Boljuncica	1961–1962	225,9	–	0,003	5304	0,01	4483

Preglednica 11: Delež (%) suspendiranega gradiva v istrskih vodotokih (Rubinić in ostali 1999, 131) po posameznih obdobjih.

merilno mesto (vodotok)	Dubravica (Pazinski potok)	Lovrečiči (Borutski potok)	Potpician (Raša)	Pengari (Rečina)	Abrami (Bračana)	Ščulci (Butoniga)	akumulacija Butoniga
koncentracija (mg/l)	1971–1995	1972–1975	1977–1995, brez 1981	1972–1988	1986–1995	1971–1975, 1987	1989–1995
>1	92,1	92,3	98,8	91,7	98,2	96,9	97,5
>2	83,2	88,4	95,1	82,0	90,0	93,5	82,8
>3	70,9	83,9	91,6	77,6	76,9	88,6	65,7
>5	53,3	80,6	84,1	56,7	57,6	80,2	38,3
>10	28,6	47,1	66,1	33,5	28,4	57,2	7,5
>20	13,4	22,3	40,7	20,1	10,0	25,9	1,4
>30	9,5	15,7	28,2	16,4	5,1	14,8	0,6
>50	6,4	10,7	14,9	12,8	2,9	8,5	0,1
>100	3,5	6,9	6,4	8,6	1,3	5,0	0
>200	2,2	4,4	2,8	5,9	0,7	3,0	0
>300	1,6	3,2	1,5	4,7	0,4	2,2	0
>500	1,1	2,1	0,6	3,4	0,3	1,2	0
>1000	0,6	1,2	0,1	2,1	0,1	0,6	0
>5000	0,02	0,07	0	0,4	0	0,05	0
>10.000	0,01	0	0	0,6	0	0	0

4 Odlaganje gradiva v spodnjih delih dolin in na ustjih rek

Po ocenah se kar 93 do 95 % gradiva, ki ga reke letno nanesejo v morje, odloži ob rečnih ustjih, le manjši del pa prispe do globljega morja (Janeković, Juračić in Sondi 1995, 225). Odlaganje gradiva ob ustjih je povezano s procesi, ki so značilni za stik sladke in slane vode. Zaradi povečane koncentracije soli se namreč zaradi procesov flokulacije oziroma kosmičenja, to je »... izločanja majhnih delcev iz koloidne raztopine ali prahu iz plina v obliki kosmičev...« (Slovar ... 2005, 219), hitrost usedanja gradiva poveča, s tem pa tudi hitrost napredovanja ustja nasproti (v primeru istrskih zalivov) estuariju (Milotić 2004, 7; Sondi, Juračić in Pravdić 1995, 777), »... za plovbo primernemu rečnemu ustju lijakaste ali cevaste oblike, kamor seže morsko plimovanje in kjer se mešata sladka in slana voda...« (Geografija 2001, 92).

Mnogo vodotokov v hrvaški Istri je bilo reguliranih, tako da po Rubiniću in ostalih (1999, 128) danes največ suspendiranega gradiva konča v morju, zato so procesi sedimentacije najintenzivnejši prav na ustjih rek. Po pisanju Rubinića in ostalih (1999, 128) je to značilnost vseh štirih glavnih istrskih vodotokov: Mirne, Raše, Boljunčice in Dragonje, oziroma zalivov, kjer imajo te reke svoja ustja: Tarska vala ter Raški, Plominski in Piranski zaliv.

O hitri sedimentaciji priča dejstvo, da sta bila še v zgodovinski dobi na ustju Mirne in Dragonje »... prostrana in globoka morska zaliva...«. V sodobnosti sta že povsem zatrpana z gradivom, ki sta ga nasuli reki (Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 475).

4.1 Reka Mirna in Tarska vala

Mirna je s 53 km dolgim tokom najdaljša istrska reka (Blažević 1984, 229). Njeno porečje meri 380 km² (oziroma 450 km² po Milotiću (2004, 44) ali 402,9 km² po Blaževićevi (1984, 229)), predpostavljeno



MATIJA ZORN, 16. 8. 2008

Slika 10: Regulirana reka Mirna, v ozadju Motovun.

hidrogeološko porečje (zaradi kraških izvirov) pa je veliko okrog 800 km² (Milotić 2004, 5) oziroma 583,5 km² (Blažević 1984, 229). Ob njenem spodnjem toku so pri Motovunu s pomočjo ugotavljanja starosti z ogljikovim izotopom ¹⁴C presodili, da je od začetka 14. stoletja povprečno letno odlaganje gradiva znašalo kar od 0,9 do 1 cm na leto. Z zgraditvijo pregrade Butoniga ter z regulacijo Mirne in pritokov se je proces dviganja dolinskega dna praktično zaustavil, kljub nekaterim protierozijskim ukrepom pa se ni bistveno zmanjšala erozija v porečju, le odlaganje gradiva se je prestavilo na ustje Mirne (Rubinić in ostali 1999, 128).

Porečje Mirne v večjem delu sestavlja fliš, le spodnji del porečja je v karbonatnih kamninah, ki ne prispevajo mnogo k skupni količini odplavljenega gradiva. To potrjujejo tudi mineraloške analize odloženega gradiva v zalivu, ki potrjujejo njegov izvor v eocenskem flišu. Gradivo se odlaga v estuariju Mirne in se zaradi majhne energije plimovanja, valov in morskih tokov ne prestavlja globlje v morje. Zato lahko pričakujemo, da se bo estuarij sčasoma zapolnil in se bo ustje Mirne spremenilo v delto. Ker količina odloženega gradiva ni enaka količini gradiva, ki ga odplavi v odprto morje, je estuarij reke Mirne tako imenovani »neuravnoteženi estuarij« (Janeković, Juračić in Sondi 1995, 225–227).

Na ustju Mirne so na podlagi primerjave več topografskih zemljevidov od druge polovice 19. stoletja do danes ugotovili premik obalne črte za 350 m proti morju (Benac in ostali 2007, 277).

Ob srednjem in spodnjem toku ima Mirna obsežno poplavno ravnico, na kateri se zdaj (zaradi regulacijskih del sredi 20. stoletja) odlaga manj gradiva. Prej je Mirna vsako leto jeseni in zgodaj spomladi poplavljala in na poplavni ravnici odlagala gradivo. Manjše odlaganje je povezano tudi z depopulacijo in posledičnim opuščanjem obdelovalnih zemljišč na območjih, kjer je intenzivno sproščanje gradiva. Glavnina gradiva se zdaj odlaga ob rečnem ustju (Milotić 2004, 7, 9–10). Srednji in spodnji del doline imata zelo majhen naklon (manjši od promila), saj je nadmorska višina Mirne pri okrog 35 km od morja oddaljenem Buzetu 41 m, pri Kamenih vratih okrog 30 km od morja 35 m, pri Istrskih toplicah okrog 25 km od morja 20 m, pri Motovunu okrog 20 km od morja 13 m, nedaleč od Velikih vrat pa 8 m, kar je posledica intenzivnega odlaganja gradiva v dolini (Blažević 1984, 229; Milotić 2004, 17).

V 19. stoletju so zgodovinarji sklepali, da je bila v antiki raven doline Mirne nižja od današnje. Mor-teani (1895; po Milotiću 2004, 12–14) je opazil, da posamezna stebela hrastov propadajo, ker je reka v 55 letih odložila do 80 cm gradiva. Leta 1818 je na ta način propadlo okrog 26.000 debel. Piše tudi, da bi 40 potokov ob srednjem toku Mirne nasulo do 1 m gradiva, če ne bi Benečani vzdrževali protipoplavnih kanalov. Omenja tudi, da naj bi bila raven doline Mirne v antiki za okrog 20 m nižja. Citira Fannia, ki je na podlagi hidroloških raziskav v 19. stoletju trdil, da naj bi proti sodobnosti intenziteta poplav progresivno naraščala.

Kandler (1897; po Milotiću 2004, 13, 24) je na podlagi podatkov o ribolovu na območju srednjega toka Mirne sklepal, da je v 10. stoletju morska voda segala vsaj do Motovuna, v 16. stoletju pa so ladje pristajale pri Svetem Juriju okrog 3,5 km od zdajšnje obale, kjer je v času Rimljanov stal svetilnik.

V te trditve je podvomil Šonje (1978; po Milotiću 2004, 13), po katerem je bila raven antične in srednjeveške doline višja kot v poznejših obdobjih. Svoje mnenje je podkrepil s trditvijo, da so hudourniki odnašali gradivo in zniževali površje. Oprl se je na Fannijeve podatke o vse močnejših poplavah proti sedanosti.

Ob raziskavah leta 1994 so na območju, ki je dandanes 9 m nad morsko gladino, v sedimentih našli ostanke posekanega hrastovega gozda, in to na globini okrog 4,5 m pod zdajšnjo morsko gladino. Z ogljikovo izotopsko analizo so ugotovili, da so bila drevesa posekana v beneškem obdobju okrog leta 1535 ± 65 let. V naslednjih 500 letih se je torej dolinsko dno dvignilo za 4,5 do 5 m oziroma v povprečju približno 1 cm na leto ob predpostavki, da je bila dolina v rimskih časih nižja celo do 20 m (Milotić 2004, 17–18). Ob tem je treba pripomniti, da gre le za eno datacijo in da ni upoštevan vpliv dviga morske gladine v zadnjih dveh tisočletjih, kot tudi ne morebitno tektonsko dviganje (ali spuščanje) površja. So pa geološke raziskave potrdile, da je morje nekdanje segalo do območij, ki so zdaj 10 (morda tudi več) m nad morsko gladino, saj sedimenti v dolini vsebujejo ostanke morskih organizmov. To pomeni, da je morje v antiki segalo do sten pri Svetem Štefanu (Sveti Stjepan), morda pa tudi dlje (Milotić 2004, 18–19).

Viri omenjajo morski kanal, ki so ga Rimljani uporabljali za plovbo po dolini navzgor. Zgodovinarji iz 19. stoletja domnevajo, da je bil kanal po propadu rimskega cesarstva opuščen in ga je reka zasula (Milotić 2004, 20).

V dolini je mogoče procese dvigovanja dna zaradi nasipavanja opazovati tudi s pomočjo mejnih kamnov iz obdobja vladavine Habsburžanov. Mejniki, ki so bili ob postavitvi višji od človeka, so danes popolnoma zasuti oziroma so opazni le njihovi vršni deli. Milotić (2004, 17) domneva, da so bili habsburškimi oblastem procesi intenzivne sedimentacije znani, zato so tako velike mejnike postavili z namenom, da bi se lahko obdržali več stoletij. Procese sedimentacije v dolini lahko spremljamo tudi pri cerkvah na dnu doline. Srednjeveški cerkvi Matere Božje v Baštiji so zaradi dvigovanja dna doline že večkrat dvignili temelje. Njeni zdajšnji temelji so več kot 10 m višje od srednjeveških (Milotić 2004, 17).

V avstrijskem obdobju je leta 1896 nastal projekt za ureditev hudournikov in za zaščito pred erozijo v porečju Mirne, ki so ga leta 1902 tudi uresničili. Projekt je izdelala Služba za urejanje hudournikov in snežnih plazov s sedežem v Beljaku, ki so jo za dežele Notranje Avstrije ustanovili leta 1884. Takrat je začel veljati tudi zakon, ki je predpisoval preventivne ukrepe za neškodljivo odvodnjavanje gorskih vodotokov (Gesetz... 1884; Jesenovec 1995, 5). Zgradili so 465 km hudourniških pregrad, 5630 pragov, 20,3 km zidov, 13,6 km prepletov, pogozdili pa 210 ha zemljišč (Pavletić in ostali 1993, 30).

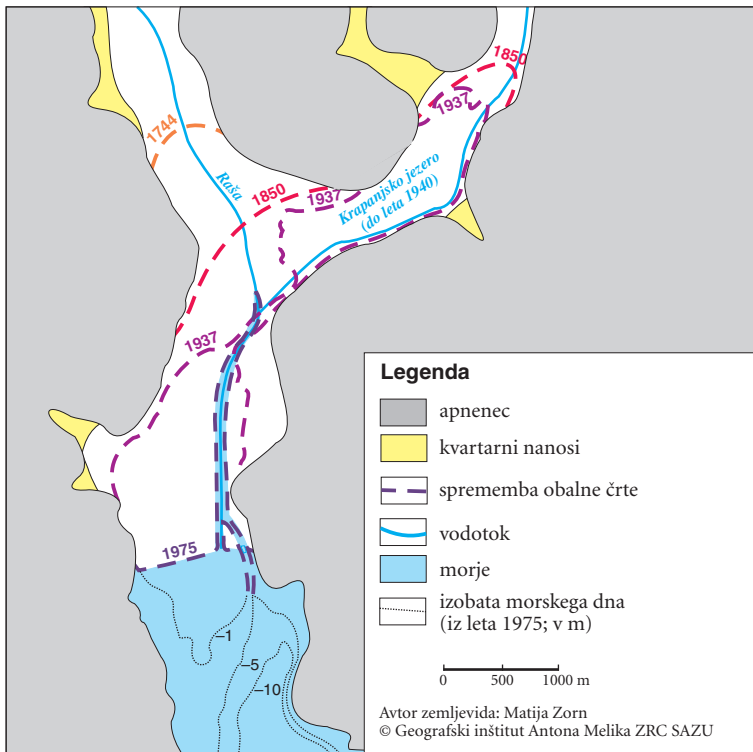
4.2 Reka Raša in Raški zaliv

Na ustju reke Raše (tudi pri njenem ustju gre za neuravnotežen estuarij; Juračić in ostali 1995, 267; Sondi, Juračić in Pravdić 1995, 779) je Bakota (1986; po Juračiću in ostalih 1995, 266) na podlagi batimetričnih podatkov pomorskih kart iz let 1938 in 1968 ocenil, da se je odložilo okrog 2.000.000 m³ gradiva. Na podlagi natančnejšega vrednotenja teh podatkov so ocenili, da je bilo v tem obdobju odloženega 1.450.000 m³ gradiva oziroma da reka letno odloži 48.500 m³ gradiva, kar pri povprečni specifični gostoti »nekonsolidiranega mulja« okrog 1,4 g/cm³ znaša okrog 78.000 t (Juračić in ostali 1995, 266).

V nekaterih delih estuarija je hitrost sedimentacije tudi do 15 cm na leto. Juračić (1992, 56, 60) ta podatek primerja s podatkom iz estuarija Krke v Šibeniškem zalivu, kjer je sedimentacija sredi Prokljanskega jezera »samo« 0,26 mm na leto, na izhodu iz njega pa le še 0,06 mm na leto. To razlaga z dejstvom, da se večina gradiva reke Krke zaustavi že za pregradami iz laporja (slapovi Krke), tako da večino gradiva v zaliv ne prinese Krka, pač pa desni pritok Prokljanskega jezera Gaduča, ki ima porečje v flišnih kamninah. To je verjetno tudi razlog, da se strugi paleo-Krke lahko sledi do izobate 100 m, Kvarnerski zaliv, v katerega se izliva Raša, pa je zapolnjen z »recentnimi« sedimenti in je globok le od 45 do 50 m (Juračić 1992, 57–58).

Ugotovili so, da se je ustje Raše zaradi takšne sedimentacije v zadnjih 240 letih premaknilo za 4 km (slika 11; Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 490; Rubinić in ostali 1999, 128). Ob njenem ustju pri Bršici so izmerili, da se je v obdobju med letoma 1950 in 1980 dno dvignilo za 4 do 5 m (Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 479).

Raziskave so pokazale »možno povezavo« med kvartarnimi kolebanji morske gladine in intenzivnostjo rečne erozije (Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 477). Na intenzivnost erozije so v kvartarju vplivali tudi tektonski premiki (Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 489). Zadnja sedimentacijska faza se je začela, ko je ob koncu pleistocena gladina Jadranskega morja začela znova naraščati. Po Šegoti (1968; po Milotiću 2004, 6) je bila gladina najnižja (okrog 96,4 m pod zdajšnjo) pred okrog 25.000 leti, pred okrog 10.000 leti pa je bila od zdajšnje nižja še za okrog 31 m. Pred nekako 4000 do 6000 leti je za transgresijo značilna blaga stagnacija. Po Benacu (1996; po Milotiću 2004, 6) se je gladina od začetka našega štetja dvignila za okrog 2 m in je morje zalilo nekdanjo rečno dolino. Na dvig gladine morja za približno 2 m od rimskih časov lahko sklepamo tudi na podlagi tako imenovane rimske terase, ki je danes ob slovenski obali okrog 2 m pod morsko gladino (Šifrer 1965; Orožen Adamić 2002, 150). Globina 2 metra lahko pomeni, da se je slovenska obala v zadnjih 2000 letih povprečno pogrezala za približno 1 mm na leto. Takšno hitrost pogrezanja obale severnega Jadrana so Lambeck in ostali



Slika 11: Spremembe obalne črte v Raške zalivu zaradi odlaganja gradiva reke Raše (Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 482).

(2004, 1567, 1580, 1591) za obdobje holocena ugotovili za območje delte reke Pad, za območje Gradeža (*Grado*) in Ogleja (*Aquilleia*) pa so ugotovili pogrezanje za približno 0,3 mm na leto, pri Trstu pa za približno 0,15 mm na leto. Spremembe morske gladine v holocenu pripisujejo evstaziji, izostaziji in tektoniki.

Največja debelina odloženega gradiva v Raškem zalivu je okrog 70 m in se proti koncu zaliva zmanjšuje (Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 490; Rubinić in Ozanić 1999, 2–3). Po Bakoti (1986; po Juračić in ostalih 1995, 266) kar 91,5 % gradiva prispe do ustja kot suspendirano gradivo. Del gradiva prispevajo kraški izviri v spodnjem delu doline, na primer izvir Rakonek, katerega voda je, kot smo že omenili, 7. 5. 1991 vsebovala kar 24.400 mg/l suspendiranega gradiva (Juračić 1992, 59). Sedimentološke analize v estuariju reke Raše so pokazale, da se v njegovem zgornjem delu odlaga bolj drobnozrnato gradivo, v spodnjem delu pa bolj grobozrnato (Sondi, Juračić in Pravdić 1995, 777).

Porečje Raše meri 205 km² oziroma 164 km² brez porečja Boljunčice, od koder vode od leta 1932 skozi umetni predor odvajajo proti Plominu. V zgornjem delu, kjer se sprošča večina gradiva, ki se odlaga v estuariju, je površje flišno, v srednjem in spodnjem delu s kanjonom pa karbonatno. V srednjem in spodnjem toku je veliko holocenskih naplavin, ki so ob zgornjem delu zaliva debele do 93 m. Predpostavljeno hidrogeološko porečje meri 450 km² (Juračić 1992, 55–56; Juračić in ostali 1995, 265; Sondi, Juračić in Pravdić 1995, 770). Reka je dolga 23 km (Blažević 1984, 229), njen maksimalni pretok je 185 m³/s, minimalni pa 300 l/s (Benac, Arbanas in Pavlovec 1991, 479); povprečni letni pretok je 5,3 m³/s.



MATIJA ZORN, 15. 8. 2008

Slika 12: Današnje ustje regulirane reke Raše.



MATIJA ZORN, 15. 8. 2008

Slika 13: Območje, kjer je bilo do leta 1940 Krapanjsko jezero (glej sliko 11).

4.3 Reka Boljunčica in Plominski zaliv

Od leta 1932 so problemi z odlaganjem suspendiranega gradiva tudi v Plominskem zalivu, kjer je po odprtju predora Čepić–Plomin ustje Boljunčice. Ker med letoma 1938 in 1997 zaliva niso čistili, je nekdanj prometno plominsko luko popolnoma zasulo. Obalna črta se je proti morju premaknila tudi za več kot 50 m. Med letoma 1997 in 1998 so iz Plominskega zaliva odstranili okrog 300.000 m³ gradiva (Rubinić in ostali 1999, 128–129).

5 Sklep

Siva Istra je zelo »hvaležno« območje za preučevanje geomorfni procesov (za pregled slovenskega preučevanja na tem območju glej Zorn 2007a; Zorn 2008), saj erodibilne flišne kamnine in prsti omogočajo intenzivne erozijske procese in s tem veliko »nestalnost« reliefnih oblik. Na hrvaškem te procese v flišnem delu Istre preučujejo že več desetletij; pri čemer so v ospredju predvsem gradbeniki (vodarji) in geologi. S prispevkom želimo bogate hrvaške izkušnje na tem področju predstaviti slovenskim bralcem ter omogočiti lažje razumevanje geomorfni procesov in s tem posredno pojasniti razvoj reliefnih oblik tudi v slovenskih flišnih pokrajinah.

6 Viri in literatura

- Bakota, M., Štajduhar, R., Mičetić, G. 1983: Opis puta II. susreta bujičara Jugoslavije. Erozijska – stručno-informativni bilten 11. Beograd.
- Barbalić, D., Babić, A., Petraš, J. 1999: Analiza bujičnog sliva akumulacije Botonega korištenjem GIS-a. Hrvatske vode od Jadrana do Dunava. Zbornik radova: 2. hrvatska konferencija o vodama. Dubrovnik.
- Benac, Č., Arbanas, Ž., Pavlovec, E. 1991: Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše. Pomorski zbornik 29-1. Rijeka.
- Benac, Č., Arbanas, Ž., Pavlovec, E. 1991: Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše. Pomorski zbornik 29-1. Rijeka.
- Benac, Č., Rubinić, J., Ružić, I., Celijski I. 2007: Geomorfološka evolucija riječnih ušća na istarskom poluostrvu. 4. hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode i Europska unija – izazovi i mogućnosti. Zagreb.
- Blažević, I. 1994: Geomorfološka obilježja i hidrološki resursi Istre. Gospodarstvo Istre 7, 1–2. Pula.
- Blažević, M. 1984: Istarske rijeke. Priroda 72-8. Zagreb.
- Geografija: Tematski leksikoni. Tržič, 2001.
- Gesetz vom 30. Juni 1884, betreffend Vorkehrungen zur unschädlichen Ableitung von Gebirgswässern. Reichsgesetzblatt 117. Wien, 1884.
- Griesbach, J. C., Ruiz Sinoga, J. D., Giordano, A., Berney, O., Gallart, F., Rojo, L. 1997: Guidelines for Mapping and Measurement of Rainfall-induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas. Split.
- Holz, E. 1999: Janez Vajkard Valvasor: Slava vojvodine Kranjske. Stari krajepisi Istre. Koper.
- Janeković, M., Juračić, M., Sondi, I. 1995: Sedimentacijske osobitosti rijeke Mirne (Istra, Hrvatska). Zbornik radova: 1. hrvatski geološki kongres. Zagreb.
- Jesenovec, S. (ur.) 1995: Pogubna razigranost: 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem: 1884–1994. Ljubljana.
- Juračić, M. 1992: Sedimentation in some Adriatic karstic river mouths (Are they estuaries or rias?). Proceedings of the International Symposium »Geomorphology and Sea« and the Meeting of the Geomorphological Commission of the Carpatho-Balkan Countries. Zagreb.

- Juračić, M., Sondi, I., Rubinić, J., Pravdić, V. 1995: Sedimentacija u neravnotežnom estuariju pod utjecajem rijeke: krški estuarij Raše (Hrvatska). Zbornik radova: 1. hrvatski geološki kongres. Zagreb.
- Jurak, V., Barić, R., Fabić, Z. 1989: Inženjerskegeološka istraživanja za ostvaranje akumulacije »Grob-nik«. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- Jurak, V., Fabić, Z. 2000: Erozijska kišom u slivu bujičnog vodotoka u središnjoj Istri. Zbornik radova: 2. hrvatski geološki kongres. Zagreb.
- Jurak, V., Petraš, J., Gajski D. 2002: Istraživanje ekscesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestrične fotogrametrije. Hrvatske vode 10-38. Ljubljana.
- Kisić, I., Bašić, F., Nestroy, O., Butorac, A., Marušić, J., Sabolić, M., Mesić, M. 1999: Zaštita tla od erozije s motrišta održivog gospodarenja tlom. Hrvatske vode 7-26. Zagreb.
- Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A., Silenzi, S. 2004: Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr. Quaternary Science Reviews 23, 14–15. New York.
- Lazarević, R. 1968: Erozijska u slivu Gvozdačke reke – prilog metodi za izradu karte erozije. Glasnik srpskog geografskog društva 49-2. Beograd.
- Lazarević, R. 1985: Novi postupak za određivanje koeficijentata erozije (Z). Erozijska – stručno-informativni bilten 13. Beograd.
- Lazarević, R., Miličević, S. 1983: Erozijska u slivu Botonege. Erozijska – stručno-informativni bilten 11. Beograd.
- Lončar, N. 2005: Geomorfologija. Istarska enciklopedija. Zagreb.
- Lorenz von Liburnau, J. R. 1891: Landschaftliche Schilderung Istriens. Die österreichisch-ungarische Monarchie in Wort und Bild: Das Küstenland (Görz, Gradiska, Triest und Istrien). Heft 10. Wien.
- Melik, A. 1960: Slovenska primorje. Ljubljana.
- Mičetić, G. 1993: Erozijska u slivovima akumulacija srednje Istre. Hrvatska vodoprivreda 2-7. Zagreb.
- Mičetić, G. 1997: Erozijska u Istri – pripremljeno za prezentaciju sustava akumulacije Letaj. Arhiv Hrvatske vode. Rijeka.
- Mihljević, D. 1996: Proces prekomjerne denudacije i njihove posljedice u Istarskom pobrđu. Zbornik radova: 1. hrvatski geografski kongres. Zagreb.
- Milović, I. 2004: Dolina Mirne u antici. Zagreb.
- Orožen Adamić, M. 2002: Geomorfološke značajnosti Tržaškoga zaliva in obrobja. Dela 18. Ljubljana.
- Pavletić, B., Santin, G., Bratulić, D., Kvastek, K. 1993: Namjena i gospodarsko značenje akumulacije Botonega-Butoniga. Hrvatska vodoprivreda 2-1. Zagreb.
- Pavlovec, R. 1975: Flišne kamnine u službi človeka na Primorskem. Koledar Goriške Mohorjeve družbe za leto 1975. Gorica.
- Petkovšek, G. 2002: Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijom na povodju Dragonje. Doktorsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Petraš, J., Holjević, D., Kunštek, D. 2007: Measurements of soil erosion production on the investigation plots »Abrami« on flysch in Central Istria (Croatia). Proceedings: 10th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering. Zagreb.
- Petraš, J., Kunštek, D., Gajski, D. 1999: Primjena terestričke fotogrametrije u istraživanju ekscesivnih erozijskih procesa. Hrvatske vode od Jadrana do Dunava. Zbornik radova: 2. hrvatska konferencija o vodama. Dubrovnik.
- Racz, Z. 1997: Pregled novijih istraživanja erozije tla u Mediteranu i mogućnosti njihove primjene u Hrvatskoj. Hrvatske vode 5-20. Zagreb.
- Radinja, D. 1979: Pomembna, a tudi sporna publikacija vodarstva. Geografski vestnik 51. Ljubljana.
- Rubinić, J. 1994: Hidrološki aspekti gospodarenja akumulacijskim vodnim prostorima u Istri. Hrvatska vodoprivreda 3-26. Zagreb.
- Rubinić, J., Bušelić, G., Kukuljan, I., Kosović, M. 1999: Hidrološka analiza suspendiranog nanosa u istarskim vodama. Hrvatske vode 7-27. Zagreb.

- Rubinić, J., Ozanić, N. 1999: Influence of the Sedimentation Process on the Raša River Mouth on the Outflow Regime of Coastal Springs. Proceedings: XXVIII IAHR Congress. Graz. Medmrežje: <http://www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/pdf/D119.pdf> (27. 6. 2005).
- Rula, B. 1972: Prilog istraživanju intenziteta erozije na demonstracionoj površini »Abrami« kot Buze- ta u Istri. Vodoprivreda 4, 15–16. Beograd.
- Rula, B. in ostali 1977: Rezultati istraživanja površinskog oticanja i spiranja sa ogleda »Abrami« – period od 1970–1977. godine. Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi«. Beograd.
- Rula, B., Stefanović, P. 1977: Prikaz istraživačkog rada iz oblasti erozije i razvoj delatnosti u Odseku za zaštitu slivova. Saopštenja Instituta za vodoprivredu »Jaroslav Černi«. Beograd.
- Rutar, S. 1896: Samosvoje mesto Trst in mejna grofija Istra: prirodnoznanški, statistični, kulturni in zgo- dovinski opis, Zvezek 1. Slovenska zemlja: opis slovenskih pokrajin v prirodnoznanškem, statističkem, kulturnem in zgodovinskem obziru, II. del. Ljubljana.
- Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana, 2005.
- Sondi, I., Juračić, M., Pravdić, V. 1995: Sedimentation in a disequilibrium river-dominated estuary: the Raša River Estuary (Adriatic Sea, Croatia). Sedimentology 42-5. Amsterdam.
- Šifrer, M. 1965: Nova geomorfološka dognanja v Koprskem primorju. Geografski zbornik 9. Ljubljana.
- Tomić, A. 1983: Erozijski procesi u prostoru Istre. Erozijska – stručno-informativni bilten 11. Beograd.
- Zemljič, M., Blažič, J., Pirnat, M. 1970: Stanje, problemi i suvremene metode za borbu protiv erozije i bujica. Zvezek 5, SR Slovenija. Odsek za erozijo Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo Bio- tehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Zorn, M. 2007a: Recentni geomorfni procesi na rečno-denudacijskem reliefu na primeru porečja Dra- gonje. Doktorsko delo, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Zorn, M. 2007b: Ali se zavedamo hitrosti erozijskih procesov – primer iz slovenske Istre. Dela 28. Ljub- ljana.
- Zorn, M. 2008: Erozijski procesi v slovenski Istri. Geografija Slovenije 18. Ljubljana.
- Zorn, M., Mikoš, M. 2008: Umikanje skalnih pobočij na erozijskih žariščih v slovenski Istri. Geologi- ja 51-1. Ljubljana.

7 Summary: Erosion processes in the Croatian part of »Grey Istria«

(translated by the author)

Flysch part of the Istrian peninsula is due to its looks called »Grey Istria«. In this way it is distinguished from the »White Istria«, where (white) limestone prevails on the surface as well as from the »Red Istria«, characterized by bauxite-rich reddish soil (*terra rossa*).

High erodibility of flysch rocks and soils results in intensive erosion processes. The article presents continuous and long-term research of these processes in the last decades in the Croatian part of Grey Istria. For example, measurements on closed erosion plots in Abrami (near the town of Buzet) are described into detail. In Abrami specific yearly sediment production of 5380 m³/km² was measured on bare flysch cliff with exposed bedrock in the 1970s. On other erosion plots soil erosion under different land uses was measured. Soil erosion on bare soil (590 m³/km² per year) was more than nine hundred times higher than erosion in forest (where some anti-erosion measures were taken). In the last decade measurements on bare flysch cliffs have also been conducted with the help of terrestrial photogram- metry. The results are considerably higher (48.108 m³/km² per year) comparing to those mentioned before.

In the paper sedimentation behind dams and at the river mouths is also presented. Sedimentation behind the Letaj dam (Boljunčica River) and in the Butoniga Lake (Butoniga River) is described. In the first case specific sediment production in the river basin behind the dam is estimated to be 803 m³/km² per year, while it is about 2107 m³/km² per year in the second case.

Different historical and dating methods were used to study sedimentation at the river mouths. The analysis of historical topographic maps at the mouth of the river Raša revealed that the river mouth moved some 4 km towards the sea in the last 240 years while the mouth of the Mirna River has moved for some 350 m since the second half of the 19th century. Sedimentation rate of around 1 cm/year was calculated with the help of ¹⁴C dating method at the mouth of the Mirna River.