

BIOLOŠKE KARAKTERISTIKE SEDRENIH SLAPOVA  
U NAŠIM KRŠKIM RIJEKAMA

IVO MATONIČKIN I ZLATKO PAVLETIĆ

**Uvod.** — Fenomen sedrenih slapova u krškim vodama predstavlja vrlo zanimljivu i do sada nepotpuno objašnjenu pojavu. Naročito postoje oprečna i nejedinstvena gledišta u vezi sa sudjelovanjem organizama u tom procesu. Postoje npr. ekstremna stanovišta, prema kojima je postanak slapova isključivo u vezi sa sudjelovanjem živih organizama, a s druge se strane potpuno isključuje udio živih organizama u tom procesu i postanak slapova svodi se na same fizičko-kemijske procese.

Ovakvim jednostranim tumačenjem ne može se objasniti ovaj u biti složen proces, iako je očito da kod izgradnje sedrenih tvorevina znatnu ulogu imaju i jedni i drugi faktori, tj. kako živi organizmi, tako i fizičko-kemijski procesi. Naša je namjera u ovom radu tačnije prikazati koliko i u kojoj mjeri učestvuje živi organizam kod stvaranja sedrenih slapova u našim krškim rijekama.

Tom problemu posvetili smo višegodišnju pažnju. Počevši od god. 1953. pa sve do danas istražujemo živi svijet na slapovima raznih naših krških rijeka i pratimo učestvovanje biljnih i životinjskih organizama u procesu stvaranja sedrenih naslaga. Do sada smo posjetili u nekoliko navrata Plitvička jezera, Unu, Krku, Mrežnicu, Plivu, a vršili smo istraživanja i na Trebižatu, Gackoj i nekim drugim manjim rječicama i potocima u našem krškom području (Vrelo kod Dubrovnika, Slunjčica, potok Plitvice, Unac itd.).

U literaturi postoje podaci o tom problemu, i oni se zasnivaju uglavnom na već spomenutim oprečnim gledištima. Organizmima su davali primarnu ulogu od starijih autora Cohn (1864), Reichardt (1860), Hassak (1888), Pringsheim (1880), Angelstein (1911) i dr., a od novijih Rutner (1921), Klähn (1923), Pevalek (1925), Boros (1925), Mcfadyen (1928), Wallner (1925), Thiennemann (1925), Bajarunas (1921) i dr. U fizičko-kemijskim uvjetima vide isključivu osnovu stvaranja sedre Schürmann (1927), Cvijić (1926) i dr., dok kod ovih procesa uzimaju u obzir i živi organizam i fizičko-kemijske procese Emig (1917), Ohle (1937), Richards (1932), Pavletić (1960) i dr.

**Oblici sedrenih slapova u našim krškim vodama.** — Područje srednje Hrvatske i zapadne Bosne obiluje krškim slapovima i brzacima koji su u najviše slučajeva nastali mjestimičnim taloženjem sedre u uzdužnom

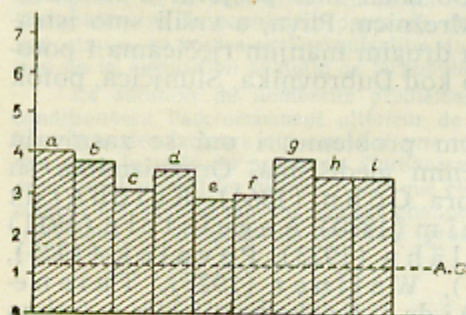
profilu riječnoga korita. Svi ti slapovi pripadaju tipu vapnenačkih slapova koji su ujedno najrasprostranjeniji u krškom području.

Ovi slapovi mogu biti različitog oblika, što je uglavnom u vezi s uvjetima, koji vladaju u pojedinim rijekama. Za taloženje sedre moraju naime postojati neki određeni uvjeti koji nisu isti u svim rijekama.

Voda mora prvenstveno sadržavati određenu količinu otopljenog kalcijevog bikarbonata, što se izražava alkalitetom odnosno karbonatskom tvrdoćom bilo u njemačkim bilo u francuskim stupnjevima. Istraživanjima njemačkog hidrobiologa *O h l e a* utvrđeno je da se karbonati mogu taložiti u onim vodama koje imaju alkalitet barem 1, 3, odnosno karbonatsku tvrdoću od oko 4 HD. Kakve su prilike u tom pogledu u istraživanim krškim vodama, vidljivo je iz slijedeće tabele:

	Alkalitet	Karbonatska tvrdoća u HD
Plitvička jezera	3,6—5,2	10,2—14
Una	3,7—4	10,4—11,3
Krka	2,8—3,6	7,9—10,2
Mrežnica	3,5—3,8	10,5—11
Pliva	3,0—3,1	9,4— 8,7
Trebižat	3,1	8,7
Gacka	3,9—4,1	11 —11,6
Vrelo	3,5	10,5
Unac	3,5	10,58

Usporedbom srednjih vrijednosti alkaliteta (sl. 1) vidimo da istraživane vode imaju uvijek dovoljno otopljenog labilnog kalcijevog hidrokarbonata, jer su sve vrijednosti iznad alkalitetne granice taloženja, tj. od 1, 3, te prema tome mogu nakon prozračivanja izlučivati u vodi netopljivi kalcijev karbonat u obliku sedre.



Sl. 1. Alkalitet u istraživanim vodama. a-Plitvička jezera, b-Krka, c-Una, d-Mrežnica, e-Pliva, f-Trebižat, g-Vrelo, h-Gacka, i-Unac. AG-Alkalitetna granica.

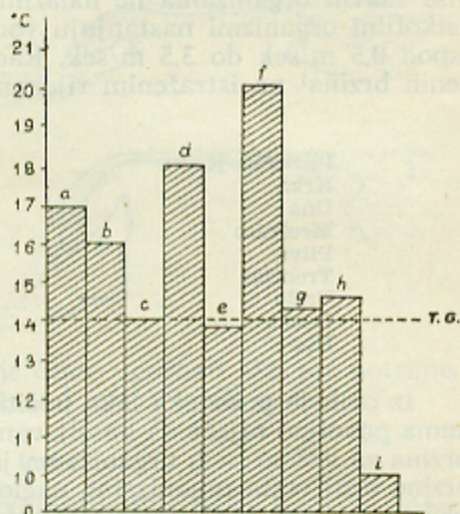
Abb. 1. Die Alkalität in untersuchten Flüssen

a-Plitvička jezera, b-Krka, c-Una, d-Mrežnica, e-Pliva, f-Trebižat, g-Vrelo, h-Gacka, i-Unac. AG-Alkalitätgrenze.

Međutim sam otopljeni bikarbonat nije dovoljan da bi moglo doći do taloženja karbonata. Poznato je da su neke vode (na pr. Unac) iznad alkalitetne granice taloženja, ali ipak ne talože karbonate, jer u njima ne vladaju povoljne temperaturne prilike. Kod relativno niskih temperatura ne može naime doći do cijepanja bikarbonata. Temperaturna granica prema *O h l e u* (1937) iznosi 14° C. U vodama koje su bile predmet naših istraživanja, temperaturne su prilike slijedeće:

	Ljeto	Zima
Plitvička jezera	13,6—20,4°C	do ledišta
Una	13,2—14,8°C	8—15°C
Krka	9,2—23,3°C	
Mrežnica	13,0—23,1°C	6,9—7,5°C
Pliva	13,7—14,1°C	
Trebižat	19,8—21°C	
Vrelo	13,2—15,1°C	
Gacka	14,2—14,5°C	
Unac	10°C	

Ako i ovdje usporedimo srednje vrijednosti temperatura za ljetni period (sl. 2), vidimo da voda u to doba u većini istraženih rijeka ima temperature iznad temperaturne granice taloženja od 14°C. Temperatura vode ispod ove granice konstatirana je samo za zimskog perioda godine, a u izuzetnim su slučajevima konstatirane niske temperature i u ljetno doba, npr. izvorišna područja na Krki i Uni, na Uncu, potoku Plitvice i dr.



Sl. 2. Temperatura u istraženim vodama.

a-Plitvička jezera, b-Krka, c-Una, d-Mrežnica, e-Pliva, f-Trebižat, g-Vrelo, h-Gacka, i-Unac. TG-Temperaturna granica.

Abb. 2. Die Temperatur in untersuchten Flüssen

a-Plitvička jezera, b-Krka, c-Una, d-Mrežnica, e-Pliva, f-Trebižat, g-Vrelo, h-Gacka, i-Unac. TG-Temperaturgrenze.

Uzevši gornje u obzir, možemo utvrditi da u pogledu alkaliteta i temperature ne vladaju svuda iste prilike, pa prema tome nisu ni taložni procesi svuda isti. S obzirom na ova dva faktora najpovoljniji su uvjeti na Plitvičkim jezerima i djelomično na Krki i Mrežnici, što ima za posljedicu da su u tom području i najljepše razvijeni slapovi.

Općenito možemo reći da u svim istraženim vodama postoje povoljni fizičko-kemijski uvjeti za taloženje karbonata, samo što se negdje taj proces odvija brže, a negdje polaganije, pa postoje razvijeniji i manje razvijeni slapovi. Osim toga, negdje je proces taloženja počeo ranije, a negdje kasnije, pa prema tome igra važnu ulogu u razmatranju toga pitanja i historijski momenat.

Ovome valja dodati još neke faktore, koji utječu na ovaj proces, što još više komplicira uvjete za izgradnju slapova i ukazuje na složenost

ove pojave. Najprije, to su živi organizmi, koji su posebno prilagođeni za život u takvim uvjetima i koji mogu zadržavati istaložene karbonate. Bez tih organizama ne bi se mogao zadržavati izlučeni karbonat, jer bi ga odnijela struja vode. To znači da i brzina vode također igra znatnu ulogu u tom procesu.

Brzina strujanja vode zavisna je od količine vode, nagiba, grade korita i hidrauličkog radijusa. Ona nije jednaka na svim dijelovima slapa. Najveća je na površini ili blizu površine vode, dok je manja uz obalu i dno. Ovo je neobično značajno kad se govori o učešću živih organizama u stvaranju slapova, jer živi organizam podnosi samo određenu brzinu strujanja, koja je ispod granice erozijskog djelovanja vode. Osim toga, brzina vode djeluje i na prozračivanje, koje pospješuje taloženje.

Važno je utvrditi kada prestaje erozijska, a kada počinje taložna djelatnost vode. Donja granica bila bi izražena onim minimumom strujanja vode, kod kojeg se pojavljuju reikofilni organizmi, a gornja, kada više takvih organizama ne nalazimo. Naša su istraživanja pokazala da reikofilni organizmi nastanjuju vode, kojih brzina varira između nešto ispod 0,5 m/sek do 3,5 m/sek. Radi preglednosti dajemo tabelu izmjerenih brzina<sup>1</sup> na istraženim rijekama:

	Brzina vode u m/sek
Plitvička jezera	0,4—4,8
Krka	0,5—3,5
Una	0,5—1,5
Mrežnica	0,7—1,3
Pliva	0,7—1,5
Trebižat	0,8—3,5
Vrelo	0,5—1
Gacka	0,7—1,2
Una	1,0—1,5

Iz ovih je podataka lako uočiti da faktor brzine na istraženim rijekama povoljno utječe na naseljavanje reikofilnih organizama. Optimalna brzina za većinu ovih organizama jeste između 0,5—1,5m/sek. Iznad ove brzine broj vrsta organizama naglo opada, jer je ovaj faktor eliminirajući za najveći broj organizama, i mogu ga savladati samo one vrste, koje su posebno prilagođene takvom načinu života.

Od organizama najviše sudjeluju razne biljke, kao što su mahovine i alge, a od životinja puževi, ličinke tulara i obalčara, te kornjaši, maločetinjaši, rakušci i dr.

Promatrajući oblike slapova, valja nam uzeti u obzir njihovu genezu. Slabije razvijeni slapovi obično nisu pokriveni višom vegetacijom, što ima za posljedicu da su jako izloženi svjetlu, pa se prema tome na njima razvijaju sedrotvorne životne zajednice svjetla. S druge strane površina razvijenijih slapova pokrivena je višom vegetacijom (drveće, grmlje, šiblje i sl.), što sprečava prodiranje svjetla na površinu slapa, pa se tu onda razvija pretežno sedrotvorna vegetacija sjene.

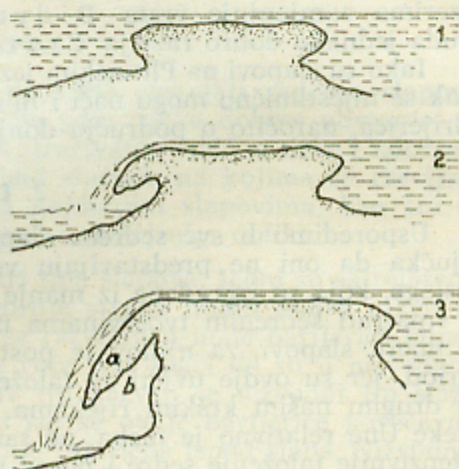
<sup>1</sup> Brzine su mjerene brzinomjerom tipa »Ganser«.

U vezi s genezom možemo u razvoju slapa utvrditi tri glavne faze koje se mogu morfološki dobro ograničiti. Prvu fazu u razvoju čine tzv. sedreni pragovi. Oni predstavljaju sedrene tvorevine poput praga i presijecaju korito rijeke, a nalaze se ispod površine vode (sl. 3a). Vertikalnim rastom ovakvih tvorevina sedrene naslage izlaze iznad razine vode, što ima za posljedicu da se nizvodno stvara mali pad, a uzvodno se voda zadržava. Takvu tvorevinu nazivamo po *Pevaleku* barijerica (sl. 3b). Daljim se vertikalnim rastom ovakve barijerice u nizvodnom dijelu sve više povećava pad, a u uzvodnom se sve više zadržava voda. Tako nastaje prava barijera sa svojim karakterističnim dijelovima, sedrenom bradom i poluspiljom (sl. 3c).

Sl. 3 Shema razvoja slapova.  
1. sedreni prag, 2. sedrena barijerica,  
3. razvijena barijera sa sedrenom  
bradom i poluspiljom; a-brada, b-polu-  
spilja.

Sl. 3 Shema razvoja slapova.  
1. sedreni prag, 2. sedrena barijerica,  
3. razvijena barijera sa sedrenom  
bradom i poluspiljom; a-brada, b-polu-  
spilja.

Abb. 3. Das Schema der Entwicklung  
der Kalktuffwassererfällen.  
1. Kalktuffschwelle, 2. Kalktuffkleine  
barriere, 3. Kalktuffbarriere mit Kalk-  
tuffbart und Halbhöhle. a-Bart, b-Halb-  
hölle.



Same oblike sedrenih slapova bolje ćemo upoznati ako promotrimo kakve slapove nalazimo na pojedinima od istraživanih voda.

### 1. Plitvička jezera

Prema Rogliču je područje današnjih Plitvičkih jezera u toku glacijala bilo bez brana i kontinualno nagnuto. Tek kasnije, u postglacijalu, stvorili su se uvjeti za taloženje sedre i stvaranje brana, koje su ujezerile tok rijeke Korane. Na taj je način nastao čitav niz jezera, koje su međusobno povezana brojnim višim ili manjim sedrenim slapovima.

Slapovi na Plitvičkim jezerima pretežno su razvijenijeg oblika, jer su gotovo svuda površinski dijelovi prekriveni višom vegetacijom, koja pogoduje razvoju sedrotvornih životnih zajednica sjene. Ipak postoje razlike između slapova gornjih i donjih jezera. Tu razliku možemo uočiti i u samom geološkom i geomorfološkom sastavu terena, jer se gornja jezera nalaze na dolomitima gornje krede, pa su zbog toga nastala u širokoj dolini, dok se donja nalaze na mlađim rudistnim vapnencima, te je dolina kanjonskog oblika. Po svemu sudeći, slapovi na gornjim jezerima starijeg su oblika, jer na njima nalazimo ne samo bujno razvijenu

višu vegetaciju nego i jako razvijene i raznolike sedrene tvorevine koje je detaljno opisao Pavlek. S druge strane slapovi na donjim jezerima na svome površinskome dijelu ne pokazuju tako bujno razvijenu višu vegetaciju, a sedrene tvorevine pokazuju da se slapovi nalaze u fazi svoga razvoja. To se ogleda i u sedrotvornoj vegetaciji, koja nije sasvim jednaka kao na gornjim jezerima (usporedi Pavletić 1957). Ovdje su staništa nešto jače osvijetljena, pa se nisu mogle bujnije razviti one vrste, koje rastu u velikim količinama na jako zasjenjenim slapovima gornjih jezera, već se umjesto njih bolje razvijaju one vrste, koje mogu uspjevati i na nešto jače osvijetljenim staništima. Zbog toga na slapovima gornjih jezera nalazimo vrlo dobro razvijenu mahovinu *Bryum ventricosum* (= *B. pseudotriquetrum*), koju na donjim jezerima zamjenjuje vrsta *Didymodon tophaceus*. Inače se svuda jednako dobro razvija *Cratoneurum commutatum*.

Iako su slapovi na Plitvičkim jezerima uglavnom u višoj fazi razvoja, ipak se mjestimično mogu naći i mlađi oblici, u obliku pragova i niskih barijerica, naročito u području donjih jezera.

## 2. Una

Usporedimo li sve sedrene slapove na rijeci Uni, dolazimo do zaključka da oni ne predstavljaju velike barijere, nego su to sedrene naslage, koje su izgrađene iz manje količine sedre. Prema obliku treba ih smatrati sedrenim tvorevinama mlađeg postanka. Međutim, iako su to manji slapovi, za njihov je postanak bio potreban duži vremenski period, jer su ovdje uvjeti za taloženje sedre mnogo nepovoljniji nego na drugim našim krškim rijekama. Srednja dnevna temperatura vode rijeke Une relativno je niska, ne samo zimi nego i ljeti, a to sprečava intenzivnije taloženje sedre i pored relativno velike tvrdoće vode. Ovdje treba tražiti razlog zašto se sedrene naslage u ovoj rijeci sporije talože i polaganije rastu.

S obzirom na morfofenetska obilježja možemo na rijeci Uni susresti tri tipa slapa. Niske barijerice s visinom c. 0,5 m ili manje rijetke su, dok su najčešće one od 1—1,5 m. Ove barijerice ne stvaraju nizvodno veće sedrene brane, nego su na toj strani gotovo okomite. Dužina takvih barijerica iznosi 10 i više metara, a uzvodno završavaju izbočinom T-oblika. Među njima možemo naći i takvih, koje su potpuno pod vodom, pa predstavljaju T-prag. Ukoliko na nekima od njih nalazimo slabo razvijene brade u nizvodnom smjeru, one su vjerojatno uvjetovane sporijom strujom vode (0,5—1 m/sek), pa voda ne stvara veću parabolu preko barijerice. Ovakav tip slapova bili bi oni kod Ripča, Bihaća, Grmuše, Bosanske Krupe i dr.

Na rijeci Uni nalazimo i drugi tip slapa, koji je tektonski uvjetovan, pa nastaju veliki padovi vode, koja mnogo prozračuje, što izazivlje veće taloženje sedre nego na drugim mjestima. Takav slučaj nalazimo na slapovima kod Martin-Broda, gdje rijeka nadolazi iz uskog kanjona i naglo se širi u nekoliko krakova te pada u duboke provalije. Ispod slapa rijeka je usjekla korito u samu sedru, što pokazuju strme okomite obale izgrađene od sedre, dok je samo korito pokriveno sedrenim gromadama. Vrlo

je vjerojatno da ovdje ne protječu uvijek jednake količine vode, te se u vezi s time izmjenjuju periodi taloženja s periodima erozijskog djelovanja rijeke. U ovom se području nalaze najveće sedrene naslage u rijeci Uni, pa se iz toga može zaključiti da su ovdje najpovoljniji uvjeti za njeno taloženje. Iza slapova u Martin-Brodu dolazi po veličini Štrbački buk, koji je gotovo sav izložen suncu, dok su slapovi u Martin-Brodu pokriveni velikim dijelom bujnom višom vegetacijom.

Na rijeci Uni postoje mjesta gdje je sam tok rijeke stvorio povoljne uvjete za prozračivanje vode, a time i jače taloženje sedre. To su mjesta vrlo oštih okuka, kao npr. kod Kostela ispod sela Brekovica kraj Bihaća.

### 3. Krka

Duž čitavog toka rijeke Krke možemo susretati sedrene slapove. Oni se javljaju uglavnom na mjestima gdje rijeka dobiva ubrzanje, pa su se tu javile mogućnosti za jače prozračivanje vode, a time i taloženje sedre. To su pretežno slabije razvijeni slapovi, na kojima se razvijaju životne zajednice svjetla. Jedino na najdonjim slapovima, kao što su Roški slap i Skradinski buk, nalazimo i razvijenije oblike.

Na rijeci Krki mogu se izlučiti tri tipa slapova. Jedni su sa relativno visokim padovima, koji sa svoje gornje strane imaju dobro razvijenu mrežastu sedrenu strukturu. Ovdje se razvijaju i male barijerice koje u svom nizvodnom dijelu postaju sve veće, što znači da su u nizvodnom smjeru barijerice sve starije. Takav tip nazvan je nizvodni tip slapa. Sličan je i uzvodni tip slapa, samo što se ovdje barijerice povećavaju uzvodno, a mrežasta je struktura bolje razvijena ispod slapa. Nizvodnog tipa bili bi Skradinski buk, Roški slap i Brljan, a uzvodnog Miljacka i donekle Bilušića buk. Treći tip slapova bili bi oni sa manje padova i koji zapravo predstavljaju jednu jedinu barijeru, kao što su Manojlovac i Rošnjak. Svi su ovi tipovi genetski uvjetovani. Kod nizvodnog se tipa najmlađe sedrene tvorevine nalaze iznad slapa, a uzvodni tip slapa ima najmlađe sedrene tvorevine i ispod slapa, dok su slapovi trećega tipa tektonski uvjetovani.

### 4. Mrežnica

Prema svojim morfogenetskim karakteristikama slapovi na rijeci Mrežnici mlađeg su postanka. Najčešće su to mali slapići, koji čine niske barijerice s visinom 0,5 do najviše 1,5 m. Širina tih barijerica vrlo je velika i one se protežu čitavom širinom rijeke. U longitudinalnom profilu nalazimo čitav niz poredanih kaskadica, koje se u nizvodnom smjeru smanjuju pa stvaraju neke vrst nizvodnog tipa slapa.

I za ove slapove značajan je njihov spori rast, jer su ovdje uvjeti za taloženje sedre relativno slabiji. Zbog toga su to najvećim svojim dijelom goli slapovi, bez jače razvijene više vegetacije, osim nešto uz obalu i mjestimično sredinom slapa. Ovakve prilike uvjetuju razvoj

sedrotvorne životne zajednice svjetla, pa se ovdje razvila tzv. *Cinclidotus-Gammarus* životna zajednica (usporedi Matonićkin—Pavletić 1959, 1960). Pored ove zajednice raste na ovim slapovima u velikim količinama trava rosulja (*Agrostis verticillata*).

### 5. Pliva

Od izvorišta do ušća u Vrbas pod Jajcem Pliva se u gornjem toku do spoja s najvećom svojom pritokom Janj probija kroz verfenske škriļevce. U srednjem toku prolazi dubokom i suženom dolinom kroz trijadčke dolomite. Između tih i paleozojskih škriļevaca na prijelazu iz srednjeg u donji tok čine dio obalne građe granitni izbojci, koji su svojom relativno većom otpornošću utjecali na suženo oblikovanje doline. Donji tok rijeke je zona paleozojskih škriļevaca s krpama trijadčkih dolomita i starotercijarnih pješćenjaka i konglomera, te se na tome mjestu dolina širi i preko sedrenih slapova spaja s dolinom Vrbasa.

Slapovi na rijeci Plivi predstavljaju neke vrsti osobitosti, jer malo gdje u našoj zemlji možemo naći toliko sedrenih naslaga kao ovdje, pa i sam grad Jajce nalazi se dobrim dijelom na sedrenoj podlozi. Iz ovoga možemo zaključiti da su na tom području nekada postojali vrlo povoljni uvjeti za taloženje sedre, tako da je nastala velika sedrena barijera, koja se dugo protezala duž današnje obale Vrbasa i, s druge strane, zajazila veliko jezero. Ostaci te barijere dobro su vidljivi i danas. S te su strane sve ove sedrene tvorbe jako starog datuma, jer više nisu žive, već su se formirale u fosilnu sedru. Kad su se promijenili hidrološki uvjeti u rijeci, što je moglo biti uzrokovano nadolaskom većih količina vode s jakom erozijskom snagom, tada je napravljen prodor kroz ovu staru barijeru, i to baš na onome mjestu gdje se nalazi poznati veliki slap u Jajcu. Taj proces prodiranja još uvijek traje, što se ogleda u stalnom rušenju podloge slapa. Promjena hidroloških uvjeta na rijeci uzrok je rušenja barijere, što nije, kako je najprije istaknuto, novijeg datuma, već je posljedica jednog dužeg geomorfološkog procesa koji se može zaustaviti samo ponovnom uspostavom ravnoteže ekoloških faktora. Ovi ekološki faktori uvjetuju razvoj biocenoza mladih sedrenih tvorevina.

U posljednje je vrijeme, u vezi s izgradnjom hidroelektrana na tome području, izvršena regulacija samoga slapa, čime se želi donekle sačuvati slap od propadanja.

U donjem se dijelu sada voda probija kroz sedrene naslage, tako da je čitav tok rijeke pokriven sedrenim gromadama, te se ovdje može zapaziti da sedra mjestimično ponovno raste. Na mnogim je mjestima dobro razvijena sedrotvorna biocenoza svjetla koja omogućuje stvaranje mladih sedrenih tvorevina. Neujednačenost u jačini protočne vode sprečava stalan razvoj mladih sedrenih tvorevina u ovom dijelu rijeke. Dok za vrijeme nižeg vodostaja ovi sedrotvorci svjetlijih staništa izgrade nešto sedre, erozijska snaga vode za visokog vodostaja to uništi.

U uzvodnom smjeru susrećemo mlade sedrene tvorevine koje se nalaze u punom razvoju. To su dvije barijerice, koje oko 4 km uzvodno od Velikoga slapa zatvaraju dva jezera, manje donje jezero (Donji đol) i veće gornje jezero (Gornji đol). Iznad gornje barijere oduzimala je



vodu stara hidrocentrala »Elektrobosne«, što sada čini nova »Jajce I«, koja je odnedavno u pogonu. To su tipične sedrene tvorevine mladog postanka, koje izgrađuju sedrotvorne životne zajednice svijetlih staništa. Ove su sedrene tvorevine, međutim, izložene opasnosti da jedan njihov dio ostane bez vode, što bi moglo biti štetno ne samo po sedrene tvorevine, nego i po hidrocentralu. Naime, za vrijeme našeg posjeta rijeci Plivi god. 1957. predviđalo se da se samo jednom dijelu barijerice propusti voda zbog živopisnih mlinica, što bi dovelo do propadanja drugog dijela, jer sedrotvorne tvorevine ne bi mogle više rasti. Zbog toga smo i tada mislili da je lakše očuvati ove mlade sedrene tvorbe na taj način, da bi čitavom širinom barijere protjecala dovoljna količina vode. Inače će se dogoditi da će i one propadati, kao i one stare u donjem toku rijeke, što će kasnije biti teško zaustaviti.

## 6. Trebižat

Na ovoj rijeci postoji samo jedan veći slap nazvan Kravice, kojemu postanak treba dovesti u vezu s tektonskim poremećajima. U prilog tome govori kontinuirani tok rijeke, koja iznad slapa nije zajažena u jezero. Čitav je slap pokriven sedrenim tvorevinama, te se ne može jasno vidjeti njegova tektonska osnova.

Slap je visok 50—80 m, i s gornje strane započinje dobro razvijenom sedrenom mrežastom strukturom s otočićima obraslim višom vegetacijom i sedrenim pokrivačima koji mjestimično stvaraju prilično velike udubine. Na rubnom se dijelu slapa nalaze pretežno sedrene brade, a osim toga imade i dobro razvijenih sedrenih žljebova pa čak i cijevi. Jedna od takvih cijevi lijepo je razvijena na desnoj strani slapa gdje se sastaju dvije velike brade i stvaraju žlijeb dubok oko 4 m koji postepeno prelazi u sedrenu cijev. S donje su strane razvijeni sedreni čunjevi, na koje pada voda velikom snagom.

Slap je polukružnog oblika s najvećom količinom vode u središnjem dijelu; površinska struktura slapa kao i rubovi pokazuju da taloženje sedre nije jednoliko kroz čitavu godinu te da postoje periodi intenzivnije erozije vode, zbog čega slap i nema ravan rub. Na ovome slapu nema razvijenih spilja, jer se brade ne spuštaju duboko. Poluspilje, koje se mogu zapaziti na samom slapu, imaju relativno dobro osvijetljene stijene.

Površina iznad slapa bliže lijevoj obali izgrađena je od nekoliko manjih sedrenih terasa s visinskom razlikom od oko 5 m. U uzvodnom smjeru završavaju terase odvodnim sedrenim pokrivačima.

Jedan kilometar uzvodno od slapa Kravice razvijeno je nekoliko barijerica koje su očito mlađeg postanka, što se vidi po sastavu bioce-  
noza i količini istaložene sedre. Na ovim je mjestima taloženje sedre relativno jako, a barijerice su visoke 0,5—1 m. U sezoni maksimalnih oborina struja vode na ovome mjestu prelazi u erozijsku djelatnost, što ima za posljedicu da ovdje sedrene naslage ne mogu rasti kontinuirano, a niti dostići veću visinu. Rijeka na ovome mjestu pokazuje prilično razvijenu mrežastu sedrenu strukturu, dok je obala pokrivena debelim naslagama sedre.

### 7. Slapovi u ostalim krškim vodama

Postoji još čitavo mnoštvo rječica i potoka u našem krškom području, koji mjestimično prave sedrene slapove. Takvi su npr. rijeka Gacka, Butišnica, Krčić, Vrelo kod Dubrovnika, potoci oko Herceg-Novog i mnoge druge vode. Sve su to tekućice više ili manje kratkoga toka, pa je temperatura vode u njima relativno niska. Zbog toga se, iako su i to vode relativno visokog alkaliteta, u pravilu ne mogu u njima stvarati veće količine sedrenih nasloga, pa su to gotovo sve slabo razvijeni slapovi na kojima se razvijaju životne zajednice svijetla.

**Udio organizama na stvaranju slapova** — Taložni fenomeni na našim krškim rijekama uvjetovani su dobrim dijelom živim svijetom biljaka i životinja, koji je tu našao povoljne uvjete za život i čini karakteristične životne zajednice. Današnje životne zajednice na sedrenim slapovima treba promatrati historijski, jer su one u stvari rezultat razvoja čitave sedrene barijere. U svojoj prvobitnoj fazi one su bile jednoličnijeg sastava nego na razvijenijim sedrenim tvorevinama.

No prije nego prikazemo taj razvojni proces, treba objasniti na koji način organizmi sudjeluju kod izgradnje sedrenih tvorevina na slapovima. Već je prije istaknuto, da su glavni faktori u izlučivanju sedre povoljan alkalitet i temperatura. Pod takvim se uvjetima u vodi pored otopljenog bikarbonata nalazi i nešto slobodne ugljične kiseline, koja stoji s bikarbonatom u određenoj kemijskoj ravnoteži i pod određenim parcijalnim pritiskom (usporedi Pavlečić 1960). Ukoliko je taj parcijalni pritisak slobodne ugljične kiseline veći od onoga pod kojim se taj plin nalazi u atmosferi, razumljivo je da tada dolazi do izlaženja slobodne ugljične kiseline iz vode u atmosferu. To onda izazivlje cijepanje bikarbonata, koji jednim dijelom otpušta slobodnu ugljičnu kiselinu, a drugim dijelom taloži kalcijev karbonat. Ovaj se proces pospješuje naročito u onom slučaju kada veća površina vode dođe u kontakt s atmosferom. To znači tamo gdje se voda rasprskava, što je najčešći slučaj na slapovima, ili tamo gdje počinju nastajati sedrene tvorevine. Ovakvo prozračivanje vode pogoduje da se na takvim mjestima naseljuju razni organizmi, u prvom redu biljke, a iza njih i neke životinje, kod kojih se izmjena plinova ne vrši u vodi nego u uzduhu kojeg ima dovoljno u raspršenoj vodi. Naseljene biljke svojim busenovima zadržavaju izlučeni karbonat. To su većinom razne mahovine, a donekle i alge. Razumljivo je da se na takvim mjestima mogu zadržavati samo one biljke koje će rasti brže nego što se bude taložio karbonat. Među biljkama, kao i na istaloženoj sedri, naseljavaju se i životinjske vrste, koje također sa svoje strane mogu sudjelovati različitim svojim tvorbama (tuljcima, kućicama, ljuskama i sl.) kod zadržavanja izlučenog vapnenca.

Paralelno s razvojem sedrenih tvorevina može se pratiti i razvoj živog svijeta na njima. Dok se na mlađim sedrenim tvorevinama razvija uglavnom vegetacija nižega bilja, među kojom nalazimo čitav niz životinjskih vrsta, dotle vegetaciju višega bilja možemo susresti samo na razvijenijim slapovima, gdje su sedrene tvorevine znatno napredovale u svome razvoju. Znači da i na slapovima jedne biljke pripremaju uvjete

za razvoj drugih. Ovo ima za posljedicu i promjenu zoocenoza koje više ili manje slijede promjene vegetacije. To su već prije opazili i neki drugi istraživači (B a j a r u n a s, T h i e n e m a n n i dr.) i utvrdili da se na sedrenim slapovima životne zajednice stalno mijenjaju i obnavljaju. Naime, gdje postoje jednolični ekološki uvjeti, tamo je i živi svijet jednolik te ne pokazuje neke veće promjene.

Ovako prikazane vegetacijske sukcesije jedini je opisao K o c h (1936) za vode u dolini Lintha u Švicarskoj. On smatra da je prvobitno naseljavanje lišaja i modro-zelenih alga omogućilo naseljavanje mahovinske vegetacije koja je razvijena uz obalu. Naša pak istraživanja dovela su nas do zaključka da vegetacijske sukcesije na sedrenim slapovima naših krških rijeka počinju također modro-zelenim algama, jer najmlađe sedrene tvorevine kao što su T-pragovi i pokrivači, naseljeni su pretežno ovim biljkama, dok je mahovinska vegetacija tek neznatno zastupljena. Prozračivanje na ovim mjestima nije tako intenzivno, jer su te tvorevine u početku pod vodom, a to modrozelenim algama i životinjskim vrstama među njima pogoduje više negoli mahovinama. Tek kasnije, kada sedrene tvorevine toliko izrastu da prozračivanje u površinskim dijelovima zbog pliće vode postaje intenzivnije i stvaranjem brada u nizvodnom dijelu dolazi do jačeg rasprskavanja vode, stvaraju se uvjeti za masovno naseljavanje mahovina na obali, bradama i podbracima.

Biljni svijet na takvim mjestima prati i znatan broj životinjskih vrsta, koje ovdje nalaze povoljnu podlogu i hranu (puževi, kornjaši, virnjaci, maločetinjaši, pijavice, rakušci, zatim ličinke vodencvjetova, obalčara, tulara, dvokrilaca i dr.).

Mogli smo zapaziti da oni slapovi koji su stalnije pod vodom, kao na pr. Plitvičkim jezerima, neki slapovi na Krki i dr. imaju i bujnije razvijene životne zajednice. Na takvim se slapovima vegetacijske sukcesije izmjenjuju ravnomjernije i stalno, tako da je na njima vegetacija postigla svoj potpuni razvoj.

**Zaključak** — Ova je radnja rezultat višegodišnjeg rada autora na istraživanju živog svijeta u našim krškim rijekama. Posebna je pažnja obraćena učestvovanju živih organizama na stvaranju sedrenih slapova.

Uspoređivanjem svih istraženih slapova, odnosno ekoloških prilika na njima, prikazani su fizičko-kemijski i biološki uvjeti taloženja sedre na ovim slapovima. Na osnovu toga zaključeno je da u svim istraženim vodama postoje povoljni uvjeti za taloženje karbonata. Razlike postoje samo u tome, što se taj proces negdje odvijao brže, a negdje polaganije, te kao posljedica toga postoje razvijeniji i manje razvijeni slapovi. Nadalje je ustanovljeno da kod toga igra važnu ulogu i historijski momenat, jer je negdje proces taloženja počeo ranije, a negdje kasnije. U procesu izgradnje slapova važnu ulogu igraju i živi organizmi, koji su posebno prilagođeni životu u takvim uvjetima i mogu zadržavati istaložene karbonate. Bez postojanja živoga svijeta ne bi se mogao zadržati izlučeni karbonat, jer bi ga odnijela struja vode. Zadržavanje živih organizama u takvim vodama u uskoj je vezi s brzinom vode, jer žive biljke i živo-

tinje mogu podnijeti samo određenu brzinu strujanja, koja je ispod granice erozijskog djelovanja vode. Zbog toga je bilo nužno utvrditi granicu tolerancije organizama prema brzini vode. Prema ovim istraživanjima ona iznosi između 0,5 m/sek—3,5 m/sek, a optimum je za većinu organizama između 1—1,5 m/sek.

Prikazana je također geneza sedrenih slapova i utvrđene su tri faze u njihovu razvoju. U vezi s time, radi boljeg upoznavanja strukture i morfologije sedrenih slapova, dat je poseban prikaz slapova na Plitvičkim jezerima, Uni, Krki, Mrežnici, Plivi, Trebižatu, te na ostalim manjim krškim vodama.

U posebnom je poglavlju prikazan udio organizama na stvaranju slapova. Ovdje je utvrđeno da su slapovi najprije naseljavani nižom vegetacijom, koju čine uglavnom modro-zelene alge, a zatim mahovinskom i napokon višom vegetacijom. Ove promjene u vegetaciji prati i karakterističan životinjski svijet, koji je posebno prilagođen ovakvim životnim uvjetima. Osim toga prikazano je na koji način učestvuju biljke i životinje u procesu taloženja sedre. Istaknuto je da se karbonati izlučuju fizičko-kemijskim procesima, a živi organizmi samo zadržavaju istaloženi karbonat. Drugim riječima, taloženje karbonata u tekućim vapnenačkim vodama ne može se objasniti kemijskim promjenama izazvanim fiziološkim djelovanjem biljke ili životinje, nego je i ovo u krajnjoj liniji abiogen put u stvaranju sedre.

#### LITERATURA

- U. Angelstein, Über die Kohlensäureassimilation submerser Wasserpflanzen in Bikarbonat- und Karbonatlösungen. — Cohn Beitr. z. Biol. d. Pflanzen, Vol. 10, Breslau 1911.
- M. Bajarunas, Les touffes calcaires contemporains des environs de Staupopol. — Acta Inst. Agronom. Staupopol. 2, Nr. 1, 1921.
- A. Boros, Two fossil species of Mosses from the diluvial lime tufa of Hungary. — Bryologist, Vol. 28, Pittsburg 1925.
- A. Boros, Die Phytolithen der Süßwasser-kalksteine der Mitteldanubischen Gebirgsgegend. — Földt. közl. — Vol. 54, Budapest 1925.
- R. Bošnjak, Dolina Une. — Glasnik geografskog društva, 24, Beograd 1938.
- F. Cohn, Über die Entstehung des Travertin in den Wasserfällen von Tivoli. — Neues Jahrb. f. Min. usw. Stuttgart 1864.
- J. Cvijić, Geomorfologija, knjiga II, Beograd 1926.
- W. H. Emig, The travertin deposits of the Arbuckle Mountains, Oklahoma with reference to the plantagens concerned their formation. — Bull. Oklahoma geol. surv. Num. 29, Norman 1917.
- D. Franić, Plitvička jezera i njihova okolina, Zagreb 1910.
- C. Hassak, Über das Verhältnis von Pflanzen zu Bikarbonaten und über Kalkinkrustation. — Untersuch. aus dem Bot. Inst. in Tübingen, herausgeb. von W. Pfeffer, Vol. 2, Leipzig 1898.
- S. Ilešić, Rečni režimi v Jugoslaviji. — Geografski vestnik, XIX, 1—4, 1947.
- H. Hranilović, Geomorfološki problemi iz hrvatskog krasa. — Glasnik Hrv. naravoslovnog društva, 13, 1—3, 1901.
- H. Klähn, Die Petrogenese der Kaltuffe nebst einigen sich darausergebenden geologischen Problemen. — Geol. Arch. 2, 1923.
- F. Koch, Tektonika i hidrografija u kršu. — Vijesti geološkog zavoda 1 (Poseban otisak).
- F. Koch, Plitvička jezera. — Vijesti Geološkog zavoda (Posebni otisak).
- I. Matonićkin, Ekološko-faunistička istraživanja slapova i brzica srednje Hrvatske i zapadne Bosne; — Habilitacijski rad 1957.

- I. Matonički, Trihopterska fauna i njen odnos prema brzini vode na sedrenim slapovima i njenim pripadnim brzacima. — Biološki glasnik Hrv. prir. društva 12, 1959.
- I. Matonički, i Pavletić Z.: Životne zajednice na sedrenim slapovima rijeke Une i u brzacima pritoke Unca. — Acta Musei Mac. sc. nat. 6, No 4, 1959.
- I. Matonički i Z. Pavletić, Građa za upoznavanje životnih zajednica u riječici Vrelo kod Dubrovnika. — Acta bot. croatica 18, 1960.
- I. Matonički i Z. Pavletić, Biocenoški odnosi slapa Kravice na rijeci Trebižatu u Hercegovini. — Acta biol. JAZU (u štampi).
- I. Matonički i Z. Pavletić, Prilog poznavanju biocenoza na sedrenim naslagama rijeke Plive u Bosni. — Arhiv bioloških nauka, Sv. 1—4, 1959.
- I. Matonički i Z. Pavletić, Biološke karakteristike erozijskih slapova rijeke Bosne. — Biološki glasnik Hrv. prir. društva 13, 1960.
- W. A. Mcfadyen, On the deposition of calcareous tufa in a mountain Stream at Binn, Canton Valais, Switzerland. — Geol. Mag. 65, London 1928.
- B. Z. Milojević, Geomorfološka promatranja u dolinama Krke i Čikole. — Glasnik geografskog društva, sv. 9, 1925.
- W. Ohle, Kalsystematik unserer Bimengewässer und der kalkgehalt Rügener Bäche. Geologie der Meere und Binnengewässer Bd. I. H. 43. 1937.
- Z. Pavletić, Ekologija briofita na slapovima rijeke Krke s posebnim osvrtom na taloženje sedre. — Doktorska dizertacija, Zagreb 1956.
- Z. Pavletić, Prilozi poznavanju ekologije briofita na slapovima rijeke Krke u Dalmaciji. Rad JAZU, knjiga 312, 1957.
- Z. Pavletić, Sedreni slapovi na rijeci Krki i njihov postanak. — Krš Jugoslavije 2, 1960.
- Z. Pavletić, Ekološke karakteristike staništa na sedrenim slapovima s naročitim obzirom na briofitsku vegetaciju. — Habilitacijski rad, Zagreb 1958.
- Z. Pavletić, Vidi Matonički I.
- I. Pevalek, Oblici fitogenih inkrustacija i sedre na Plitvičkim jezerima i njihovo geološko značenje. — Sep. otisak iz Spomenice u počast prof. dr. Gorjanović-Krambergera, 1925.
- I. Pevalek, Biodinamika Plitvičkih jezera i njena zaštita. — Zaštita prirode, Zagreb 1938.
- I. Pevalek, Der Travertin und die Plitvice Seen. — Verh. d. Intern. Vereinig. f. Limnologie, Bd VII, 1935.
- N. Pringsheim, Über die Entstehung der Kalkinkrustationen an Süßwasserpflanzen. — Jahrbücher für Wissen. Bot. herausgeb. vom Pringsheim, Vol. 19, Berlin 1888.
- H. W. Reichardt, Über das Alter der Laubmose. — Ein Probe Vortrag gehalten zum Behufe der Habilitation als Privat-Dozent für Morfologie und Systematik der Sporenpflanzen. — Verh. Zool. — bot. Ges. in Wien, Vol. 10, Abhandl. 1860.
- D. W. Richards, Ecology in «Manual of Bryology» edited by Fr. Verdoorn, Hague 1932.
- J. Roglić, Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera. — Geomorfološka promatranja. — Geografski glasnik 13, 1951.
- J. Roglić, Krka, Regionalno-geografske osobine. — Konz. zavod NRH, 1953.
- F. Ruttner, Grundriss der Limnologie. — Berlin 1940.
- Schürmann, Die chemisch-geologischen Vorgänge bei der Bildung des Uracher Wasserfalls. — Jahrb. Verein vaterl. Naturk. Württemberg, Jahrg. 74, 1918.
- M. Senoa, Rijeka Kupa i njezino porječje. — Rad JAZU, knj. 72, 1875.
- A. Serko, Kraški pojavi u Jugoslaviji. — Geografski vestnik, 19, 1—4, 1947.
- A. Thienemann, Die Untersuchung bestimmter Gewässer. — Abderhalden Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. 9, Teil 2, Hälfte 1, 1925.
- J. Wallner, Über die Beteiligung kalkablagender Algen am Aufbau der Chironomidentuffe. — Beih. zum Bot. Zentralbl. 54, Abt. A, 1936.
- P. S. Welch, Limnology. — New York 1952.

## ZUSAMMENFASSUNG:

BIOLOGISCHE CHARAKTERISTIK DER KALKTUFFWASSERFÄLLEN IN  
JUGOSLAWISCHEN KARSTGEBIET

von

I. Matonićkin i Z. Pavletić

In der vorliegenden Abhandlung werden die Ergebnisse der mehrjährigen Untersuchung der Lebensverhältnisse an den Kalktuffwasserfällen des jugoslawischen Karstgebietes dargestellt. Dabei wurde eine besondere Aufmerksamkeit auf die Beteiligung der Lebewesen bei der Erzeugung der Kalktuffwasserfälle gelenkt.

Die ökologischen Bedingungen an den untersuchten Wasserfällen vergleichend, konnten die Autoren die physikalisch-chemischen Bedingungen der Kalktuffablagerung ermitteln. Auf Grund dieser Untersuchungen wurde festgestellt dass an allen untersuchten Wässern günstige Bedingungen für Karbonatablagerung bestehen. Die Verschiedenheiten zeigen sich nur soweit, dass sich diese Vorgang in einen Wasserfall schneller und in anderer langsamer vor sich geht. Deshalb kann man an Karstgewässern gut entwickelten und schwach entwickelten Wasserfällen unterscheiden. Ferner wurde festgestellt, dass bei diesem Vorgang auch der historische Moment eine grosse Rolle spielt, denn an einer Stelle beginnt er früher und an anderer Stelle später. Bei der Erzeugung der Kalktuffwasserfälle haben auch verschiedene Lebewesen eine grosse Bedeutung. Die kalktuffbildende Organismen sind an diese einzigartige Lebensbedingungen besonders angepasst, so dass sie ablagernde Karbonate aufhalten können. Ohne Anwesenheit der Organismen die angesonderten Karbonate könnten nicht zurückgehalten werden, denn der Wasserstrom würde sie weggetragen. Der Aufenthalt von Pflanzen und Tiere steht an solchen Gewässern in enger Beziehung mit der Wassergeschwindigkeit, denn diese Organismen können nur eine bestimmte Wassergeschwindigkeit ertragen, welche unter der Grenze der Erosionwirkung des Wassers steht. Deshalb war es notwendig die Toleranzgrenze der Organismen gegen die Wassergeschwindigkeit festzustellen. Nach unseren Untersuchungen beträgt sie 0,5 m/sek — 3,5 m/sek, und das Optimum liegt zwischen 1—1,5 m/sek.

Auch die Entstehung der Kalktuffwasserfälle wurde untersucht und dabei konnten drei Stufen festgestellt werden. Um genauer kennenlernen die Struktur und Morphologie der Kalktuffwasserfälle zu ermitteln werden hier die Wasserfällen an den Plitvizer Seen, sowie an den Flüssen Una, Krka, Mrežnica, Pliva, Trebižat und anderen Karstgewässern.

In besonderen Abschnitt ist weiter die Beteiligung der Organismen an der Entstehung der Wasserfälle dargestellt. Wir haben festgestellt, dass die Wasserfälle zuerst von einer niederen Vegetation besiedelt werden. Diese wird hauptsächlich von der Spaltalgen gebildet, ferner von Moosen und endlich kommt dazu noch höher Vegetation. Diesen Wandlungen der Pflanzenwelt sind auch von einer charakteristischen Tierwelt begleitet, welche an diese Lebensbedingungen angepasst ist. Ausserdem wurde dargestellt wie sich die Pflanzen und die Tiere an Kalktuffablagerungsvorgang beteiligen. Es wurde besonders hervorgehoben dass die Karbonate durch physikalisch-chemische Vorgänge aus dem Wasser ausgeschieden werden, und vorhandene Organismen halten nur die abgeschiedene Karbonate ab. Mit anderen Worten die Karbonatablagerung im fließenden Kalkwässern kann man nicht durch chemische Änderungen welche durch Lebens-Vorgänge der Pflanzen und Tiere hervorgerufen werden erklären, denn zuletzt ist auch dies ein abiogener Weg für die Kalktuffherzeugung.

(Übersetzt vom Autor)