

SEDRA NA RIJECI ZRMANJI KAO NEDOVOLJNO ISTRAŽENI I VALORIZIRANI GEOMORFOLOŠKI FENOMEN

TUFA AT THE RIVER ZRMANJA AS AN UNDER-RESEARCHED AND UNDER-VALORIZED GEOMORPHOLOGICAL PHENOMENON

IVA VEVEREC

Izvod

Rijeka Zrmanja pripada skupini sedotvornih tekućica dinarskog krša. Dosadašnja istraživanja pokazala su postojanje povoljnih uvjeta za taloženje posebno u srednjem dijelu toka između ušća pritoke Krupa i Berberovog buka. Cilj ovoga rada je isticanje vrijednosti sedrenih naslaga čime bi se pridonijelo njihovoj dodatnoj zaštiti kao važnih geolokaliteta. Osim prirodnih uvjeta, nagli razvoj turizma kao i nekontrolirano korištenje prirodnih resursa opasno mogu narušiti ovaj vrlo osjetljivi sedotvorni okoliš. Nužnost zaštite odnosi se i na očuvanje kakvoće vode rijeke Zrmanje, važnoga preduvjeta procesa sedrenja i opstanka sedrenih tvorbi kao elemenata geobaštine i staništa. U tome smislu potrebno je vrednovati i inventarizirati odabrani geomorfološki prostor, a kroz geoedukaciju predstaviti ovaj prirodni fenomen stvaranja jedinstvenog krajobraza u svrhu očuvanja njegove georaznolikosti.

Ključne riječi: sedra, geomorfološki fenomen, georaznolikost, geobaština, Zrmanja

Abstract

The River Zrmanja belongs to the category of freshwater streams where the process of tufa formation occurs. The research done so far indicates conditions there are indeed favourable for formation of such deposits. The most elaborate and the most sizable deposit formations, tufa waterfalls (known as "buk") are found in the middle reach of Zrmanja, downstream from the mouth of the River Krupa. The purpose and the aim of this paper is to underline the value of tufa formations, and thus contribute to advancing the conservation efforts invested in these valuable geological localities. Apart from the natural conditions, rapid development of geo-tourism, in addition to unregulated use of natural resources, poses a danger to this extremely sensitive tufa-forming environment. Furthermore, additional effort needs to be invested in preserving the water quality of Zrmanja River, as it is an important prerequisite for tufa formation process and, hence, the preservation of waterfalls as habitats of many different species. What is necessary in this regard is to estimate the value and conduct the inventory of the selected geomorphological area. Another necessary measure would be to provide education on the geological value of this natural phenomenon which results in the formation of a unique landscape the geological diversity of which should be preserved.

Key words: tufa, geomorphological phenomenon, geodiversity, geoheritage, Zrmanja

UVOD

Sedrene naslage u Hrvatskoj prepoznate su i zaštićene u okviru geolokaliteta Nacionalnoga parka Plitvička jezera (Stilinović i Božičević, 1998), Nacionalnoga parka Krka i Geoparka Papuk kao geomorfološke tvorbe iznimne univerzalne vrijednosti. Površinski vodotoci u Dinarskome kršu u znatnoj mjeri mogu imati povoljne uvjete za taloženje sedre, a njima pripada i rijeka Zrmanja. U njezinom toku nalazimo mnogo geomorfoloških oblika čiji je postanak i razvoj još uvijek slabo istražen. Upravo različiti oblici koji se formiraju taloženjem kalcijeva karbonata otvaraju niz pitanja o njihovu postanku i rastu, fizikalno-kemijskim karakteristikama vode te ulozi živih organizama.

Sedra je najviše istražena na području Plitvičkih jezera i rijeke Krke, dok općenito o rijeci Zrmanji postoji vrlo mali broj radova. Istražena je morfološka evolucija gornjega toka rijeke (Fritz, 1972), seizmotektonska aktivnost (Prelogović i dr., 1979), hidrologija (Bonacci, 1999) i hidrogeologija (Biondić i Biondić, 2014), a osobita je pažnja posvećena istraživanjima podzemnih tokova i njejoj vezi s porječjem rijeke Krke (Bonacci, 1999; Terzić i dr., 2014). Analiziran je hidrološki režim i antropogeni utjecaj (Bonacci i Roje-Bonacci, 2015). Prvi radovi o istraživanju sedre na rijeci Zrmanji bili su s biološkoga (Matoničkin i Pavletić, 1961; 1964a) te geokemijskoga i petrografskoga

aspekta (Pavlović i dr., 2002a). Metodom ^{14}C utvrđena je njena starost (Horvatinčić i dr., 2012), dok su mjerenja koncentracija metala i stabilnih izotopa u sedri te fizikalno-kemijskih parametara vode (Cukrov i dr., 2009: 224; Cukrov i Lojen, 2010) omogućila interpretaciju paleokoliša i antropogenoga utjecaja.

Zrmanja je zasigurno jedna od najljepših rijeka jadranskoga slijeva. Zbog morfogenetske kompleksnosti, strukturno-geomorfoloških obilježja i povezanosti različitih krajobraznih elemenata, rijeka Zrmanja predstavlja izvanredan primjer georaznolikosti u kojoj se posebno ističu različiti oblici sedrenih naslaga. Njihov najveći taložni potencijal nalazi se u srednjemu toku nizvodno od Žegarskoga polja, gdje rijeka prima znatne količine vode od desne pritoke Krupe i tvori atraktivne sedrene slapove. Najpoznatiji su u gornjem toku Buk kod Palanke te u srednjem Visoki buk, Ogari buk, Berberov buk i Jankovića buk. Ovi lokaliteti predstavljaju vrlo vrijedan fluviokrški krajobrazni fenomen, ekološki vrlo osjetljiv i nezaštićen od antropogenoga utjecaja radi rastućeg trenda segmenta pustolovnog i kupališnog turizma. Sedrene naslage Zrmanje u dosadašnjim istraživanjima bile su djelomično obrađene ili tek spomenute u sklopu istraživanja procesa sedrenja općenito. U ovome radu želi se ukazati na vrijednost sedrenih slapova kao geomorfoloških fenomena, koje je potrebno zaštititi boljim planiranjem građevinskih zahvata i turističkih aktivnosti na Zrmanji i u njejoj okolici radi održivosti sustava (Bonacci i Bonacci, 2015a; Bonacci i Bonacci, 2015b). Cilj ovoga rada je pregled dosadašnjih istraživanja sedre na rijeci Zrmanji s naglaskom na njezinu valorizaciju te poticanje interdisciplinarnih istraživanja sedrenih naslaga koja će omogućiti planiranje i definiranje zona zaštite. Iako ova tekućica predstavlja zanimljivo područje za proučavanje postanka i razvoja sedrenih tvorbi, ostala je na margini interesa istraživača, zbog čega je sedra u njoj još uvijek nedovoljno istražena. U radu su korišteni pojmovi autora koji su prvi opisali morfologiju sedrenih naslaga na rijekama i jezerima Dinarskoga krša: *T-pragovi, sedrene barijere i barijere, sedreni pokrivači, sedreni slapovi, špilje i polušpilje* (Pevalek, 1925; 1935; 1953; Pavletić, 1960). Navedena terminologija koristila se u svrhu interpretacije geomorfoloških obilježja sedrenih naslaga na rijeci Zrmanji.

U hrvatskoj literaturi prihvaćen je naziv *sedra* (Horvatinčić i dr. 2000; Horvatinčić, 2004; Pavlović i dr., 2002a; 2002b; Frančišković-Bilinski i dr., 2004), čemu je prethodilo njezino intenzivno istraživanje u svijetu od druge polovice XX. stoljeća. Na temelju dotadašnjih spoznaja u kojima su razmatrani fizikalno-kemijski i biološki procesi, napravljena

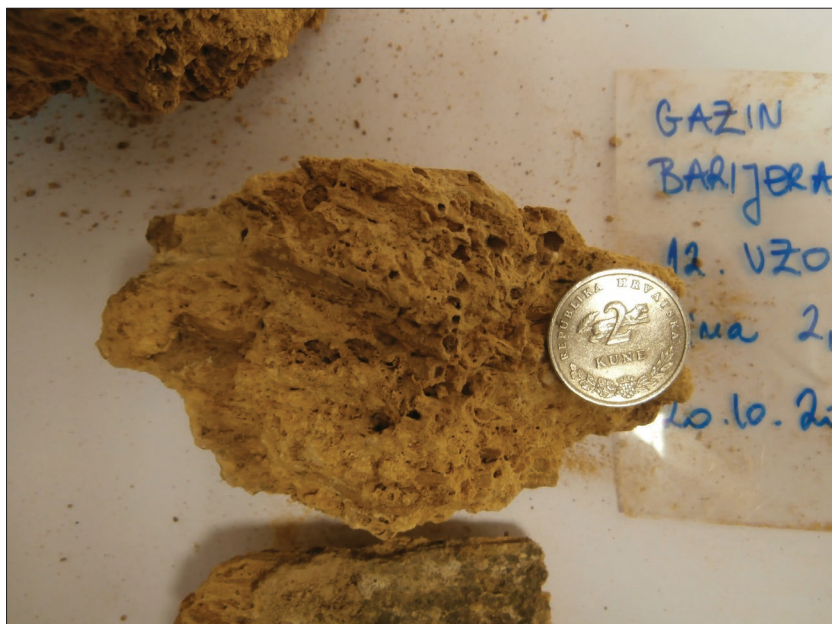
je opća klasifikacija i standardizacija sekundarnih karbonata (Viles i Goudie, 1990). Ford i Pedley (1996) napravili su morfološku klasifikacijsku shemu sedre s pet tipova (*Perched, Springline, Cascade, Fluvial, Lacustrine i Paludal*). Različite morfološke varijacije nalazimo i u Dinarskome kršu gdje je razvijen fluvijalni barijerni model s holocenskom sedrom na Plitvičkim jezerima (Golubić, 1969; Golubić i dr., 2008) s dominantnim facijesom *phytoherm¹ barra-ge* (Pedley, 2009: 227-228; 237) te model kaskadnih slapova na rijeci Zrmanji (Pedley, 2009: 231). One su uvjetovane složenom cirkulacijom površinskih i podzemnih voda kroz karbonatne stijene (Herak i dr., 1969). Intenzitet korozije ovisi o sastavu i razlomljenosti stijena, hidrološkom režimu, klimatskim elementima (temperaturi zraka i količini padalina) te izmjeni i količini CO_2 u vodi, tlu i atmosferi. U takvim okolišima i u kombinaciji s biološkim čimbenicima te određenim fizikalno-kemijskim uvjetima u krškim rijekama kao produkt taloženja kalcijeva karbonata (CaCO_3) nastaje sedra (Golubić 1969; Srdoč i dr., 1985; Emeis i dr., 1987; Chafetz i dr., 1991; 1994; Golubić i dr., 2008).

Sedra se uglavnom sastoji od minerala kalcita ili niskomagnezijskog kalcita, a sadrži i manje količine detritičnog materijala, zrnaca kvarca dimenzija praha i sitnog pijeska te muskovita i minerala glina (Tišljarić, 2001). To porozna karbonatna stijena s fosilnim ostacima slatkovodnih školjaka, puževa i biljaka (Biondić i Biondić, 2014). Njezina poroznost je posljedica šupljikavosti (sl. 1.) koje nastaju zbog truljenja organskog tkiva oko kojeg se obavljalo taloženje i/ili otpuštanja nekih plinova (Tišljarić, 2001). Talozanje sedre je složen geokemijski proces u kojemu je uloga biljaka, algi i mahovina vrlo važna, zbog njihove sposobnosti zadržavanja izlučenog vapnenca, a zbog čega su nazvani sedrotvorcima² (Pevalek, 1935). Drugi važni abiogeni uvjeti za naseljavanje i razvoj životnih zajednica (biocenoza) su povoljan hidrološki režim, optimalna brzina strujanja vode koja omogućuje prozračivanje³ (Pavletić, 1960), položaj i količina svjetlosti na staništima (Matonićkin i Pavletić, 1962) te odsutnost bilo kakvih onečišćivača u rijeci (Obelić, 2009). Za rast sedre važan je indeks zasićenosti vode kalcijevim karbonatom, alkalitet vode (pH) te koncentracija otopljene organske tvari (Srdoč i dr., 1985:

¹ pojmove *phytoherm* i *phytoclast* uveli su Buccino i dr. (1978) koji su istraživali sedimente (sedru) u središnjoj Italiji, kako bi se razlikovale autohtone od alohtonih naslaga. O ulozi phytoherma (slatkovodnoga grebena) u akumulaciji sedre raspravljao je Pedley (1992).

² naziv je uveo Pevalek (1935) koji je prvi je utvrdio da sedru na slapovima Plitvičkih jezera stvaraju vodene biljke i mahovine. Također je prvi uveo znanstveni pojam *fitogena sedra* (fitogen = koji je postao od biljaka).

³ prozračivanje podrazumijeva svako miješanje (rasprskavanje) većih ili manjih čestica vode s atmosferom.



Sl. 1. Uzorak sedre, Gazin kuk (foto: I. Veverec)

Fig. 1 Tufa sample, location Gazin kuk (photo: I. Veverec)

189; Horvatinčić i dr., 1989). Razvijene biocenoze (Matoničkin i Pavletić, 1964b: 111) mogu utjecati na razvoj i brzinu taloženja te stvaranje različitih geomorfoloških tipova sedrenih naslaga. Narušavanjem bilo kojih čimbenika u procesu sedrenja može dovesti do usporavanja ili potpunoga prestanka rasta i razvoja sedrenih naslaga.

OSNOVNE GEOGRAFSKE, GEOMORFOLOŠKE GEOLOŠKE ZNAČAJKE PORJEČJA RIJEKE ZRMANJE

Zrmanja je smještena između $44^{\circ}00'$ i $44^{\circ}25'$ sjeverne geografske širine i $15^{\circ}35'$ i $16^{\circ}20'$ istočne geografske dužine (sl. 2.). Izvire na rubnim dijelovima planine Poštak (395 mnv). Njezin tok prati jugoistočnu granicu Velebita do ušća u Novigradsko more. Ukupna duljina rijeke iznosi 72,5 kilometara⁴. Ukupna hidrološko-hidrogeološka površina sliva Zrmanje iznosi oko 1280 km² (Bonacci i Bonacci, 2015a). Prema geomorfološkoj regionalizaciji Hrvatske (Bognar, 2001) ovaj prostor pripada subgeomorfološkim regijama gorskog masiva Poštaka s dolinom gornje Zrmanje, pobrđu Bukovice i Sjevernodalmatinskoj zaravni.

Porječje Zrmanje nalazi se na području Dinarskoga krša (sl. 2.), a prema geotektonskoj regionalizaciji (Herak,

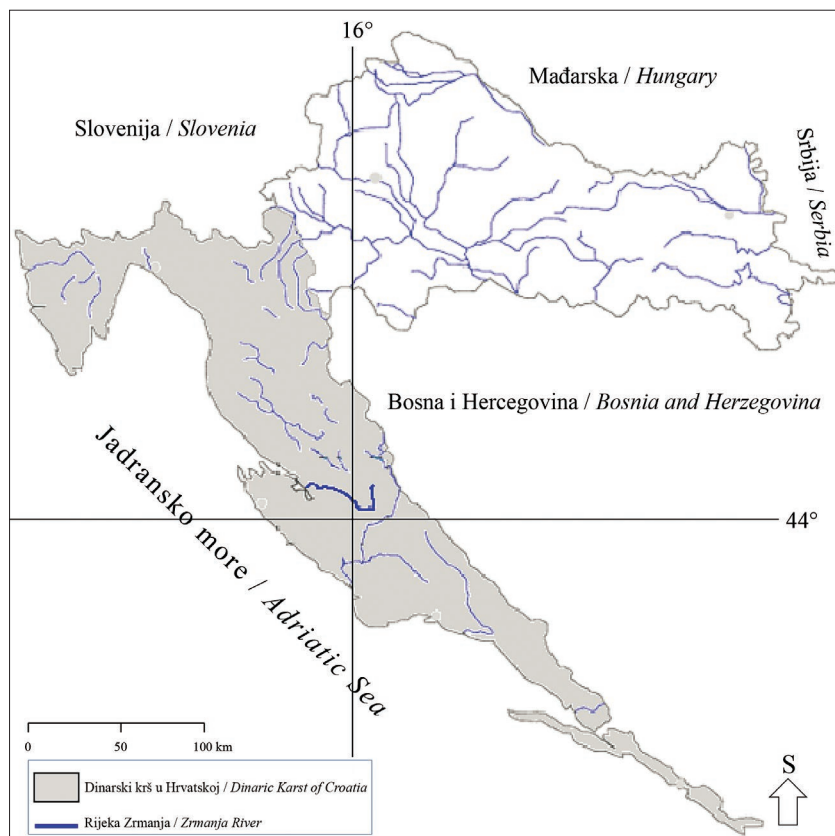
⁴ podatak o duljini toka dobiven je vektoriziranjem toka rijeke s TK25 uz pomoć računalnog programa Quantum GIS (QGIS 2.14.3-Essen).

1986; 1991) je na granici Adrijatika i Dinarika. Izvor Zrmanje nalazi se na rasjednom kontaktu jurskih i trijaskih naslaga. Gornji dio toka je razvijen uz regionalni rasjed. Istočno od njega prostor je građen od trijaskih i jurskih, a zapadno od krednih i paleogenskih naslaga. Sjeverno od donjeg toka pruža se Velebitski rasjed uglavnom u pravcu sjever-sjeverozapad - jug-jugozapad (Prelogović i dr., 1979). Oko Novigradskog mora i Obrovca nalazimo sjecišta rasjeda više pravaca pružanja (Olujić i dr., 1971; Fritz, 1977). Uz desnu obalu gornjeg toka otkrivene su dolomitne breče gornje jure, dok se eocenski foraminiferski vapnenci nalaze samo mjestimice na lijevoj obali Zrmanje. Promina naslage izgrađuju znatan dio terena lijeve obale srednjeg i donjeg toka, a zastupljene su laporovitim vapnencima, laporima, vapnenačkim

konglomeratima i vapnencima. Paleogenske vapnenačke breče i vapnenci Jelar-naslaga utvrđeni su samo na desnoj obali rijeke (Prelogović i dr., 1979). Ovakva karbonatna građa terena, kao izvor otopljenih karbonata, bitan je preduvjet taloženja sedre.

U području Zrmanje nekoliko je osnovnih tipova reljefnih cjelina, a to su: krške zaravni, gorski dijelovi, doline, te polja na naplavinama (Fritz, 1972). Dolina Zrmanje je u uzvodnome dijelu toka široka u odnosu na nizvodni dio koji je kanjonskoga tipa. To je vjerojatno posljedica neotektonske i seizmotektonske aktivnosti, koja ukazuje na relativno spuštanje područja srednjeg i donjeg toka koje traje i danas, dok je Velebit u stalnom izdizanju (Prelogović i dr., 1979).

Hidrogeološka situacija rijeke vrlo je raznolika od njezina izlaska iz široke doline rijeke kod mjesta Prevjes u kanjon prema Mokrome polju i Erveniku, koji je usječen u karbonatnu zaravan dijela Ravnih kotara. Zrmanja na tom dijelu tijekom sušnih razdoblja potpuno ostaje bez vode zbog poniranja u koritu (Biondić i Biondić, 2014). Trasi-ranja podzemnih tokova pokazala su da voda podzemno otječe prema porječju rijeke Krke te izvire u krškom izvoru Miljacka (Bonacci, 1999; Terzić i dr., 2014). Stoga za vrijeme niskih voda rijeka Zrmanja postaje dio porječja rijeke Krke (Biondić i Biondić, 2014). Tijekom kišnih razdoblja voda protječe cijelim kanjonom prema Žegarskom



Sl. 2. Geografski smještaj rijeke Zrmanje

Fig. 2 Geographical location of the River Zrmanja

polju. Kod mjesta Žegar i Ervenik pritječu joj Krupa i voda izvora u Muškovcima te je stalan vodotok čak i tijekom ljetnih sušnih razdoblja. Nizvodno od Muškovaca dolina je ponovno kanjonskoga tipa, ali bez većih gubitaka vode radi utjecaja mora do Jankovića buka (Biondić i Biondić, 2014).

Porječje Zrmanje nalazi se pod različitim klimatskim utjecajima te je na granici kontinentalnih i maritimnih utjecaja. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime područje Zrmanje ima umjereno vlažnu klimu (Cf) (Šegota i Filipčić, 2003). Donji dio toka nalazi se pod utjecajem umjereno tople vlažne klime s vrućim ljetima (Cfa), gornji pod utjecajem umjereno tople vlažne klime s toplim ljetima (Cfb), dok se u srednjemu dijelu toka izmjenjuju utjecaji obaju tipova.

GEOMORFOLOŠKI RAZVOJ DOLINE RIJEKE ZRMANJE

Početak formiranja doline Zrmanje vezan je uz endogene sile i alpski orogenski ciklus, kad se na ovom području dešavaju posljednja intenzivna tektonska zbivanja (Fritz,

1972). Na prijelazu iz eocena u oligocen, u okviru pirinejske orogenetske faze u ovom području javljaju se intenzivni procesi rasjedanja, boranja i navlačenja (Herak i dr., 1969), koji su imali veliko značenje u stvaranju geološke strukture ovoga područja (Baučić, 1967). U vrijeme savske orogenske faze, na prijelazu iz oligocena u miocen, dolazi do tektonskih pokreta koji su utjecali na geomorfološki razvoj u današnjem reljefu doline (Baučić, 1967).

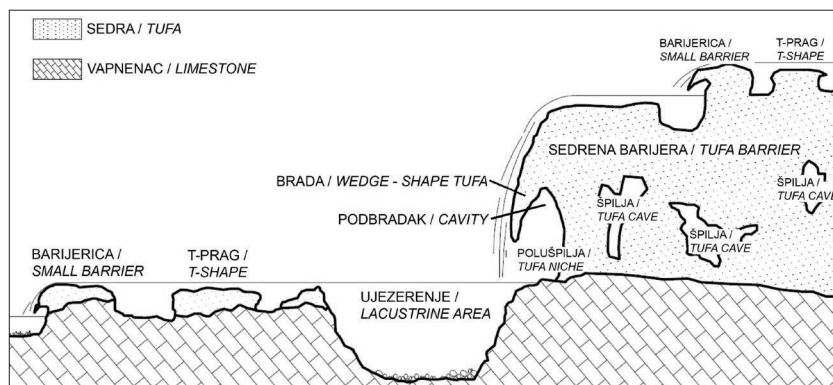
Tijekom spomenutih orogenetskih procesa došlo je do snažnog razlamanja stijena, čime su stvoreni preduvjeti za poniranje velikih količina vode u podzemlje i stvaranje krških reljefnih oblika. Neposredno nakon završetka spomenutih orogenetskih procesa egzogene sile su imale ključan utjecaj na oblikovanje današnjeg vrlo razvijenog reljefa (Bognar i dr. 2012). Tada oblikovani inicijalni reljef djelovao je kao modifikator prvog toka doline Zrmanje koja je u cijelom svom pružanju sve do ušća u rijeku Krku bila uzdužna dolina s asimetričnim profilom. To se i danas odražava

u fosilnom dijelu toka kojim je Zrmanja tekla u pleistocenu, a kojeg je moguće pratiti južno od Kravljevog mosta u smjeru prema jugoistoku do mjesta Očestovo (Fritz, 1972).

Prije proboja Zrmanje prema zapadu i utjecanja u Novigradsko more, počevši od Mokrog polja pa nizvodno taloženi su na mnogim mjestima jezerski i barski sedimenti, koji se sastoje uglavnom od lapora i glina. Ovi talozi datiraju iz razdoblja mindela do kraja interglacijala ris/virm (Malez i Sokač, 1969), a na prostoru Zrmanje nalazimo ih na mnogim lokacijama različitih nadmorskih visina (Fritz, 1972).

Spomenuti talozi su najviši su u području Mokrog polja, a najniži na ušću Zrmanje u Novigradsko more. Može se reći da ovi talozi visinski opadaju u smjeru toka današnje Zrmanje, što ukazuje na postojanje jedne veće paleodepresije, koja se postupno spuštala od Mokrog polja prema zapadu. Paleodepresija se regresivnom erozijom postupno približila području fosilnog toka rijeke Zrmanje i u povoljnijim prilikama, na potezu najmanjeg otpora kod Kravljevog mosta omogućila proboj (skretanje) toka prema zapadu prilikom čega je do tada nizvodni dio ostao suh. Usijecanje

doline izvršeno je monofazno, jer nema riječnih terasa, a korito novog toka usjeklo se u rubni dio Sjevernodalmatinske zaravni. Povoljni uvjeti za proboj Zrmanje prema zapadu i otjecanje prema Novigradskom moru bili su tijekom gornjeg pleistocena, preciznije prije oko 40000 godina. Od razdoblja Würma do danas rijeka je usjekla svoje korito za oko 130 metara na što ukazuje visinska razlika između fosilnog i današnjeg toka Zrmanje (Fritz, 1972).



Sl. 3. Shematski prikaz geomorfoloških oblika sedre na rijeci Zrmanji

Fig. 3 Schematic representation of geomorphological forms of tufa on the River Zrmanja

GEOMORFOLOGIJA SEDRE NA RIJECI ZRMANJI

Sedrene naslage u Zrmanji dosad nisu pobuđivale veću pozornost istraživača te do danas ne postoji cjeloviti prikaz geomorfoloških oblika, što otežava isticanje njihovih vrijednosti, zbog kojih se ovim radom želi ukazati na potrebu interdisciplinarnog istraživanja i zaštite. Rijeka je istražena od izvora do ušća s biološkoga stajališta (Matoničkin i Pavlečić, 1961; 1964a), a rezultati su pokazali prisutnost različitih životnih zajednica (biocenoza) i postojanje povoljnih fizikalno-kemijskih uvjeta za taloženje sedre.

Zbog geoloških i hidrogeoloških karakteristika područja, varijacija klime, brze izmjene protoka u otvorenom vodotoku i poniranja u krško podzemlje, hidrološke prilike u rijeci su vrlo promjenjive. U cijelome toku i na znatnim udaljenostima nalazimo različito razvijene sedrene naslage koje predstavljaju vrijedan geomorfološki prostor za proučavanje njihova nastanka i razvoja. Najnovije analize pokazale su promjene u hidrološkome režimu duž cijeloga toka prvenstveno zbog antropogenoga zahvata Reverzibilne hidroelektrane Velebit (RHE), ali i prirodnoga utjecaja, promjena klimatskih parametara na širem području porječja (Bonacci i Roje-Bonacci, 2015: 177).

Prema morfo-genetskim karakteristikama u rijeci Zrmanji nalazimo različite geomorfološke oblike sedrenih naslaga od kojih su neki prikazani na sl. 3.

Najmlađe sedrene tvorevine u Zrmanji nastaju ispod površine vode gdje počinje prozračivanje, jedan od važnijih uvjeta izlučivanja kalcijeva karbonata. Na mjestima najjačega prozračivanja rast sedre odvija se u dva smjera: u smjeru toka vode i suprotno od njega. Kad se proces taloženja kalcita odvija prema površini vode sedra raste vertikalno te tako nastaju najmlađi geomorfološki oblici *T-pragovi* (Matoničkin i Pavlečić, 1961; 1964a) (sl. 3. i 4.). Ukoliko se prozračivanje odvija na dužem dijelu toka rijeke tada mogu nastati *sedreni pokrivači*. Vertikalnim rastom sedrenoga T-praga iznad površine vode nastaju prve manje prepreke *sedrene barijerice* (sl. 3. i 5.). Dio na barijerici koji visi u smjeru pada vode naziva se *brada*, a prostor is-



Sl. 4. T-pragovi u Zrmanji nizvodno od Visokog buka (foto: I. Vevećec)

Fig. 4 T-shapes in River Zrmanja downstream from Visoki Buk (photo: I. Vevećec)



Sl. 5. Sedrena barijerica nizvodno od Visokog buka (foto: I. Veverec)
Fig. 5 A small barrier downstream from Visoki Buk (photo: I. Veverec)



Sl. 6. Brada i podbradak na barijeri (foto: I. Veverec)
Fig. 6 Wedge-shaped tufa and the cavity on the barrier (photo: I. Veverec)

pod *podbradak* (sl. 3. i 6.). Vertikalnim rastom barijerica nastaju veće *sedrene barijere* (sl. 3. i 7.) koje pregrađuju poprijeko korito rijeke. Pod utjecajem vodene struje i pada vode na barijeru, brada se sve više produžuje stvarajući iz podbradka *polušpilju* i *špilju* (sl. 3. i 8.), koje su posljedica rasta barijere. Ukoliko se špilja potpuno zatvori, daljnjim

rastom barijere u visinu uslijed kojeg raste brada počinje izgradnja sljedeće nove špilje čime barijera postaje deblja (Pevalek, 1953). Na taj način u sedrenoj barijeri može nastati cijeli sistem špilja (sl. 3.). Što su špilje veće i što ih ima više barijera će biti manje čvrsta (Pevalek, 1953). Na rijeci Zrmanji polušpilje i špilje nalazimo ispod velikih sedrenih slapova, koje su nažalost često vrlo teško pristupačne.

Daljnji razvoj velikih sedrenih barijera odvija se sporije u pravcu strujanja vode, dok je glavni rast usmjeren vertikalno i u suprotnom smjeru toka, zbog čega više rastu prema izvoru Zrmanje. Tu se voda prozračuje u horizontalnom smjeru pa u tom smjeru raste sedra. To se isto može odvijati nizvodno, ali samo dok se taj proces zbiva ispod vode. Čim T-prag naraste toliko da nizvodno voda napravi pad sedra raste više u vertikalnom smjeru, prema gore i dolje, a manje niz struju, odnosno prema ušću.

Sedreni slapovi (sl. 7.) su mjesta s najjačom tendencijom taloženja sedre, gdje voda rijeke dobiva ubrzanje, te se voda prelijeva preko barijere čime uzrokuje intenzivno prozračivanje. Recente sedrene barijere u Zrmanji prekrivene su većim ili manjim dijelom biocenozama. Dijelovi barijere koji su stalno protočni imaju sedrotvorce, dok ih ona povremeno protočna mjesta nemaju ili ih imaju vrlo malo. Oni potiču rast barijere, koji može biti ugrožen ukoliko dođe do poremećaja fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika. Zbog svoje porozne strukture sedra je osjetljiva na mehanička oštećenja i velika dinamična opterećenja, primjerice, zbog promjena smjera i režima vodotoka može doći do njezina isušivanja i prestanka rasta barijere. Svaka barijera ima svoju dinamiku, jedne rastu brže, a druge sporije te pri tome mogu dovesti do *ujezerenja* toka (sl. 3. i 9.), koja nalazimo u Zrmanji. Osim na barijerama, kalcijev karbonat može se izlučivati i na samome dnu korita u srednjem dijelu toka Zrmanje.



Sl. 7. Sedrena barijera Berberov buk (foto: I. Veverec)

Fig. 7 Berberov buk (photo: I. Veverec)



Sl. 8. Polušpilja ispod Berberovog buka (foto: I. Veverec)

Fig. 8 The tufa cave under Berberov buk (photo: I. Veverec)

Najviše sedrenih oblika nalazimo na području od ušća Krupe u Zrmanju do Jankovića buka. Zbog nagiba terena i nadolazaka većih količina vode iz Krupe, rijeka dobiva ubrzanje koje pogoduje prozračivanju i povećanju alkaliteta pa time dolazi do izraženoga sedrenja. Velika udaljenost od izvora pridonosi i povoljnim temperaturnim uvjetima

(Matoničkin i Pavletić, 1961; 1964a). U ovome dijelu toka najzastupljeniji su T-pragovi, sedrene barijerice i barijere. Najveći geomorfološki oblici s recentnom sedrom u rijeci Zrmanji su zone slapova: Buk kod Palanke, Visoki buk, Ogari buk, Berberov buk (sl. 7.) i Jankovića buk.

U prvim geokemijskim, petrografskim i mineraloškim istraživanjima građe i sastava sedre sa Zrmanje i Krupe utvrđeno je da prikupljeni uzorci pripadaju vodopadnom ili kaskadno morfološkom tipu naslage sedre (Chafetz i Folk, 1984; Pedley, 1990), mlađega postanka, nastalih u holocenu. Shema grupiranja koja se najčešće koristi u klasifikaciji uzoraka temelji se na prisutnosti ili odsutnosti organskih sastojaka ugrađenih u sedrene naslage (Irion i Müller, 1968; Love, 1985). Najveći dio uzoraka sadrže organske naslage svrstanih u tri tipa: 1) mahovinaste naslage, 2) algalna laminirana kora i 3) zrnato obložene alge (Pavlović i dr., 2002b).

Vrlo važna geomorfološka pojava u Zrmanji su i razne lokacije suhe fosilne sedre u samom toku i izvan njega. Na području od Visokog buka do Ogari buka nalazi se niz fosilnih barijera. Ovakvi lokaliteti vrlo su vrijedni s aspekta znanosti, jer se izotopnim metodama za određivanje njihove starosti može dobiti uvid u geokronološka zbivanja tj. razdoblja nastanka ili zastoja rasta te razine toka kojom je nekad tekla rijeka. Najnovija istraživanja provedena su na suhoj (fosilnoj) sedrenoj barijeri Gazin kuk (sl. 10.) smještenoj na lijevoj obali Zrmanje nizvodno od Visokog buka. Rezultati su potvrdili uglavnom pravilan rast barijere tijekom tri klimatski različita razdoblja holocena (Veverec i dr., 2017; 2018). Ovakva istraživanja omogućuju rekonstrukciju paleoklime i paleookoliša u ovome dijelu Dinarskoga krša, a rijeke Zrmanja i Krupa predstavljaju izvrstan potencijal za daljnja istraživanja.



Sl. 9. Ujezerenje toka Zrmanje (foto: I. Veverec)

Fig. 9 Lacustrine area of the River Zrmanja (photo: I. Veverec)



Sl. 10. Fosilna sedrena barijera Gazin kuk uzvodno od Ogari buka (foto: I. Veverec)

Fig. 10 Gazin kuk - a dry (fossil) tufa barrier upstream from Ogari buk (photo: I. Veverec)

VALORIZACIJA SEDRE KAO GEOMORFOLOŠKOGA FENOMENA I NJEZINA ZAŠTITA

Valorizacija i korištenje prirodnih potencijala na bazi održivoga razvoja u direktnoj je sprezi s institucionalnom zaštitom ovoga područja. Prirodna vrijednost rijeke Zrmanje prepoznata je kroz zakonsku zaštitu njezinih pojedinih dijelova (sl. 11.) koji se nalaze unutar Parka prirode Velebit⁵. Kanjonski dio toka, od Obrovca do ušća u Novigradsko more, zaštićen je u kategoriji značajnog krajobraza⁶, dok je cijeli tok dio ekološke mreže Natura 2000⁷. Sedrene barijere zaštićene su kao stanišni tip krških rijeka⁸ dok valorizacija i zaštita sedre s geomorfološkoga aspekta u Zrmanji nije prepoznata. S obzirom da u novije vrijeme geomorfološka raznolikost postaje sve značajniji resurs, tako i odabrani lokaliteti postaju ili mogu postati mjesta istaknute znanstvene, obrazovne, ekonomske, ekološke i estetske vrijednosti. Kvalitetna promocija ovoga prirodnoga resursa omogućila bi u konačnici valorizaciju, održivo korištenje i adekvatnu zaštitu sedre u području rijeke Zrmanje.

Znanstvena i stručna podloga za promociju već postoji, jer se istraživanja sedre u Hrvatskoj provode još od XX. stoljeća, a intenzivirana su u posljednjih tridesetak godina. Rezultati datiranja sedre metodom ¹⁴C potvrdila su nastajanje u razdoblju holocena (Horvatinčić i dr., 2012), što ukazuje da su sedrene naslage mlađeg postanka. Mjerenja izotopnim metodama ¹⁴C u sedri, tresetu, vodi i drugim organskim materijalima te ²³⁸U/²²⁶Ra, ²³⁸U/²³²Th, ¹³⁷Cs, ¹⁸O i ¹³C, omogućuju interpretacije paleookoliša i paleoklimatskih obilježja (Srdoč i dr., 1983; Frančišković-Bilinski i dr., 2004; Andrews, 2006). Sedra je vrlo dobar okolišni

⁵ Park prirode Velebit obuhvaća površinu od 2200 km², proteže se od prijevoja Vratnik na sjeverozapadu do kanjona Zrmanje na jugoistoku u dužini od 145 km. Sa zapadne strane graniči s Jadranskim morem, a s kopnene strane okružuju ga Gacko, Ličko i Gračačko polje s rijekama Gacka, Lika i Otuča. Park prirode Velebit najveće je zaštićeno područje u Republici Hrvatskoj, a status zaštite dobio je zbog svojih prirodnih vrijednosti i značaja za očuvanje biološke raznolikosti. Velebit je 1978. godine uvršten u mrežu međunarodnih rezervata biosfere UNESCO-a. Unutar granica Parka smještena su i dva nacionalna parka, Nacionalni park Paklenica i Nacionalni park Sjeverni Velebit.

⁶ Područje kanjona rijeke Zrmanje, od Obrovca do ušća u Novigradsko more, površine 5,57 km² zaštićeno je 1964. godine u kategoriji značajni krajobraz. Od Obrovca uzvodno pripada Parku prirode Velebit, dok je njen cijeli tok određen kao područje ekološke mreže.

⁷ Ekološka mreža RH (Natura 2000) je ekološka mreža Republike Hrvatske, proglašena *Uredbom o ekološkoj mreži* (Narodne novine (NN) 124/2013) te izmijenjena *Uredbom o izmjenama Uredbe o ekološkoj mreži* (NN105/15), predstavlja područja ekološke mreže Europske unije Natura 2000.

⁸ U *Pravilniku o popisu stanišnih tipova, karti staništa te ugroženim i rijetkim stanišnim tipovima* (NN 88/14), Sedrene barijere krških rijeka Dinarida (32A0) ciljani su tip staništa za očuvanje i zaštitu na nacionalnoj razini.

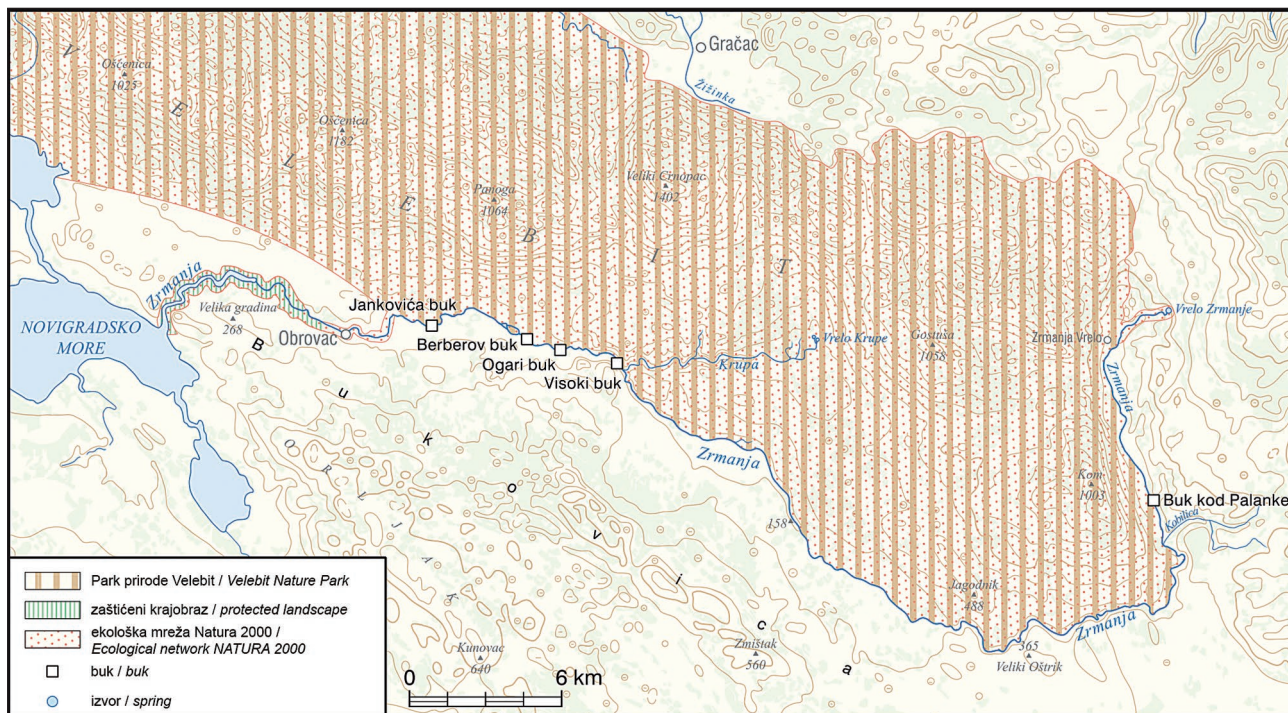
pokazatelj ekosustava u krškim riječnim sustavima. Rezultati istraživanja u rijeci Zrmanji pokazali su nešto povišene koncentracije ekotoksičnih metala u sedri što ukazuje na određeni antropogeni utjecaj na riječni okoliš, koji se nikako ne smije zanemariti (Cukrov i dr., 2009: 224; Cukrov i Lojen, 2010). Ovakva istraživanja potrebno je provoditi na Zrmanji radi praćenje stanja sedrenih naslaga, na temelju kojih bi se obavljalo njihovo vrednovanje s ciljem zaštite geomorfoloških lokaliteta.

Nagli razvoj turizma, a posebno raftinga i drugih pustolovnih oblika zahtijeva edukaciju lokalnog stanovništva i posjetitelja radi informiranosti o osjetljivosti sedrotvornog okoliša u cilju očuvanja sedrenih oblika i krajolika. Važno je promicati ideju održivog razvoja geoturizma obzirom da su geomorfološke tvorbe sedre ujedno i staništa brojnih vrsta organizama koji aktivno sudjeluju u procesu sedrenja. Zbog toga sedra osim obrazovne ima i značajnu ekološku vrijednost, a kao geobaština ima veliko ekonomsko značenje samo ako je očuvana i neoštećena. Rijeku Zrmanju i njene sedrene slapove kao geomorfološki fenomen možemo slobodno svrstati u područje izvanredne prirodne ljepote i estetske vrijednosti koje je potrebno dodatno zaštititi (Pevalek, 1938).

Geološka i geomorfološka baština Hrvatske vrlo je vrijedna i bogata. Njena posebnost očituje se u velikoj georaznolikosti na relativno malome prostoru. U ovu kategoriju možemo svrstati i porječje rijeke Zrmanje smještene na području Dinarskoga krša. Njena dinamična geološka prošlost utjecala je na oblikovanje podzemnoga krškoga reljefa i podzemnih tokova, dok na površini danas nalazimo veliku geomorfološku raznolikost reljefnih oblika poput kanjona, krških zaravni i polja, udoline, ujezerenja te raznolike atraktivne tvorbe sedrenih naslaga.

Primjenom suvremenih izotopnih i geokemijskih metoda utvrđeno je da je većina istraženih naslaga sedre na Zrmanji pripada holocenskom razdoblju. Datiranjem velikoga broja uzoraka sedre s različitih lokaliteta „zapažena je povezanost rasta sedre s paleoklimatskim uvjetima, kao i velika ovisnost o ekološkim promjenama“ (Srdoč i dr., 1985: 188). Ovakva istraživanja važna su radi očuvanja sedrenih naslaga, jer se na osnovu dobivenih paleookolišnih podataka o uvjetima sedrenja u prošlosti, može barem djelomično utjecati na očuvanje recentne sedre.

Promjene ekoloških uvjeta značajno utječu na proces rasta sedre, jer ga mogu usporiti ili zaustaviti. Čovjek danas ima važnu ulogu u zaštiti prirode, jer može pridonijeti očuvanju prirodne ravnoteže kako bi se proces sedrenja održao aktivnim čemu, pored ostalih, pogoduje i čistoća



Sl. 11. Prikaz zaštićenih dijelova Zrmanje i lokacije pet sedrenih slapova (izradili: T. Kaniški i I. Vevec)

Fig. 11 Overview of the protected parts of the River Zrmanja and the location of the five tufa waterfalls (made by: T. Kaniški and I. Vevec)

vode. Zbog lakoće uništavanja sedre koja spada u uvjetno obnovljivu geobaštinu, nužno je zaštititi današnje geomorfološke oblike sedre u rijeci Zrmanji. Degradiranjem i uništavanjem sedre bilo prirodnim procesima ili antropogenim djelatnostima trajno se mijenja okoliš i time smanjuje georaznolikost ovoga područja. Pojedini sedreni slapovi potopljeni su izgradnjom akumulacijskog jezera za potrebe rada RHE Velebit. Već i male hidrološke promjene u toku, bilo da se radi o prirodnom ili antropogenom utjecaju ugrožavaju proces sedrenja, što ukazuje na njezinu osjetljivost i krhkost. Iako je znanost dokazala štetnost direktnih zahvata u krške vodotoke (Bonacci i dr., 2016), zbog hidroenergetskog potencijala rijeke Krupe svojevremeno je planirana izgradnja male hidroelektrane (mHE). Ovim zahvatom bi se smanjio dotok vode u rijeku Zrmanju te ugrozio opstanak slapova. Obzirom da propisi⁹ svrstavaju mHE u obnovljive izvore energije radi ublažavanja klimatskih promjena, a istovremeno zauzimaju prostore na kojima obitavaju ugrožene vrste, u ovakve odluke koje mogu imati dalekosežne posljedice za ovaj vrlo vrijedni krški prostor nužno je uključiti i ekološke te lokalnu zajednicu te spriječiti slične projekte. Nakon pritiska javnosti, stručnjaka i udruga investitor je odustao od gradnje.

⁹ Strategija i akcijski plan zaštite prirode Republike Hrvatske za razdoblje od 2017. do 2025. godine (NN 72/2017).

Ispuštanjem kućanskih ili industrijskih otpadnih voda te pretjerano korištenje kemikalija u poljoprivredi također mogu dovesti do opasnog onečišćenja. Primjer katastrofalnog antropogenog utjecaja u dijelu toka oko Obrovca je rad nekadašnje tvornice glinice *Jadral*, gdje se nije vodila briga o sanaciji zaostalih količina otpada, koje i danas začeđuju tlo i vodu u ovome području (Oreščanin, 2003).

Zbog nejednakih hidroloških prilika u rijeci Zrmanji (Bonacci i Roje-Bonacci, 2015), sedreni slapovi su podložni i erozijskim procesima tijekom visokih voda. U jednom su dijelu godine slapovi ili siromašni vodom ili gotovo potpuno bez vode pa postoji opasnost od trajne devastacije ovih osjetljivih sedrenih naslaga (Biondić i Biondić, 2014). Kako bi se sedra u Zrmanji zaštitila i kvalitativno vrednovala, važno je provesti inventarizaciju i evaluaciju ovih naslaga kako bi se utvrdila njihova vrijednost te dodijelio status zaštićenog geomorfološkog lokaliteta. Potencijalni odabir bilo bi pet najvećih sedrenih slapova u Zrmanji (sl. 11.): Buk kod Palanke, Visoki buk, Ogari buk, Berberov buk (sl. 7) i Jankovića buk. Ovi lokaliteti predstavljaju izvanredan primjer za proučavanje geoloških i geomorfoloških procesa. Iznimne su estetske vrijednosti radi povezanosti s reljefom i ekosustavom rijeke Zrmanje te Parkom prirode Velebit.

Sedrene naslage rijeke Zrmanje nalaze na popisu rijetkih i ugroženih staništa ekološke mreže Natura 2000, čime se potvrđuje činjenica o važnosti ovog prirodnog fenomena. Ova Uredba kao i Nacionalna klasifikacija staništa sedru popisuje kao stanišni tip, ali ne uvažava njezine geomorfološke posebnosti. Stoga je potrebno podignuti razinu znanja i informiranosti o njezinim vrijednostima, pojačati medijsku promidžbu sedre kao geobaštine te intenzivirati istraživanja sedrenih naslaga duž cijeloga toka Zrmanje. Nužno je kroz nadležne institucije nadzirati procese, radnje i djelatnosti koje ugrožavaju georaznolikost ovog područja te osigurati mehanizme za očuvanje i zaštitu sedre u Zrmanji. To je moguće ostvariti kroz promicanje održivog razvoja geoturizma ovoga područja prvenstveno stvaranjem stručne podloge za zaštitu geomorfolokaliteta.

ZAKLJUČAK

Zrmanja je fluviokrška rijeka koja stvara sedrene naslage duž cijeloga toka, a najviše ih nalazimo nakon utoka rijeke Krupe u Zrmanju sve do Jankovića buka. U ovome dijelu toka koji je bogat vodom i dovoljno udaljen od izvora, stvoreni su povoljni fizikalno-kemijski uvjeti za taloženje. Stoga ovdje nalazimo čitav niz geomorfoloških oblika, a najzastupljeniji su T-pragovi, sedrene barijerice i barijere te sedreni slapovi. Njihova struktura i morfologija ovisi o biološkoj uvjetovanosti na sedrenim naslagama. Ovakve

barijere mogu rasti u širini i visinu, pregrađivati riječne tokove te tako utjecati na vodostaj i volumen vode čime pridonose specifičnim geomorfološkim obilježjima rijeke.

Sedra na rijeci Zrmanji predstavlja geomorfološki fenomen iznimne znanstvene, obrazovne, ekonomske, ekološke i estetske vrijednosti te čini vrijednu geobaštinu zbog svoje georaznolikosti. Upravo slapovi formirani na sedrenim barijerama proglašeni su temeljnim fenomenom na Plitvičkim jezerima i rijeci Krki te su uvršteni na popis Svjetske prirodne baštine UNESCO-a. Kako bi prirodni resursi bili zaštićeni i održivo korišteni u funkciji geoturizma i geoedukacije neophodno je provesti evaluaciju, inventarizaciju i geokonzervaciju odabranih geomorfoloških lokaliteta na rijeci Zrmanji, odnosno pet najvećih sedrenih slapova: Buk kod Palanke, Visoki buk, Ogari buk, Berberov buk i Jankovića buk.

Istraživanja sedre na rijeci Zrmanji pokazala su visoku osjetljivost ekološkog sustava na antropogeni utjecaj i prirodne procese, koji mogu znatno poremetiti ili zaustaviti proces sedrenja (Oreščanin, 2003; Bonacci i Roje-Bonaccini, 2015). U svrhu očuvanja ovoga temeljnoga fenomena važno je potaknuti daljnja znanstvena i stručna istraživanja zрманjske sedre koja zbog kompleksnosti samoga procesa sedrenja zahtijevaju interdisciplinarni pristup. To uključuje praćenje novih informacija iz područja geologije, hidrogeologije, hidrobiologije te uvođenje sustavnih geokemijskih, hidroloških i klimatskih mjerenja u cijelome toku Zrmanje.

ZAHVALA

Ovaj je rad dio znanstvenog projekta HRZZ-IP-2013-11-1623 *Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods (REQUENCRIM)*, financiranoga od strane Hrvatske zaklade za znanost te dio stručnog projekta *Geomorfološka i geoekološka studija rijeke Zrmanje*, financiranoga od strane Parka prirode Velebit. Za pomoć pri realizaciji u istraživanjima zahvaljujem prof. dr. sc. S. Faivre i prof. dr. sc. N. Buzjaku. Iznimnu zahvalu na podršci, pomoći i razumijevanju upućujem i svojoj dragoj teti.

LITERATURA

- Andrews, J.E. (2006): Palaeoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and review. *Earth-Science Reviews* 75, 85–104.
- Baučić, I. (1967): Cetina - razvoj reljefa i cirkulacija vode u kršu. *Acta Geographica Croatica* 6, 5-167.
- Biondić, B., Biondić, R. (2014): Hidrogeologija dinarskog krša u Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, 197-203.
- Bognar, A. (2001): Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta Geographica Croatica* 34, 7-29.
- Bognar, A., Faivre, S., Buzjak, N., Pahernik, M., Bočić, N. (2012): Recent Landform Evolution in the Dinaric and Pannonian Regions of Croatia. *Recent Landform Evolution. Lóczy, D., Stankoviansky, M., Kotarba, A. (ur.). Heidelberg, London, New York : Spriger, 313-344*
- Bonacci, O. (1999): Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *Hydrological Sciences Journal* 44(3), 373-386.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. (2015a): Analiza hidroloških promjena duž toka reke Zrmanje. *Vodoprivreda* 47, 177-186.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. (2015b): Drastic hydrological changes caused by hydroelectrical development in karst: a case of the karst river Zrmanja (Croatia). *Environmental Earth Sciences*, 74 (2015), 9, 6767-6777.
- Bonacci, O., Buzjak, N., Roje-Bonacci, T. (2016): Changes in hydrological regime caused by human intervention in karst: the case of the Rumin Springs. *Hydrological sciences journal*, Vol. 61, No. 13, 2387–2398.
- Chafetz, H.S., Folk, R.L. (1984): Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Research* 54, 289-316.
- Chafetz, H.S., Rush, P.F., Utech, N.M. (1991): Micro-environmental controls on mineralogy and habit of CaCO₃ precipitates: an example from an active travertine system. *Sedimentology* 38 (1), 107–126.
- Chafetz, H.S., Srdoc, D., Horvatincic, N. (1994): Early diagenesis of Plitvice lakes waterfall and barrier travertine deposits. *Geogr. Phys. Quatern.*, 48, 247–255.
- Cukrov, N., Tepić, N., Omanović, D., Lojen, S., Bura-Nakić, E., Vojvodić, V., Pižeta, I.: (2009): Anthropogenic and Natural Influences on the Krka River (Croatia) Evaluated by Multivariate Statistical Analysis, in: *Proceedings of the ITI 2009 31st Int. Conf. on Information Technology Interfaces: Guide book*, (eds: Luzar-Stiffler, V., Jarec, I., Bekić, Z.), Cavtat, Croatia, June 22-25, 2009, SRCE, University of Zagreb, University Computing Centre, Zagreb, 219-224.
- Cukrov, N., Lojen, S. (2010): Sedra kao okolišni pokazatelj u krškim riječnim sistemima, u: 4. hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem: knjiga sažetaka, (ur. Horvat, M.), Zagreb, 14. i 15. listopada 2010., Hrvatski geološki institut, Zagreb, 312–313.
- Emeis, K.C., Richnow, H.H., Kempe, S. (1987): Travertine formation in the Plitvice National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control. *Sedimentology*, 34, 595–609.
- Ford, T.D., Pedley, H.M. (1996): A review of tufa and travertine deposits of the world. *Elsevier* 41, 117–175.
- Frančisković-Bilinski, S., Barišić, D., Vertačnik, A., Bilinski, H., Prohić, E., (2004): Characterization of tufa from the Dinaric Karst of Croatia: mineralogy, geochemistry and discussion of climate conditions. *Facies* 50, 183–193.
- Fritz, F. (1972): Razvitak gornjeg toka rijeke Zrmanje. *Krš Jugoslavije* 8, 1–13.
- Fritz, F. (1977): Litostratigrafska i tektonska osnova hidrogeoloških odnosa Ravnih kotara i Bukovice, doktorska distertacija, Sveučilište u Zagrebu, 148.
- Golubić, S. (1969): Cyclic and non-cyclic mechanisms in the formation of travertine. *Verh. Int. Ver. Theor. Ang. Limnol.*, 17, 956–961.
- Golubić, S., Plenković-Moraj, A., Violante, C., Grgasović, T. (2008): Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis. *Geologia Croatica* 61, 2-3.
- Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. *Acta Geologica* 16, 1-42.
- Herak, M. (1991): Dinaridi. *Acta Geologica* 21, 35-117.
- Herak, M., Bahun, S., Magdalenić, A. (1969): Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. *Carsus Jugoslavie* 6, 45-78.
- Horvatinić, N. (2004): Istraživanja vode i sedre na području Nacionalnog parka Plitvička jezera - pregled dosadašnjih i budućih istraživanja u Laboratoriju za mjerenje niskih aktivnosti, Institut "Ruđer Bošković". *Plitvički bilten: radovi* 6, 115–120.

- Horvatinčić, N., Srdoč, D., Šilar, J., Tvrdíková, H. (1989): Comparison of the ^{14}C activity of groundwater and recent tufa from karst areas in Yugoslavia and Czechoslovakia. *Radiocarbon* 31, 884-892.
- Horvatinčić, N., Čalić, R., Geyh, M.A. (2000): Inter-glacial growth of tufa in Croatia. *Quaternary Research* 53, 185-195.
- Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I., Obelić, B., Barešić, J. (2012): Rudjer Bošković Institute Radiocarbon Measurements XVII. *Radiocarbon* 54, 137-154.
- Irion, G., Müller, G. (1968): Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwäbische Alb, Germany. - In: Müller, G. and Friedman, G.M. (eds.): Recent developments of carbonate sedimentology in central Europe, 157-171.
- Love, K. M. (1985): Petrology of Quaternary travertine deposits, Arbuckle Mountains. Oklahoma. - Unpublished Master's Thesis, Univ. Houston.
- Malez, M., Sokač, A. (1969): O starosti slatkovodnih naslaga Erveničkog i Žegarskog polja. III Simpozij dinarske asocijacije, Zagreb, 81-94.
- Matoničkin, I., Pavletić, Z. (1961): Taložni fenomeni u Zrmanji s biološkog stanovišta. *Geografski glasnik* 23, 103-114.
- Matoničkin I., Pavletić, Z. (1962): Životni uvjeti na sedrenim slapovima krških voda u Jugoslaviji. *Acta Botanica Croatica* 20-21, 175-197.
- Matoničkin, I., Pavletić Z. (1964a): Faktori razvoja biocenoza u slatkovodnom dijelu rijeke Zrmanje i njena pri-toka Krupe. *Krš Jugoslavije* 4, 47-63.
- Matoničkin, I., Pavletić Z. (1964b): Postanak i razvoj najmlađih sedrenih tvorevina u rijeci Uni s biološkog stanovišta. *Krš Jugoslavije* 4, 103-112.
- Obelić, B. (2009): Geokronologija Plitvičkih jezera, u: znanstveno-stručni skup Nacionalnog parka Plitvička jezera, zbornik radova (ur. Šutić, B., Mataija, I., Šikić, Z., Dujmović, A., Ružić, V., Brozinčević, A.), Plitvička jezera, 15.-16.listopada 2009., Javna ustanova „Nacionalni park Plitvička jezera“, Zagreb, 38-45.
- Olujić, M., Hacek, M., Hanich, M. (1971): Fotogeološko-terenska interpretacija šireg područja Bukovice (sjeverna Dalmacija). *Geološki vjesnik* 24, 57-63.
- Oreščanin, V. (2003): Mineraloška, kemijska i toksikološka svojstva koagulanta proizvedenog korištenjem crvenog mulja i otpadne lužine kao sirovina, doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 129.
- Pavletić, Z. (1960): Sedreni slapovi rijeke Krke i njihov postanak. *Krš Jugoslavije* 2, 71-98.
- Pavlović, G., Prohić, E., Miko, S., Tibljaš, D. (2002a): Geochemical and petrographic evidence of meteoric diagenesis in tufa deposits in Northern Dalmatia (Zrmanja and Krupa rivers, Croatia). *Facies* 46, 27-34.
- Pavlović, G., Zupanić, J., Prohić, E., Tibljaš, D. (2002b): Impressions of the Biota With Waterfalls and Cascades from a Holcene Tufa in the Zrmanja River Canjon, Croatia. *Geologia Croatica*, 55, 25-37.
- Pedley, M. (1990): Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Elsevier* 68, 143-154.
- Pedley, M. (1992): Freshwater (phytoherm) reefs: the role of biofilms and their bearing on marine reef cementation. *Sedimentary Geology* 79/1-4, 255-274.
- Pedley, M. (2009): Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology* 56, 221-246.
- Pevalek, I. (1925): Oblici fitogenih inkrustracija i sedre na Plitvičkim jezerima i njihovo geološko znamenovanje. *Glasnik Hrv. Prir. Društva XXXVIII-XXXIX*, 101-110.
- Pevalek, I. (1935): Der Travertin und die Plitvicer Seen. *Verh. D Internat. Vereinig, f. Limnol.*, 165-181.
- Pevalek, I. (1938): Biodinamika Plitvičkih jezera i njezina zaštita. *Zaštita prirode: Glasnik povjerenstva za zaštitu prirode i očuvanje prirodnih spomenika pri Kr. Bansknoj upravi Savske banovine*, 40-61.
- Pevalek, I. (1953): Krka i problemi njezine zaštite: prikaz i stanje sedre na Krki. *Konzervatorski zavod NR Hrvatske, Odjel za zaštitu prirodnih rijetkosti, Zagreb*, 15-30.
- Prelogović, E., Fritz, F., Cvijanović, D., Milošević, A. (1979): Seizmotektonska aktivnost u području doline Zrmanje. *Geološki vjesnik* 31, 123-136.
- Srdoč, D., Horvatinčić, N., Obelić, B., Sliepčević A. (1983): Radiocarbon dating of tufa in paleoclimatic studies, *Radiocarbon*, 25, 421-427.
- Srdoč, B., Horvatinčić, N., Obelić, B., Krajcar, I., Sliepčević, A. (1985): Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. *Krš Jugoslavije* 11(4-6), 101-204.
- Šegota, T., Filipčić, A. (2003): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria* 8, 17-37.

Stilinović B., Božičević, S. (1998): The Plitvice Lakes – a natural phenomenon in the middle of the Dinaric karst in Croatia. *European Water Management* 1(1), 15-25.

Terzić, J., Marković, T., Lukač Reberski J. (2014): Hydrogeological properties of a complex Dinaric karst catchment: Miljacka Spring case study. *Environmental Earth Sciences* 72, 1129-1142.

Tišljar, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 67.

Veverec, I., Faivre, S., Barešić, J., Buzjak, N., Horvatinčić, N. (2017): Fossil tufa barrier Gazin kuk at the Zrmanja River (Croatia), u: 25th International karstological school „Classic Karst“: Abstracts & Guide book (ur: Gostinčar,

P.), Postojna, June 19-23, 2017, Karst Research Institute, Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Postojna, 55.

Veverec, I., Faivre, S., Barešić, J., Buzjak, N., Horvatinčić, N. (2018): Evolucija fosilne sedrene barijere Gazin kuk u rijeci Zrmanji (Hrvatska), u: Završna radionica projekta HRZZ-IP-2013-11-1623 Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda – REQUENCRIM, 2014 – 2018: zbornik sažetaka. (ur. Krajcar Bronić, I.), Zagreb 12. studeni 2018., Institut Ruđer Bošković, Zagreb, 33-34.

Viles, H. A., Goudie, A.S. (1990): Tufas, Travertines and allied carbonate deposits, *Prog.Phys.Geogr.*, 14, 19-41.

WEB IZVORI

<http://www.dzrp.hr/ekoloska-mreza/natura-2000/ekoloska-mreza-rh-natura-2000-1300.html> (23. 9. 2017)

<http://natura-jadera.com/zasticena-podrucja/Znacajni-Krajobrazi/Zrmanja.html> (23. 9. 2017)

<http://www.np-sjeverni-velebit.hr/posjeti/okolica/ppvelebit/> (23. 9. 2017)

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_07_88_1782.html (23. 9. 2017)

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_07_72_1712.html (25. 11. 2017)

http://mzoip.hr/doc/elaborat_zastite_okolisa_619.pdf (25. 11. 2017)

<http://prirodahrvatske.com/stanista/> (24.8.2019)

SUMMARY

This review describes geographical and geological features of the Zrmanja riverbed and the geomorphological development of the valley. The Zrmanja river is located in the area of the Dinaric karst. Its source, stream and mouth connect the southern slopes of the Velebit mountain, Lika, the North Dalmatian Plateau and the Novigrad Sea. Its morphogenetic complexity, structural-geomorphological and hydro-geological features as well as the connectedness of different landscape elements make the Zrmanja river an excellent example of geodiversity placing various relief shapes within a small area. In addition, throughout its stream, this fluviokarst river creates the most diverse tufa shapes whose origin and development are still under-explored. The greatest sedimentation potential pertains to the midstream of the Zrmanja river, after the inflow its largest right-bank tributary, the Krupa, at the location of attractive tufa waterfalls. The most famous of these are Buk near Palanka upstream, and Visoki buk, Ogari buk, Berberov buk and Jankovića buk midstream. The paper also describes other recent geomorphological tufa shapes and underlines the importance of dry (fossil) tufa. Isotopic measurements of tufa deposits can provide insight into the geochronological events and thus enable a reconstruction of the paleoclimate and paleoenvironment in this part of

the Dinaric karst. Recent tufa deposits, such as the tufa barriers in Croatia, are protected as a habitat type of karst rivers, whereas valorization and protection of tufa in the Zrmanja from a geomorphological aspect has not been recognized. Since geomorphological diversity is becoming an increasingly significant resource, the selected localities are becoming or might become places of prominent scientific, educational, economic, ecological, and aesthetic value. The purpose and objective of this paper is to highlight the values of tufa deposits and thus contribute to their additional protection as significant localities. Beside natural conditions, a rapid growth of geotourism and uncontrolled use of natural resources could inflict substantial harm on this extremely sensitive tufa-forming environment. Because tufa, classified as conditionally renewable geoheritage, can easily be destroyed, it is important to protect the current geomorphological shapes of the tufa in the Zrmanja river. The river's water quality must also be protected because it is an important precondition for the formation of deposits and survival of waterfalls as a habitat of numerous species. Bearing that in mind, the selected area must be valorized and its inventory analysed. This natural geomorphological phenomenon of unique landscape creation must be presented through geoeducation to preserve its geodiversity.

Iva Vevec

Osnovna škola Jelkovec, Dragana Plamenca 1, 10360 Sesvete,
Jelkovec Primary School, Dragana Plamenca 1, 10360 Sesvete,
 iva.babic@student.geog.pmf.hr