

MERITVE SPROŠČANJA IN ODPLAVLJANJA ZEMLJIN NA POVODJU ROKAVE

Gregor Petkovšek*

POVZETEK

Prispevek obravnava sproščanje in odplavljanje zemljin na povodju Rokave, ki je del eksperimentalnega povodja Dragonje. Meritve so vključevale meritve pretokov in vzorčevanje vode ter meritve erozije na klifih. Vzorcem vode je bila določena vsebnost trdnih snovi in na ta način določen pretok lebdečih plavin. Pokazalo se je, da je skupni letni odtok lebdečih plavin okrog 1500 ton. Klifi prispevajo nekaj 100 m³ sedimentov v obliki drobnejših frakcij. Premeščanje rinjenih plavin se vrši bržkone le enkrat letno; letna prodonosnost je reda 100 m³. Celotno odplavljanje s povodja tako znaša slabih 2000 ton letno.

UVOD

Erozija tal je eden pomembnejših dejavnikov preoblikovanja zemeljskega površja. Je posledica različnih eksogenih dejavnikov, kot so na primer delovanje tekoče vode, snega, vetra, temperaturnih nihanj in težnosti. Glede na vzrok nastanka delita Pintar in Mikoš (1983) erozijske pojave na pojave kemičnega, biološkega in fizikalnega preperevanja, vetrno erozijo, snežno erozijo, ledeniško erozijo, vodno erozijo, plazno erozijo ter podorno erozijo. V hidrologiji uporabljamo pojem erozija tal običajno v ožjem pomenu. Z njim označujemo pojave površinskega spiranja in odplavljanja zemljin zaradi delovanja padavin in tekoče vode. Erozija tal je v večini primerov rezultat naravnih dejavnikov. V nekaterih primerih pa jo pospešuje tudi človekova dejavnost. Najbolj značilni primeri so kmetijstvo, rudarstvo in gradbeništvo (Hahn et al., 1994).

V tem prispevku podajamo rezultate meritev odtoka vode, odplavljanja zemljin in erozije s klifov na povodju Rokave, ki je del eksperimentalnega povodja Dragonje (slika 1). Povodje Rokave je dobro razčlenjen gričevnat svet s srednjo nadmorsko višino 250 m. Najnižja točka je sotočje z Dragonjo (75 m NMV), najvišja pa 415 m NMV. Površina povodja je 20.4 km². Povprečni vzdolžni padec doline je v zgornjem delu 2.2 %, v spodnjem delu pa 1.4 %. Srednji nagib površja je 25 %. Meritve smo izvajali v sodelovanju z Vrije Universiteit Amsterdam v okviru projekta "Dragonja: Forest - Soil - Water - Climate Interactions" (Dragonja: medsebojni vplivi gozda, tal, vode in klime). Povodje Dragonje je v zadnjih desetletjih doživelo večje spremembe rabe tal, kar je vplivalo na režim odtoka vode ter sproščanje in odplavljanje zemljin (Globevnik in Sovinc, 1998). Na podlagi vrednotenja z Gavrilovićevo enačbo (Gavrilović, 1970) viri navajajo, da se je sproščanje od sedemdesetih let (PUH, 1971) do danes zmanjšalo za skoraj 70 % (Globevnik 2001).

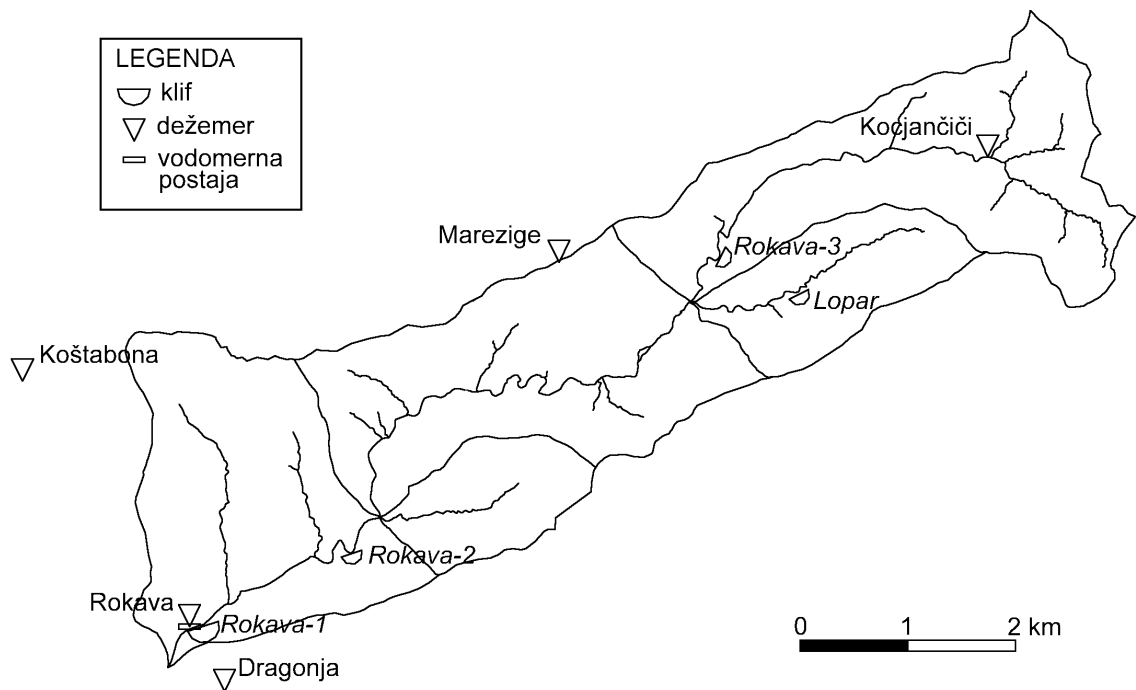
METODE

Z meritvami smo pričeli konec septembra 2000. Meritve, ki jih obravnavamo v prispevku, so vključevale meritve padavin, meritve pretoka vode in lebdečih plavin ter meritve erozije s klifov. Merske lokacije so podane na sliki 2. Padavine smo merili z avtomatskimi dežmeri Siap WL-8100 z ločljivostjo 0.1 mm. Podrobnejši opis merskih metod za ostale količine je podan v naslednjih odstavkih.

* dr. univ.dipl.inž.gradb.,UL - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana



Slika 1 - Položaj povodja Rokave v povodju Dragonje in Slovenski Istri



Slika 2 - Lokacija merskih mest na povodju Rokave

Meritve pretoka vode, lebdečih in rinjenih plavin

Na lokaciji Rokava je bila postavljena vodomerna postaja z avtomatskim vzorčevalnikom ISCO 3700. V stabilnem reguliranem delu struge širine okrog 5 m je bil zgrajen široki prag, ki ga je za potrebe projekta zgradil Hidro Koper. Za njim sta bili postavljeni dve tlačni sondi Druck Ltd. PDCR-830 (Hobby & Minneboo, 2001). Prva sonda beleži gladino vode v konstantnih časovnih intervalih (10 oz. 20 minut). Druga sonda beleži gladino vode v daljših časovnih intervalih (1 ura), vendar tudi vsakič, ko je sprememba več od predpisane vrednosti (0.5 cm). Podatki z druge sonde se shranjujejo v pomnilnik instrumenta Campbell 21X, ki obenem ob vsaki spremembi gladine za več kot 5 cm sproži proceduro odvzema vzorca vode z avtomatskim vzorčevalnikom vode ISCO 3700. Ta lahko brez praznjenja odvzame največ 24 vzorcev po 500 ml, kar zagotavlja dokajšnjo avtonomnost vzorčevanja lebdečih plavin. Zajemna glava je bila postavljena pod širokim pragom, kjer je voda dobro premešana. S tem smo zagotovili ustrezno reprezentativnost vzorca. Velikost odvzetih vzorcev je bila med 400 in 500 ml. Koncentracija C_s [g/l] lebdečih plavin je bila določena tako, da je bila najprej izmerjena prostornina vzorca V_s , nato pa vzorec izparjen pri 105°C, sušina pa stehtana. Koncentracija je bila izračunana kot razmerje med maso sušine m_s in prostornino vzorca V_s .

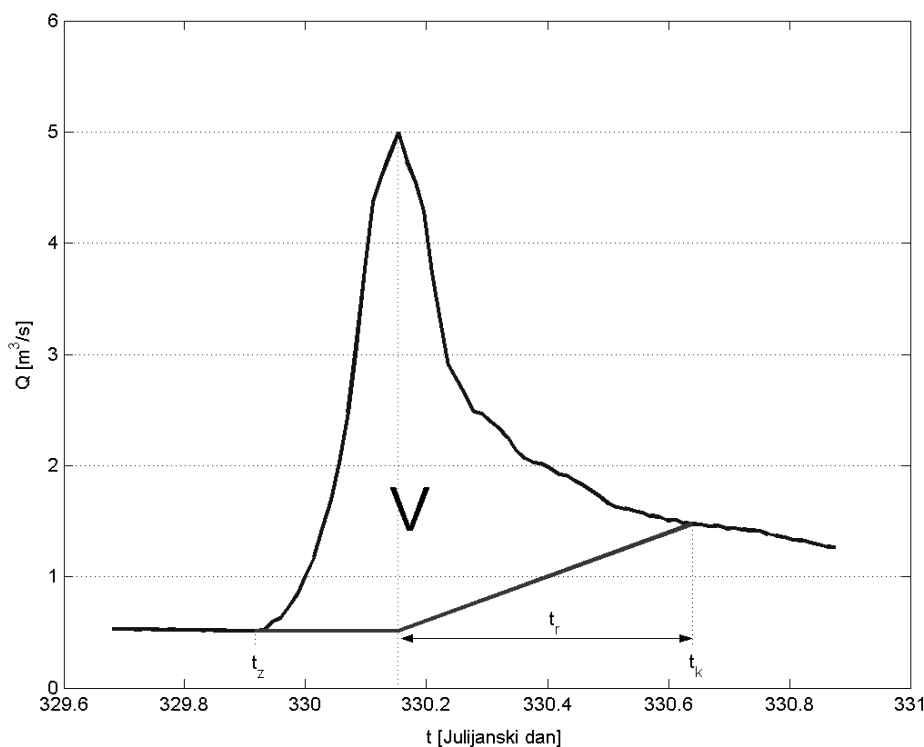
Pretoki vode so bili določeni s pomočjo pretočne krivulje, ki je bila določena z občasnimi meritvami pretokov. Pretoki so bili izračunani s trapezno integracijo specifičnih pretokov po širini, ti pa so bili izračunani iz izmerjene hitrosti in globine. Hitrosti so bile merjene z elektromagnetnim merilcem hitrosti OTT Nautilus C2000 (merilno območje 0 ÷ 2.5 m/s).

Določitev prostornine odtoka za posamezen poplavni val je potekala po sledečem postopku. Najprej sta bila določena začetni t_z in končni čas t_k poplavnega vala. Za začetek poplavnega vala je veljal tisti čas pred nastopom konice, ko je bil pretok najmanjši. Za čas upadanja t_r (od vrha do konca poplavnega vala) je bila izbrana fiksna vrednost (npr. Žugaj, 2000), ki je bila na podlagi primerjav poplavnih valov ocenjena na 12 ur. Nadalje je bilo predpostavljeno, da je bazični odtok Q_b do nastopa vrha poplavnega vala enak pretoku ob začetku poplavnega vala, od tam naprej pa linearno narašča do vrednosti na koncu poplavnega vala. Končno je bila prostornina poplavnega vala izračunana z integracijo razlike med izmerjenim pretokom v strugi Q in bazičnim odtokom Q_b :

$$V = \int_{t_z}^{t_k} (Q - Q_b) \cdot dt \quad (2)$$

Prostornina poplavnega vala je grafično prikazana na sliki 5.

Masni pretok lebdečih plavin Φ_s je bil izračunan kot zmnožek koncentracije lebdečih plavin C_s [kg/m³] in pretoka vode Q [m³/s]. Skupna masa lebdečih plavin v času poplavnega vala je bila dobljena z integracijo masnega pretoka lebdečih plavin. Pri vseh poplavnih valovih so bili vzorci odvzeti do konice, ne pa pri vseh tudi do izteka poplavnega vala. V tem primeru je bilo predpostavljeno, da sta masi plavin pred konico poplavnega vala in po njej v enakem razmerju kot količini odtoka vode pred konico in po njej.



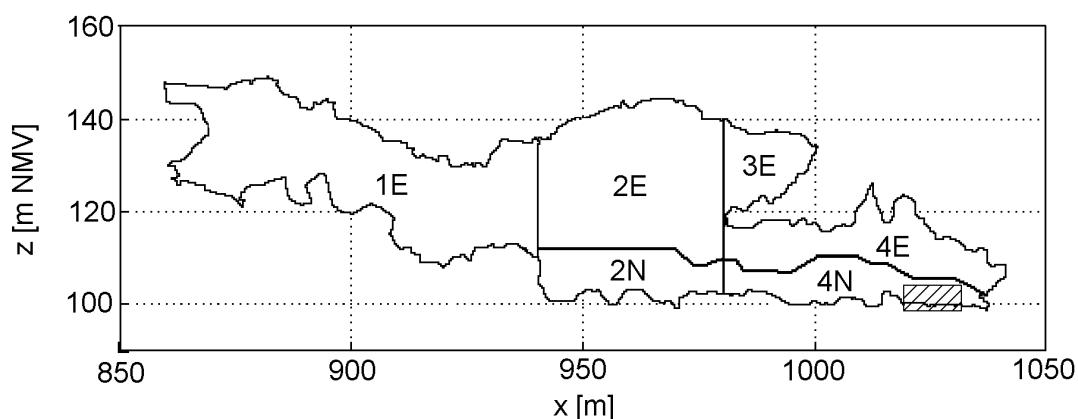
Slika 5 - Določitev prostornine poplavnega vala V

Premeščanje rinjenih plavin smo spremljali na dva načina: s sledenjem prodnikov in z zaprojevanjem prostora za pragom vodomerne postaje. Sledilne prodnike smo odvzeli na Rokavi, jih obarvali in opremili z magneti. Barva se je razlikovala glede na velikost prodnikov. Izbrali smo 50 prodnikov velikostnega razreda 23-45 mm, 50 prodnikov velikostnega razreda 45 -90 mm ter 30 prodnikov velikostnega razreda 90-180 mm. Vsak prodnik smo oštevilčili in mu določili dimenzije (pravokotne osi a , b in c) ter ga stehali.

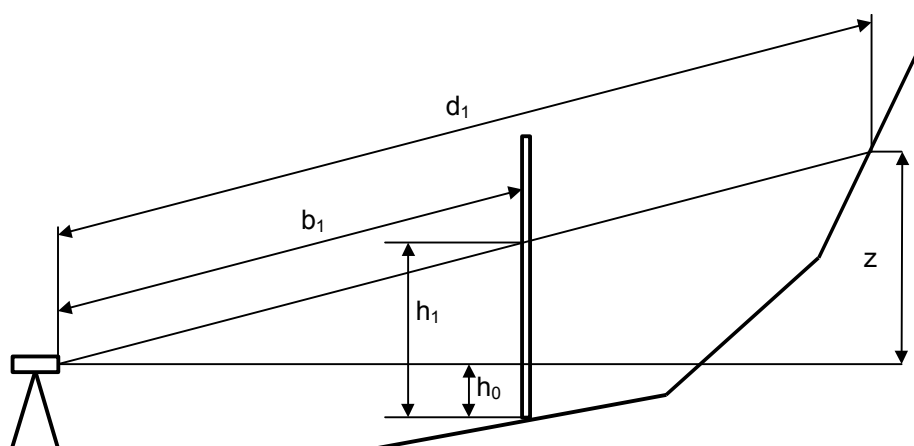
Erozija na klifih

V povodju Rokave smo na podlagi kart identificirali aktivne klife, to je take, ki niso v zaraščanju in lahko na njih še vedno pričakujemo velike stopnje sproščanja. Vsem klifom smo določili velikost, na največjem klifu (Rokava-1, slika 3) pa smo opravili tudi podrobno fotogrametrično meritev v treh časovnih presekih.

Na manjših klifih smo izmerili nekaj značilnih točk, s čimer smo lahko ocenili njihovo velikost. Za določanje razdalj smo uporabili laserski razdaljemer DISTO pro (Leica Geosystems, 2001). Natančnost razdaljemera, kot jo navaja proizvajalec, je ± 5 mm, merimo pa lahko razdalje do 100 m. Višinski kot smo določili (slika 4) s pomočjo navpično postavljene merske late s centimetrsko razdelbo, kot v ravnini pa smo določili s pomočjo razdalj med točkami s postopki trigonometrije. Kljub veliki natančnosti razdaljemera, zaradi manj zanesljivih meritev višin ob lati, ocenjujemo natančnost metode na ± 10 cm.



Slika 3 - Klif Rokava-1 v pogledu. Debela črta je razmejitev med erodirajočim delom klifa (območja z označbo E) in delom klifa, kjer se sedimenti odlagajo (območja z označbo N). Šrafirano območje smo spremljali tudi z erozijskimi žebliči. Koordinate so lokalne.



$$z = (h_1 - h_0) \cdot \frac{d_1}{b_1} \quad (1)$$

Slika 4 - Določitev višine merjene točke z s pomočjo razdaljemera in late

Meritve največjega klifa ob Rokavi smo naročili pri Geodetskem inštitutu Slovenije (GI, 2001, 2002a, 2002b). Najprej so izvedli terestrično fotogrametrično snemanje klifa. Posneli so 16 stereoparov z metrično kamero Rolleiflex 6006. Za potrebe geodetskih meritev so razvili poligonsko mrežo v lokalnem koordinatnem sistemu in hkrati opravili tudi meritve oslonilnih in detajlnih točk. Nato so izračunali geodetsko mrežo in koordinate oslonilnih in kontrolnih točk. Z izvednotenjem fotogrametričnih stereoparov so zajeli lomne linije in posamezne detajle za izdelavo 3D modela, ki so ga podali kot množico 3D točk. Po podatkih izdelovalca (GI, 2001, 2002a, 2002b) je natančnost meritve v zgornjem delu, ki je bil posnet z razdalje približno 100 m, do ± 10 cm, natančnost podatkov za spodnji del, ki je bil posnet z bližine, pa je ± 2 cm.

Na podlagi dobljenih točk smo izdelali 3D model tipa nepravilne trikotniške mreže (TIN). Določili smo nagib ter površino klifa v tlorisu in pogledu. Pri klifu, ki smo ga posneli v treh časovnih presekih, smo analizirali tudi spremembo površine in prostornine.

Erozijske procese na največjem klifu smo spremljali tudi s pomočjo erozijskih žebličev. To so jekleni žeblički, ki jih zapičimo v površino, ki se erodira, in vzdolž njihove dolžine merimo točkovno napredovanje erozije. Postavili smo 28 žebličev v žlebičih ter v medžlebičnem prostoru, in sicer tako v območju, ki je bilo deloma zaščiteno z vegetacijo (šopi trave) kot v nezaščitenem območju. Žebličke smo razmestili v spodnjem delu klifa na njegovem skrajnem koncu v sotočni smeri (slika 3).

REZULTATI

Meritve pretokov vode in koncentracij lebdečih plavin

Struga Rokave je del leta suha. Jeseni leta 2000 se je vodni tok prvič pojavil 10. 10., vendar se je struga kasneje znova presušila. Stalen tok se je pojavil šele 1. 11. in trajal do 24. 6. 2001. Nato je bila struga v poletnem obdobju skoraj tri mesece suha. Ponovno se je stalen vodni tok pojavil 14. 9. 2001. Ker smo imeli jeseni 2001 nekaj težav z mersko opremo, je bil merski niz pogosto prekinjen. Zato smo se odločili, da pri analizi pretokov predstavimo le sezono 2000/01, medtem ko pri analizi koncentracij plavin obravnavamo vse izmerjene dogodke. Sezona je obdobje od prvega jesenskega pojava vodnega toka v strugi do presušitve struge zgodaj poleti naslednjega leta.

Skupen čas, ko je v sezoni 2000/01 po strugi tekla voda, je bil 248 dni. Srednji letni pretok, če računamo samo obdobje, ko je bila v strugi voda, je 428 l/s. Če to preračunamo na celo leto (365 dni), dobimo srednji letni pretok 291 l/s. Največji pretok je pri 23 dogodkih presegal 1 m³/s, pri 14 dogodkih 2 m³/s in pri 5 dogodkih 5 m³/s. Največji izmerjeni in izračunani pretok v omenjenem obdobju je nastopil 4. 11. 2000 in je znašal 19.7 m³/s, kar je bil tudi edini dogodek z vrhom poplavnega vala nad 10 m³/s.

Za primerjavo povejmo, da je srednja letna visoka voda $Q_2 = 16.3$ m³/s, visoka voda s petletno povratno dobo pa $Q_5 = 25$ m³/s. Za določitev teh vrednosti je bila uporabljena analiza visokih voda na vodomerni postaji Podkaštel (Globevnik, 2001) in naslednji preračun:

$$\frac{Q_n}{Q_{n,0}} = \left(\frac{F}{F_0} \right)^{0.7} \quad (3-1)$$

kjer je F_0 velikost prispevne površine v preseku Podkaštel, F površina povodja Rokave, $Q_{n,0}$ in Q_n pa sta letni visoki vodi zn - letno povratno dobo v Podkaštelu oziroma na Rokavi.

Pri šestih poplavnih valovih v tem obdobju je bila merjena tudi koncentracija lebdečih plavin in izračunan njihov masni pretok (kalnost). Vrednosti so podane v preglednici 1. Pri nekaterih poplavnih valovih so bile izmerjene koncentracije, ki so bile nekajkrat večje od povprečja.

Pri poplavnem valu 14. 9. 2001 je v naraščajoči veji pri pretoku približno 10 m³/s vodomerna postaja prenehala pravilno delovati. Zato podatki o največjem pretoku temeljijo na oceni najvišje dosežene kote vode (sledí na obrežnem grmovju), prostornina poplavnega vala pa je bila ocenjena na podlagi trajanja poplavnega vala in ocene koeficienta odtoka.

datum	C_m	C_{max}	M_{SS}	Q_{max}	V_q		P
d.m.yy	kg/m ³	kg/m ³	1000 kg	m ³ /s	1000 m ³	mm	mm
10.10.00	0.72	2.72	61.3	5.6	92	4.7	51
4.11.00	2.72	3.33	759	19.7	275	14.0	79
25.11.00	1.04	5.98	96.5	5.0	89	4.5	29
14.9.01	4.73	14.91	1800*	20*	380*	19.5*	108
7.2.02	0.53	0.88	32.5	1.77	61.8	3.0	23
9.4.02	0.06	0.07	4.2	1.65	66.1	3.2	48

Preglednica 1 - Pregled poplavnih valov na vodomerni postaji Rokava, pri katerih so bile vzorčevane lebdeče plavine. Oznake: izmerjene koncentracije: C_m – srednja vrednost, C_{max} – največja vrednost; M_{SS} – skupna masa premeščenih lebdečih plavin, Q_{max} – največji pretok vode, V_q – prostornina površinskega odtoka, P – višina padavin.

Na podlagi prikazanih rezultatov lahko zaključimo, da manjši poplavni valovi odplavijo do 100 ton lebdečih plavin, večji pa tudi 1000 in več ton. V obeh opazovanih sezonah (pri čemer je sezona 2001/02 nepopolna) se je pojavil en velik poplavni val in nekaj (5-10) manjših poplavnih valov, ki premeščajo lebdeče plavine. V času velikega vala se odplavi okrog 1000 ton lebdečih plavin, pri drugih pa do 100 ton lebdečih plavin. Tako lahko letno odplavljanje lebdečih plavin v opazovanem obdobju s povodja Rokave ocenimo na okrog 1500 ton letno, ta vrednost pa je najbolj odvisna od največjega dogodka v letu. Leto 2001 je bilo, kar se tiče padavin, sicer nekoliko podpovprečno (na lokaciji Portorož - Letališče 978 mm v primerjavi z dolgoletnim povprečjem 1013 mm), medtem ko so bili meseci oktober, november in december 2000 nadpovprečno mokri (na lokaciji Portorož - Letališče 652 mm v primerjavi z dolgoletnim povprečjem v teh mesecih 318 mm).

Odnos med koncentracijo lebdečih plavin C in pretokom Q za nekatere poplavne valove podaja slika 3-1. Iz slike je razvidno, da koncentracija pri enakem pretoku zelo niha, zlasti med različnimi poplavnimi valovi. Tako je bila pri dogodku dne 10. 10. 00 koncentracija lebdečih plavin pri pretoku $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ le okrog 0.5 g/l, medtem ko je bila koncentracija pri dogodku dne 4. 11. 00 ob enakem pretoku že blizu 2 g/l, pri dogodku 14. 9. 01 pa še več. Opazimo lahko tudi, da se koncentracija lebdečih plavin ne zvišuje s pretokom (dogodek 4. 11. 00), najvišje koncentracije se pojavljajo pri relativno nizkih pretokih. Izmerjeni podatki torej kažejo, da omejitveni dejavnik premeščanja lebdečih plavin ni premestitvena zmogljivost, temveč dotok sedimentov. To potrjuje tudi dejstvo, da v dnu skoraj ni najti drobnih zrn plavin. Ravno tako lahko sklepamo, da erozija brežin, ki je odvisna predvsem od pretoka vode, ne prispeva bistvenega deleža k odplavljanju lebdečih plavin.

Rinjene plavine

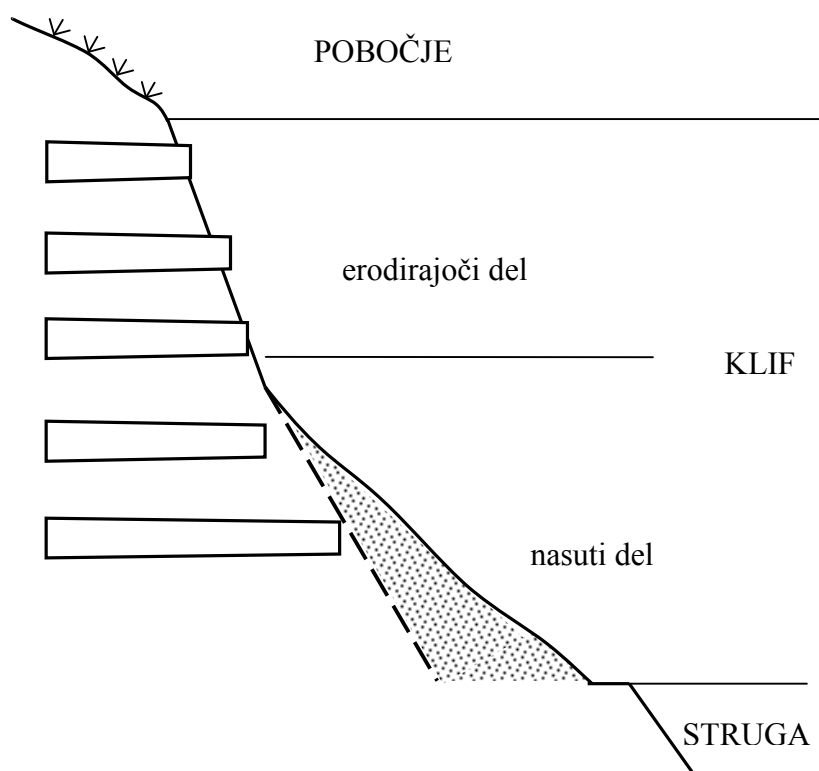
Zaplavni prostor za pragom na lokaciji vodomerne postaje Rokava se je zapolnil v času dogodka 4. 11. 2000 (vrh poplavnega vala $Q_{max} = 19.7 \text{ m}^3/\text{s}$). Prostornino plavin za pragom smo ocenili na 50 m^3 . Približno enaka količina rinjenih plavin se je odložila na položnem delu med pragom in stopnjo, ki leži približno 50 m dolvodno. V času tega poplavnega vala se je po strugi skozi presek tik nad pragom torej premestilo najmanj 100 m^3 rinjenih plavin.

Poskus s sledilnimi prodniki smo pričeli 27. 9. 2001. Po tem datumu je konica največjega poplavnega vala znašala $Q = 1.77 \text{ m}^3/\text{s}$ (7. 2. 2002; srednji letni največji pretok je $Q_2 = 16.3 \text{ m}^3/\text{s}$). Ker se sledilni prodniki tudi ob tem pretoku niso premaknili, lahko sklepamo, da se premeščanje rinjenih plavin vrši le ob največjih pretokih, ki se pojavijo nekajkrat na leto.

Erozija s klifov

Na povodju Rokave smo identificirali štiri erozijsko aktivne klife: Rokava-1, Rokava-2, Rokava-3 in Lopar (slika 2). Klifi so sestavljeni iz dveh delov (slika 6): zgornji del, ki se pretežno erodira, in spodnji del, kjer se sedimenti začasno odlagajo.

Na podlagi terenskih opazovanj smo prišli do naslednjih ugotovitev o dinamiki sedimentov na klifih. Na zgornjem delu klifa prihaja do erozije pretežno zaradi preperevanja in zdrsov manjših zemljinskih mas. Drobnejše frakcije se odložijo na spodnjem delu klifa, grobe frakcije pa zaradi večje vztrajnosti padejo neposredno v strugo. Iz spodnjega dela sedimente v strugo odnaša pretežno površinska vodna erozija (medžlebična in žlebična erozija).



Slika 6. Deli klifa glede na dinamiko sedimentov

Klif Rokava-1

Klif Rokava-1 je največji. Podatki o tem klifu so bili dobljeni s fotogrametričnim snemanjem. Klif je visok do 50 m, širina pa je 180 m. Pogled z značilnimi deli klifa je prikazan na sliki 3. Spodnji del klifa v protitočni smeri je precej zaraščen, tako da tam meritve nismo opravili. Preglednica 2 podaja nekatere značilnosti klifa.

	erodirajoči	nasuti	skupaj
površina - tloris A_z	2682 m ²	878 m ²	3560 m ²
površina - pogled A_y	3685 m ²	745 m ²	4430 m ²
nagib	1.48	0.87	1.32

Preglednica 2. Dimenzije in nagib klifa Rokava-1

Klif je spodaj zaraščen do $x = 980$ m (lokalne koordinate), zato lahko sklepamo, da je količina erodiranega materiala, ki doseže strugo, na tem delu majhna (območje 1E na sliki 3-8). Med $x = 980$ m in $x = 1000$ m je na koti okrog $z = 120$ m klif precej položen in zaraščen, tako da se sedimenti, ki se morebiti sprostijo iz višje ležečih delov, tam ustavijo in prav tako ne dosežejo struge (območje 3E na sliki 3). Površine in nagibi posameznih delov klifa so podani v preglednici 3.

območje	A_z [m ²]	A_y [m ²]	nagib I [-]
1E	1096	1593	1.56
2E	978	1222	1.35
2N	390	370	0.97
3E	194	271	1.50
4E	414	600	1.56
4N	488	373	0.78

Preglednica 3. Površine in nagibi območij klifa Rokava-1 (glej tudi sliko 3)

Razlike med časovnima presekom 27. 9. 2001 in 5. 2. 2002 so podane v preglednici 4. Med tem časom ni bilo intenzivnih deževij in visokovodnih valov, zato lahko sklepamo, da so spremembe posledica preperevanja materiala oziroma drugih oblik erozije (zdrsi ipd). Razlike med časovnima presekom 5. 2. 2002 in 27. 8. 2002 so podane v preglednici 5. V tem obdobju je zaradi površinske vodne erozije na nekaterih nasutih delih klifa prišlo tudi do odnašanja materiala.

V [m ³]	erodirajoči del	nasuti del	skupaj
erodiran material	-10	-54	-73
odložen material	3	175	178
skupaj	-7	112	105

Preglednica 4. Prostornine erodiranega in nanešenega materiala na klifu Rokava-1 med 27. 9. 2001 in 5. 2. 2002

V [m ³]	erodirajoči del	nasuti del	skupaj
erodiran material	-1	-110	-116
odložen material	6	130	131
skupaj	-5	20	15

Preglednica 5. Prostornine erodiranega in nanešenega materiala na klifu Rokava-1 med 5. 2. 2002 in 27. 8. 2002

Za izračun specifičnega letnega sproščanja je primernejše prvo polletno obdobje (27. 9. 2001 - 5. 2. 2002), ko erozije na izmerjenem območju klifa skoraj ni bilo. Če predpostavimo, da se je ves sproščen material odložil na klifu, lahko izračunamo, da je specifično letno sproščanje na enoto tlorisne površine okrog 500 m³/ha oziroma na enoto površine v pogledu okrog 400 m³/ha. Izračun na podlagi drugega polletnega obdobja bi dal nekoliko nižje vrednosti, vendar moramo upoštevati, da se je medtem del erodiranega materiala zaradi površinske vodne erozije spodnjega nasutega dela klifa že izgubil iz merjenega območja.

Drugi klifi

Poleg velikega klifa smo izmerili tudi druge manjše aktivne klife. Preglednica 6 podaja nekatere dimenzije. Zaradi zarasti pri klifu Rokava-2 nam ni uspelo zanesljivo določiti meje med erodirajočim delom klifa in med območjem nasipanja. Pri klifu Rokava-3 območja nasipanja nismo zaznali v nobenem obdobju. Zato smo sklepali, da klif ne prispeva pomembnejše količine sedimentov v strugo vodotoka, kljub temu, da ni poraščen.

klif	A_z [m ²]			A_y [m ²]		
	nasuti del	erodirajoči del	skupaj	nasuti del	erodirajoči del	skupaj
Rokava-2	n/a	n/a	320	n/a	n/a	310
Rokava-3	-	50	50	-	150	150
Lopar	230	130	360	140	170	310

Preglednica 6. Dimenzije manjših klifov (n/a - podatek ni bil določen)

Nagibi klifov so podani v preglednici 7. Ker nam pri klifu Rokava-2 ni uspelo zanesljivo določiti meje med erodirajočim delom klifa in med območjem nasipanja, je podana ocena na podlagi meritve samo območja nasipanja.

klif	nasuti del	erodirajoči del
Rokava-2	0.7*	1.5*
Rokava-3	-	3.0
Lopar	0.75	1.8

Preglednica 7. Nagibi manjših klifov

Iz preglednic vidimo, da so v primerjavi s klifom Rokava-1 drugi klifi mnogo manjši. Njihova skupna tlorisna površina je petkrat manjša. Klif Rokava -2 je tudi nekoliko položnejši, medtem ko je klif Lopar po tem kriteriju precej podoben klifu Rokava-1. Najstrmejši je klif Rokava-3.

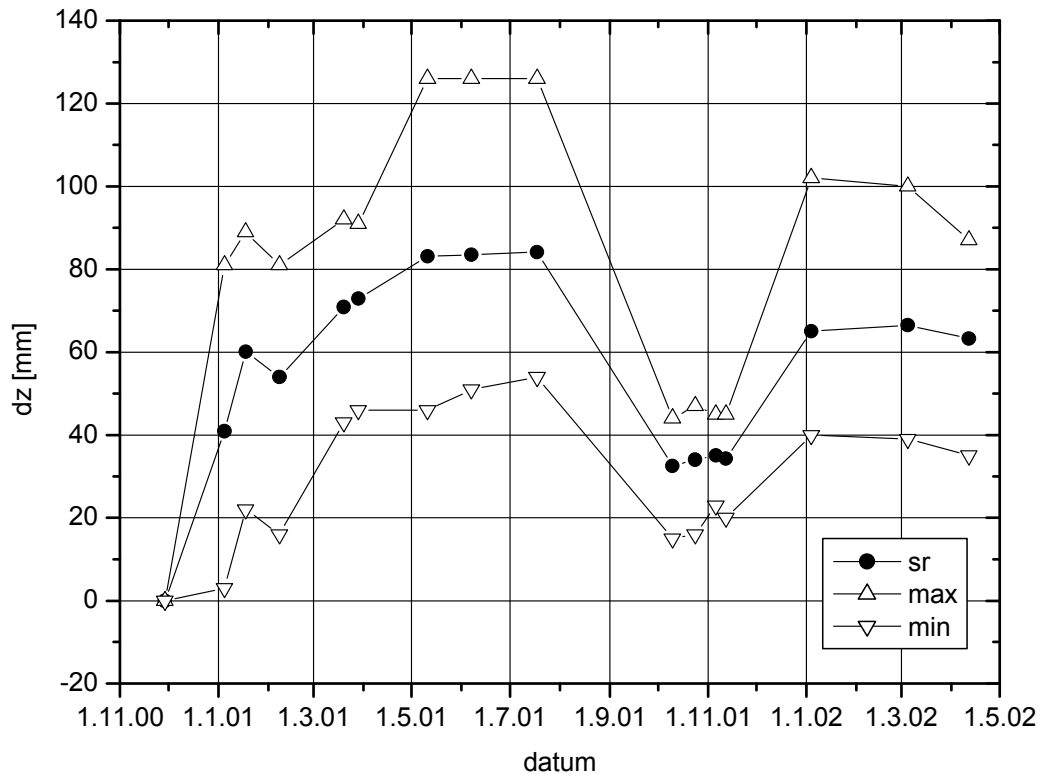
Iz nagibov spodnjega dela klifa lahko izračunamo strižni kot erodiranega materiala. Ta znaša med 35° (Rokava-2) in 41° (Rokava-1). To so precej visoke vrednosti, ki pa so glede na obliko (ravnokar odlomljen oglat material) pričakovane.

Primerjava s podobnimi meritvami v hrvaški Istri

O meritvah sproščanja s klifov poročajo iz hrvaškega dela Istre (Jurak in njegovi sodelavci, 2002), ki so od leta 1995 s fotogrametrično metodo merili sproščanje s klifa v Sv. Donatu (tlorisna površina $A_z = 2191$ m², površina v pogledu $A_y = 3856$ m²) in erozijske eksperimentalne ploskve v Abramih ($A_z = 8.9$ m², $A_y = 3.7$ m²). Tam znaša specifično letno sproščanje med 393 in 497 m³/ha v tlorisu oziroma med 200 in 269 m³/ha v pogledu. Vrednosti so podobne, kot smo jih dobili na klifu Rokava-1. To je pričakovano, saj so klifi tako v topografskem kot geološkem pogledu podobni.

Meritve z žeblički na klifu Rokava-1

Meritve z žeblički so služile kot dopolnilo k fotogrametrični izmeri. Zaradi preprostosti izvedbe meritve in obdelave podatkov so omogočale vpogled v dinamiko dogajanja na klifu v krajših časovnih razmikih. Napredovanje sedimentacije v žlebičih je predstavljeno na sliki 7.



Slika 7. Napredovanje sedimentacije v žlebičih ($n = 8$)

Iz slike 7 vidimo, da je klif v obdobju od maja do julija tako rekoč neaktiven. Največja sprememba se zgodi z nastopom pozno poletnih oziroma zgodnjejesenskih nalivov z veliko erozivno močjo (Petkovšek, 2002). Takrat se na novo pojavijo žlebiči, v katerih se nato zlasti v novembru in decembru, pa tudi še v pomladanskih mesecih, znova odlagajo sedimenti, dokler se žlebič ne izravna z okoliško površino. Na podlagi meritev smo ugotovili, da so žlebiči globoki do 10 cm, široki okrog 20 cm, dolžina pa je odvisna od velikosti nasutega dela klifa, kjer se pojavljajo. Tipična dolžina je med 5 in 10 m.

ZAKLJUČEK

Na podlagi opravljenih meritev od jeseni 2000 do pomladi 2002 lahko povprečni letni odtok lebdečih plavin s povodja Rokave ocenimo na okrog 1500 t (750 kg/ha), povprečni letni odtok rinjenih plavin pa na vsaj 10 % te vrednosti. Ocenjujemo, da je premeščanje večjih zrn rinjenih plavin omejeno v povprečju na en dogodek letno. Rinjene plavine izvirajo pretežno iz klifov, od koder padejo oziroma se skotalijo neposredno v strugo, in morda bočne erozije že odloženega materiala. Rezultati kažejo, da je vir večjega dela lebdečih plavin površinska erozija (slabih 1000 ton), manjšega pa klifi (nekaj 100 m³ oz 100 ton letno). Za natančnejšo določitev deležev so potrebne dolgotrajnejše meritve.

LITERATURA

- GI, 3D Model klifa ob Rokavi. Poročilo o projektu fotogrametrične izmere. 15 str. + priloge. Geodetski inštitut Slovenije 2001.
- GI, 3D Model klifa ob Rokavi. Poročilo o projektu fotogrametrične izmere. 15 str. + priloge. Geodetski inštitut Slovenije, 2002a.
- GI, 3D Model klifa ob Rokavi. Tretja izmera. Poročilo o projektu fotogrametrične izmere. 21 str. + priloge. Geodetski inštitut Slovenije, 2002b.
- L. Globevnik, A. Sovinc, The impact of catchment land use change on river flows: the Dragonja river, Slovenia. *Hydrology in a changing environment I*. John Wiley & Sons, 525-533, 1998.
- L. Globevnik, *Celosten pristop k urejanju voda v povodjih*. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, 167 str. + priloge, 2001.
- C.T. Hahn, B.J. Barfield, J.C. Hayes, *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press Inc., San Diego, USA, 588 str, 1994.
- D. Hobby, S. Minneboo, Hydrology of upper Dragonja catchment, SW Slovenia, a preliminary analysis. Neobjavljen dokument VU Amsterdam, 101 str., 2001.
- V. Jurak, J. Petraš, D. Gajski, Istraživanje ekscesivne erozije na ogoljenim flišnim padinama u Istri primjenom trestričke fotogrametrije. *Hrvatske vode* **10/38**, 49-58, 2002.
- Leica Geosystems, DISTO pro User Manual, 242 str., 2001.
- J. Pintar, M. Mikoš, Izdelava smernic in normativov z globalno usmeritvijo urejanja po ekosistemih, pojavnostih in ekološki primernosti ter načinov gospodarjenja s povirji voda. Poročilo VGI C-432, Ljubljana, 133 str., 1983.
- PUH, Erozija tal in hudourniki, Dragonja v slovenski Istri. Poročilo, Ljubljana, 1971.
- V. Žugaj, *Hidrologija*. Učbenik, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 407 str., 2000.