

SPODMOLI V STENAH KRAŠKEGA ROBA

Jurij KUNAVER

dr., redni profesor, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 2, Ljubljana, SLO
 dott., professore ordinario, Dipartimento di Geografia, Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università Lubiana, SLO

Darko OGRIN

mag., mladi raziskovalec, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 2, Ljubljana, SLO
 M.D., Dipartimento di Geografia, Facoltà di Lettere e Filosofia, Università di Lubiana, SLO

IZVLEČEK

Avtorja v prispevku predstavljata polkrožne ali drugače oblikovane spodmole, ki so se izoblikovali večinoma v spodnjih delih apnenčastih strukturnih stopenj na prehodu iz kraškega v flišni del Koprškega primorja. Spodmoli so, kot vse kaže, posledica selektivnega preperevanja apnenčeve kamnine blizu stika s flišem v podlagi. Podobne oblike poznamo tudi v ostalih predelih Mediterana. V slovenski strokovni literaturi pa te zanimive geomorfološke oblike še niso bile predstavljene.

UVOD

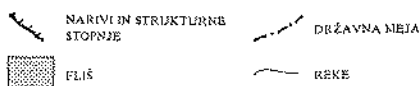
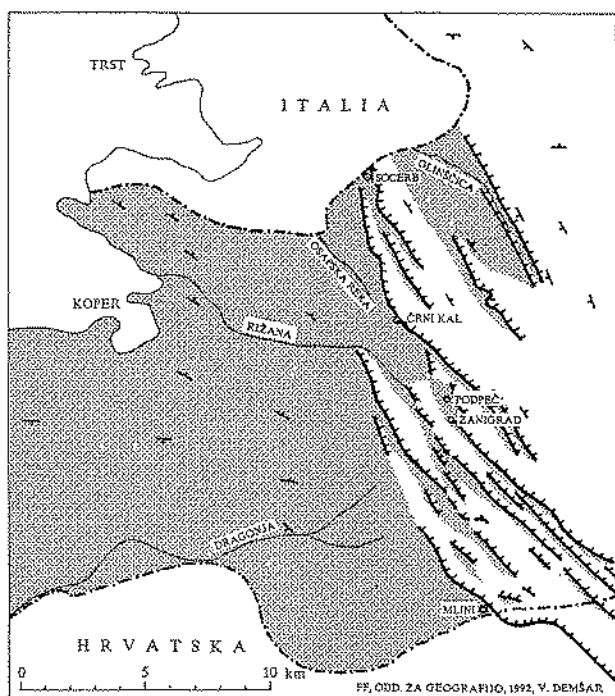
V apnenčastih stopnjah na prehodu krasa v flišni del Koprškega primorja srečamo zanimiv denudacijski pojav. V stopnjah nad Ospom, Črnim kalom, med Loko in Bezovico, nad Podpečjo, pri Zanigradu, med Smokvico in Movražem, nad Mlini pod Sočergo in v Steni pri Dragonji so se v podnožju stopenj izoblikovali posebni spodmoli, ki so, kot vse kaže, posledica izbirnega (selektivnega) preperevanja apnenčeve kamnine blizu stika s flišem v podlagi.

V iskanju pravega vzroka in razlage za ta pojav, ki je v Istri precej razširjen, smo se soočili tudi s terminološkimi problemi. Spodmole te vrste imenujejo v angleščini "rock shelter" ali "shelter cave", v francoščini "abris sous roche", v nemščini pa "Halbhohle". Spodmol je izraz, ki pomeni katerokoli vdolbino v navpični steni in je podobna vhodu v jamo. Slovenska kraška terminologija (I.Gams et al., 1973) ga definira kot krajšo, horizontalno jamo s širokim vhodom. Obravnavani spodmoli redko spominjajo na jame. Imajo v glavnem obliko parabolične oziroma konkavne zajede, ki je v prerezu pogosteje nesimetrična kot pa simetrična, in se na večjo razdaljo vleče v podnožjih mnogih sten.

Iz razpoložljive literature je bilo mogoče ugotoviti, da se podobne zajede pojavljajo predvsem v toplejšem podnebju, zlasti v polsuhem in suhem subtropskem in tropskem. Najbolj sorodna in najbolj znana oblika je tafoni, ki je lokalno ime s Korzike, in pomeni "okno". Tafoni so izvotline v živi skali na površju, predvsem v pobočnih vzpetinah, ki so zgrajene iz granita in podobnih kompaktnih kamnin. Med različnimi vrstami teh izvotlin poznajo tudi tafoni na podnožju ("basal tafoni" ter "base tafoni"; I.P.Martini, 1978). B.J.Smith (1978) piše tudi o "cliff foot recesses", ki so precej večji spodmoli od "basal tafoni" in ki jih lahko primerjamo z obravnavanimi spodmoli.

V našem primeru je zaenkrat še težko uporabljati termin tafoni, ker te okroglaste izvotline navadno ne spominjajo na spodmole in sploh niso vezane samo na podnožja vzpetin. V literaturi (C.Ollier, 1969) so v uporabi poleg zgornjih še drugi termini, kot na primer "jamas-to preperevanje" (cavernous weathering, etching, scalloping).

Sprva smo menili, da imamo pri nastajanju spodmolov opravka z eksfoliacijo, to je z luščenjem površinskih plasti kamnine, kar pa je bolj značilno za de-



Slika 1. Geografska razporeditev strukturnih stopenj (narivov).

nudacijske procese v suhih tropskih in subtropskih klimah na konveksno oblikovanih skalnih pobočjih. Videti pa je, da je pričujoči pojav rezultat večjega števila dejavnikov, med katerimi so najpomembnejši jugozahodna prisojna lega, tektonska pretrtost ter večja vlažnost kamnine blizu kontakta s flišem. Ali je hitreje razpadanje kamnine v podnožju Sten pospešeno tudi z izločanjem različnih soli in njihovim mehaničnim delovanjem na kamnino, pa je še odprto vprašanje.

Domačini, ki živijo v bližini stopenj, uporabljajo zanje povečini ime Stena. Tako ima vsaka vas svojo steno (Osapska stena, Črnotijska stena), nekatere stene ali njihovi deli pa imajo tudi posebna imena (Štrkljeвица pri Znanogradu, Zjat nad Podpečem, Debelá stena nad Bezovico). V prispevku uporabljamo ime stena z malo začetnico kot sinonim za strukturno stopnjo. Stena z veliko začetnico, pa kot geografsko ime, oziroma ko imamo v mislih strukturne stopnje na Koprskem.

Stene, oziroma celotna stopničasta struktura tega prehodnega ozemlja je po mnenju geologov (L. Placer, 1981, 57; R. Pavlovec, 1992, 214) posledica narivanja apnenca nad fliš, kar se je dogajalo v prostoru severne Istre po srednjem eocenu. Apnenčaste plasti so se pod silo pritiskov iz severovzhoda gubale, gube so se trgale in narivale ena na drugo. Vmes so ostale vkleščene

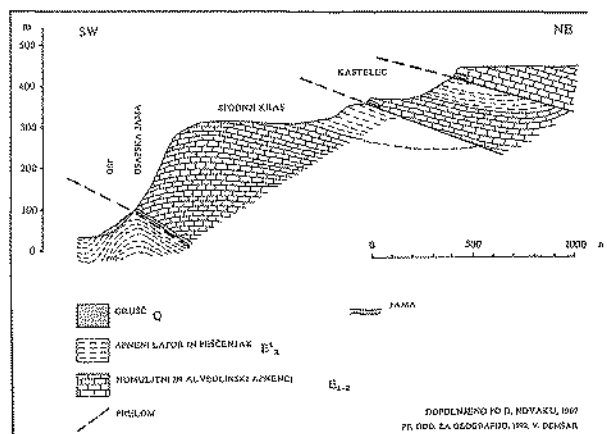
flišne plasti, ki so bile kasneje erozijsko znižane. Sedanja geološka zgradba površinskih plasti je tako podobna ribjim luskam.

Navpične Stene, s katerimi se na nekaterih predelih zaključujejo posamezne luske apnenca, imajo značaj različno dolgih in visokih "zidov", ki razmejujejo posamezne kraške platoje. Med zanimivejšimi sta steni, ki se dvigata nad Osapsko in zgornjo Rižansko dolino, ter steni nad Mlini in pri Dragovni (slika 1).

Sistem Sten, zlasti tisti nad Osapsko in Rižansko dolino, ima ob geološkem, geomorfološkem, botaničnem in zoološkem tudi zgodovinski in obče kulturni pomen. Tu je dolga stoletja potekala meja med dvema evropskima velesilama, Beneško republiko in Habsburško monarhijo. Med drugo svetovno vojno je nemška vojska utrdila kraški rob v pričakovanju zavezniške ofenzive v Istro in Dalmacijo. V bližini Socerba je Sveta jama, v kateri je po legendi prebival Sv. Socerb in je bila kasneje spremenjena v svetišče. Iz obdobja Ilirov imamo ostanke številnih gradišč. V vaseh pod Stenami so ohranjeni dragoceni ostanki ljudske arhitekture, v Hrastovljah pa je v tabor spremenjena cerkev Sv. Trojice s freskami Janeza iz Kastva iz leta 1490.

GEOLOŠKA ZGRADBA

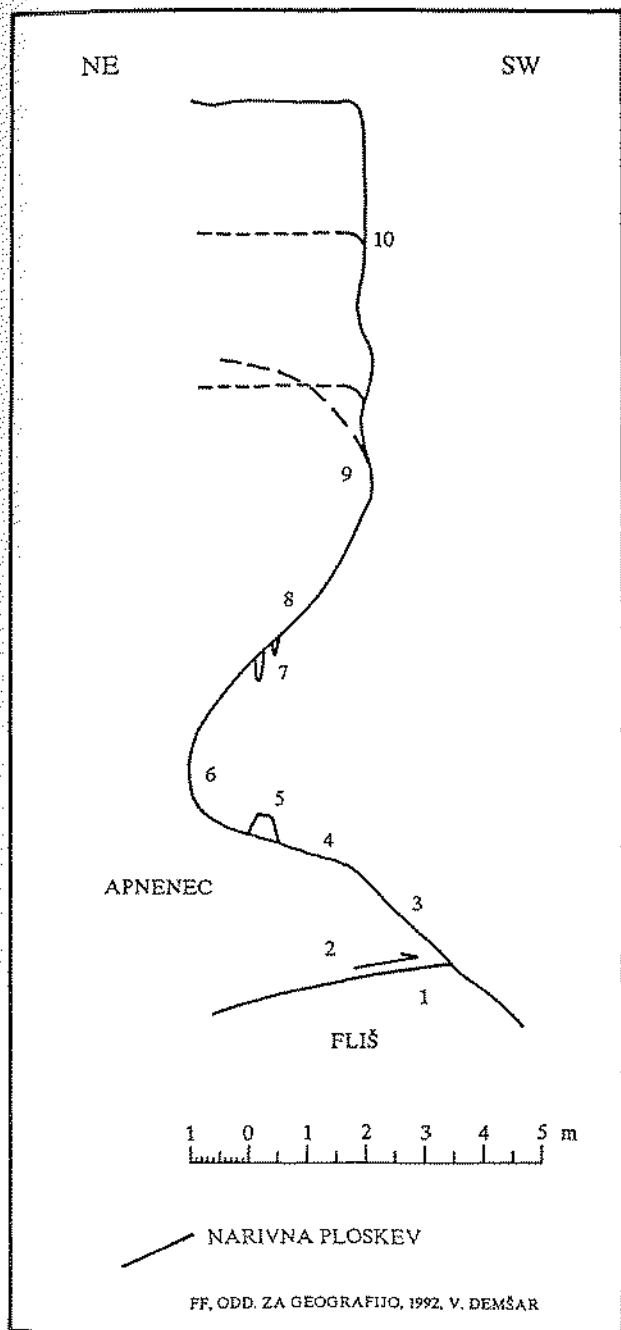
V območju Sten so zastopane sedimentne kamnine iz kredne in najstarejše terciarne dobe. Planota Podgorskega krasa, ki se razteza med Socerbom in vznožjem Slavnika in Kojnika v n.m. 400 do nekaj nad 500 m, je večinoma zgrajena iz zgornje paleocenskega apnenca, debeline do 200 m. Planota je deloma sestavljena iz izoklinalnih gub, ki so prevrnjene v jugozahodni smeri čez eocenski fliš, zaradi česar je ta na več krajih prekinjena z ozkimi in dolgimi progami fliša.



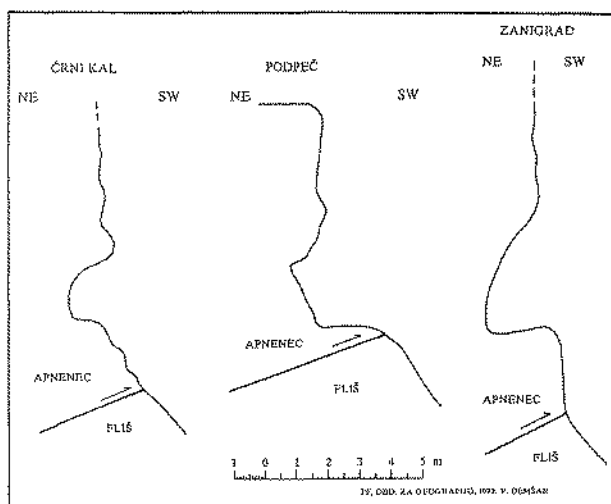
Slika 2. Geološki profil med dolino Osapske reke in Socerbskim krasom.

Slavniško pogorje in začetek Čičarije pri Kojniku sta deloma sestavljena iz že omenjenega paleocenskega apnenca, deloma pa iz apnenca kredne starosti in spodnje paleocenskega apnenca oz. t.i. kozinskih skladov, debeline 30-100 m.

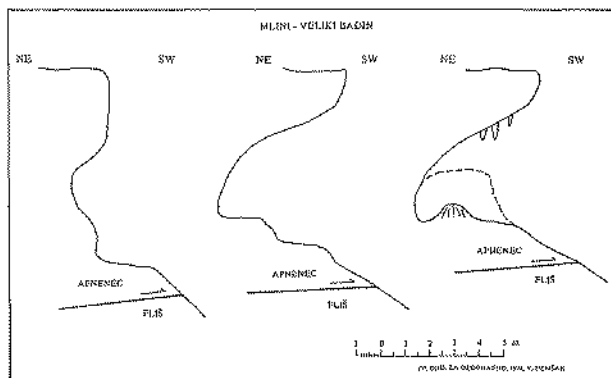
Kraška planota med Rakitovcem in Movražem z Lačno in Krasom je iz alveolinskega apnenca zgornje paleocenske starosti. Tudi ta pas je narinjen čez flišno osnovo. Lúska apnenca, ki prihaja na površje v zgornji Rižanski



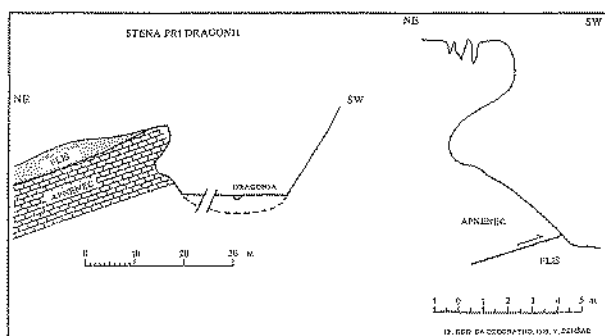
Slika 3. Shematski profil tipičnega spodmola.



Slika 4. Primeri različnih spodmolov v stenah nad zgornjo Rižansko dolino.



Slika 5. Primeri spodmolov v Steni nad Mlini.



Slika 6. Spodmoli v Steni pri Dragonji

dolini je iz eocenskega numulitnega apnenca, ozek apnenčast pas s spodmoli v dolini Dragonje pa iz zgornje paleocenskega apnenca. Pogostost Sten je povezana s številom narivov. Ponekod jih je manj, drugod, npr. v jugovzhodnem delu pokrajine, pa so pogostejši. Na profilu med Podgorjami in Hrastovljami je na razdalji 1800 m kar osem stopenj, ki predstavljajo spust od 543 na

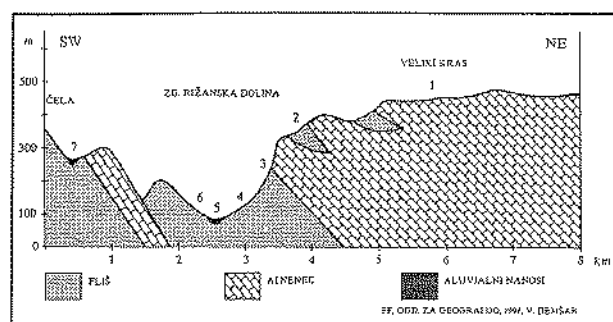
250 m n.v. Stopnje so različnih dolžin, od nekaj 10 m pa do nekaj km. Stene, v katerih so spodmoli, so večinoma visoke 15-50 m, s povprečjem od 25-30 m, najvišje pa merijo celo do 70 m (Štrkljevica pri Zanigradu, Verlovc med Loko in Bezovico).

OBLIKE IN DIMENZIJE SPODMOLOV

Spodmoli, ki jih srečujemo v Stenah Koprškega primorja, so različnih oblik in dimenzij (slike 4., 5. in 6), zato se je težko odločiti, kateri je tipičen. Tipično, bolj rečeno povprečno obliko spodmola, smo sestavili iz okoli 10. različnih primerov. Prerez povprečnega spodmola prikazuje slika 3.

Povprečen spodmol je ponavadi izoblikovan v spodnjem delu stene, tik nad naravno ploskvijo (2). Ima obliko podaljšane spodjede, ki ima v spodnjem delu najprej kratko pobočje z naklonom 30-40 st. (3). Nato sledi rahlo nagnjena polica (4), ki se nadaljuje v konkavni del spodmola (6). Ta del ima v svojem spodnjem delu polkrožni presek, medtem ko je konkavna oblika v njegovem zgornjem delu vedno bolj plitva in predstavlja streho spodmola (8). Sledi zadnji del te geomorfološke oblike, ki ima običajno konveksno obliko (9) ali pa se nadaljuje v navpični del stene (10). V konkavnem delu spodmola je dokaj pogosto videti na stenah in na stropu sigo v obliki kapnikov, ki se držijo sten. Ponekod visijo s stropa tudi stalaktiti (7), čeprav so le nekaj metrov od odprtega prostora.

Dimenzije posameznih delov spodmola so večinoma odvisne od njegove globine. Globlji kot je spodmol, širša je spodnja polica in višji je njegov strop. To morda kaže na to, da so manjši spodmoli mlajši, večji pa starejši. Vendar pa je možno, da so se večji spodmoli razvijali hitreje in dlje. Vsekakor so dimenzije spodmolov v veliki meri odvisne od lokalnih pogojev denudacije.



Slika 7. Profil skozi zgornjo Rižansko dolino z označenimi temperaturnimi merilnimi mesti.

Terenske raziskave so pokazale, da tega pojava ni v nestabilnih pobočjih, npr. okoli Socerbskega gradu ali tik nad Črnim kalom. Tu imamo, zaradi nestabilnosti flišnega pobočja in drsenja materiala, opravlka z odlomi v nekaterih delih Sten. Nagnjeni zvonik črnokalske cerkve je očitni dokaz za počasno premikanje prepereleinskega pokrova na pobočju.

Drug primer je skalni blok, na katerem stojijo ruševine črnokalske utrdbe. Ta se je od stene ločil še preden so na njem v 11. stoletju zgradili utrdbo, saj ga je z robom Črnokalske stene povezoval približno 5 m dolg dvizni most. To morda opozarja, da se intenzivnost in vrsta procesov tu odvijata v odvisnosti od klimatskih sprememb in od sprememb v podzemskem pretakanju vod.

Nekateri spodmoli kažejo na jasno in tesno zvezo med njihovim položajem in naravno ploskvijo, kjer je apnenec zdrsnil čez fliš (Podpeška stena, Štrkljevica). V Črnem kalu, jugovzhodno od utrdbe, kjer spodmol ni tako izrazit, tudi ta zveza ni tako očitna. Pač pa je

			POMLAD		POLETJE		JESEN		ZIMA	
			st. C		st. C		st. C		st. C	
			max	min	max	min	max	min	max	min
1.	PETRINJSKI KRAS	240m	22,3	10,0	30,3	15,3	12,6	3,4	3,4	-1,7
2.	GABROVEC	300m	24,7	13,7	31,4	19,8	12,6	5,0	5,4	-0,7
3.	ZGORNJI ČRNI KAL	240m	26,2	13,8	33,4	19,6	15,3	4,5	6,3	0,5
4.	SPODNJI ČRNI KAL	150m	25,2	12,6	33,4	19,0	15,2	4,4	6,6	0,7
5.	ZVROČEK	55m	25,1	8,1	32,2	14,9	15,5	-0,1	7,7	0,3
6.	PALAČCE	110m	26,2	13,0	33,0	16,6	-	-	-	-
7.	KUBED	270m	24,5	9,1	31,0	16,6	15,5	1,9	6,5	0,3

Tabela 1: Temperature na profilu Kubed-Petrinjski kras, zabeležene 1-1,5 h pred zgornjo kulminacijo sonca in 1-1,5 h pred sončnim vzhodom

tu kamnina drobno prepokana, s številnimi pravokotno potekajočimi razpokami. Rezultat tega je razpadanje kamnine v obliki majhnih skrilastih ali kockastih delcev.

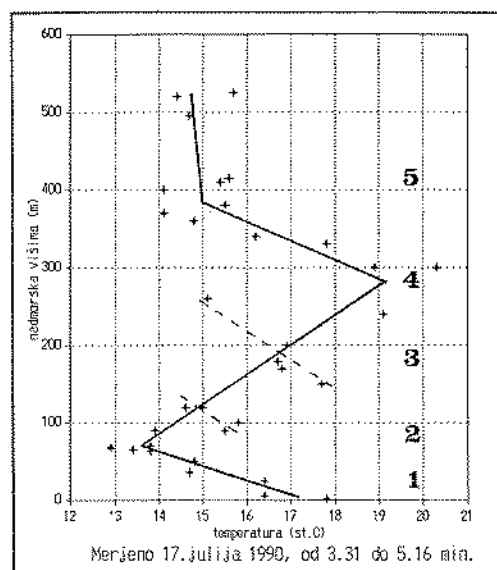
VPLIV KLIME NA PROCES NASTAJANJA SPODMOLOV

Domnevamo, da je tudi jugozahodna lega apnenčastih stopenj eden od pomembnih vzrokov za razvoj spodmolov. Soncu izpostavljene Stene, ki so vse, razen Stene pri Dragonji, precej visoko nad dnem dolin, kjer se v vseh letnih časih ob ustreznem tipu vremena pojavlja močna temperaturna inverzija, so kraji z verjetno eno najtoplejših mikroklim v Koprskem primorju.

V bližnji dolini Glinščice pri Trstu so bile izmerjene velike temperaturne razlike glede na ekspozicijo in nadmorsko višino (S. Polli, 1981, 187). Do velikih temperaturnih razlik pride še zlasti pozimi, ko se v dnu doline akumulira hladen zrak, prisojna, jugozahodna pobočja pa so podvržena intenzivni sončni insolaciji. Velike temperaturne razlike med privetnimi in zatišnimi legami (kamor sodijo tudi spodmoli) povzročajo burja, ki piha pretežno v hladni polovici leta. Polli za Glinščico poroča o ekstremnih temperaturah do 30 stopinj C pozimi in do 40 stopinj C poleti, ki so bile izmerjene v senci na prisojnih, zatišnih pobočjih 1,5 m od tal. Tako temperaturne razlike med prisojnimi in osojnimi deli doline dosežejo 10 in celo več stopinj C, odvisno od vremena in letnega časa.

Nekaj poskusov, da bi razložili klimatske razmere območja Sten, je bilo opravljenih tudi v zgornji Rižanski dolini. V prvem poskusu so bile na posameznih merilnih mestih na profilu skozi dolino opravljene meritve maksimalnih in minimalnih temperatur zraka ob anticiklonalnem tipu vremena v posameznih letnih časih (zima: 3.1.1992, pomlad: 8.5.1992, poletje: 23.7.1991 in jesen: 8.11.1991 - tabela 1, slika 7).

Iz podatkov je razvidno, da so bili najnižji minimumi izmerjeni na dnu Rižanske doline (Zvroček) in v Kubejskem podolju, kjer se je pojavljala inverzija ter na Podgorskem krasu, kjer so bile temperature nižje zaradi višje nadmorske višine. Najvišje minimume pa so imela pobočja nad dnem doline. Pri maksimalnih temperaturah smo najvišje vrednosti zmerili v Črnem kalu, na prisojnem, jugozahodnem pobočju pod Steno. Ker so nas zanimala podrobnejše temperaturne razlike med Stenami in osojnimi deli doline pozimi, smo 13.12.1992 med 12. 40 in 13.30 opravili meritve temperatur med Palačcami na osojni strani zgornje Rižanske doline in apnenčasto stopnjo Štrkljevico na prisojni strani. V senčni grapi na Palačcah smo namerili 7,5 stopinj C, nekoliko vstran na soncu pa 11,0 stopinj C. Na dnu doline so bile temperature med 10,4 in 10,8 stopinj C, na prisojnem jugozahodnem pobočju pa so naraščale v smeri



- 1 Dno Rižanske doline
- 2 Pobočja 30 m nad dolinskim dnem
- 3 Prisojna pobočja
- 4 Strukturalna stopnja
- 5 Podgorsko - Rakitovski kras

Slika 8. Vpliv reliefa na razporeditev minimalnih temperatur ob anticiklonalnem tipu vremena.

proti steni in so znašale od 12,5 do 13,1 stopinj C. V sami Štrkljevici smo namerili od 14,0 do 18,2 stopinj C, pri čemer so bile najvišje temperature v s soncem obsijanih spodmolih. Temperature so bile merjene tako, da je bil senzor termometra vseskozi v senci. Razlika v temperaturah med prisojno Štrkljevico in osojnimi Palačcami je znašala 10,7 stopinj C.

Podatki o temperaturah in lokacijah meritev kažejo, da obstaja očiten vpliv ekspozicije na temperature (vpliv reliefa na razporeditev minimalnih temperatur ob anticiklonalnem vremenu prikazuje slika 8). To pomeni, da lahko tudi kamnina v spodmolu doseže zaradi sončnega sevanja čez dan dokaj visoke temperature. To bi bil lahko zato eden od najpomembnejših dejavnikov dezintegracijskega procesa kamenine.

ZAKLJUČEK

Nekatere od apnenčastih stopenj, ki so tipične za prehodno pokrajino med Podgorsko kraško planoto in flišnimi predeli Koprškega primorja imajo pri svojem dnu konkavne spodmole. Zdi se, da je za njihov nastanek pomembna bližina narivne ploskve. V procesu konkavne denudacije, s katerim nastajajo spodmoli, ni zanemarljiv vpliv visokih temperatur, ki so posledica ekspozicije Sten.

Ker so Stene izpostavljene sončnemu obsevanju in so pozimi v zavetju pred burjo, so tu mikroklimatske razmere podobne subtropskim pogojem, v katerih potekajo procesi tafonitanja.

Konkavno denudacijo, ki se dogaja v Stenah Koprškega primorja, bi lahko na nek način primerjali s podobnim

pojavi pozitivne (konveksne) eksfoliacije in njej pripadajočim oblikam, ki jih poznamo z južnega Velebita na Hrvaškem. Kakorkoli že, podobni spodmoli niso redek pojav v Sredozemlju, vendar pa nastanek mnogih od njih še ni bil razložen.

RIASSUNTO

Nel passaggio dalla zona carsica a quella arenaria del litorale capodistriano, come conseguenza della deposizione degli strati calcarei su quelli arenari, si è avuta una strutturazione del rilievo a scalinata. I singoli strati, per i quali i locali usano il termine Parete, finiscono con pendici a volte tagliate a picco ed in parte anche a strapiombo, e altre con pendici meno erte.

In alcune Pareti, specialmente nella loro parte inferiore vicino alla superficie di sovrapposizione degli strati si sono formate particolari escavazioni che sono, come tutto fa supporre, l'effetto del modo specifico di denudazione in calcarea, chiamato a tafone, che consiste nell'escavazione interna della roccia. Con ogni probabilità, un ruolo importante in questo processo ha anche il clima. Le rocce che presentano tafoni sono esposte a sud fino a sudovest e sono quindi esposte all'irradiazione solare, sono sottovento alla bora e quindi anche d'inverno raggiungono temperature alte. Il microclima delle rupi è perciò simile al clima subtropicale, e tali condizioni climatiche rendono possibile il processo tipico di escavazione a tafone.

Nelle rupi dell'Istria slovena si sono formati più tipi di escavazioni. Il tafone tipico si è formato vicino alla superficie di sovrapposizione, però sopra di essa. Nella parte inferiore consiste prima in una breve pendice, poi in uno stipo lievemente inclinato che continua con una parte concava. La concavità del tafone nella sua parte inferiore presenta una sezione in semicerchio, mentre nella parte superiore diventa sempre più piatta e passa in roccia perpendicolare che in alcuni casi si conclude convessamente.

LITERATURA

F. Forti, 1981: Dolina Glinščice - geološki in geomorfološki študij. Mednarodni seminar o Glinščici - Akti, Boljunec.

I. Gams et al., 1973: Slovenska kraška terminologija. Kraška terminologija jugoslovanskih narodov, knjiga 1. Zveza geografskih inštitucij Jugoslavije, Ljubljana.

I.P. Martini, 1978: Tafoni weathering, with examples from Tuscany, Italy. Z.f. Geomorph. N.F., 22, H.1, Stuttgart.

D. Novak, 1967: Hidrogeologija območja Osapske reke. Vestnik - Zavod za geološka i geofizička istraživanja, Serija B (1964/65), 4-5, Beograd.

D. Ogrin, 1992: Kraški rob - klimatsko prehodna pokrajina. Proteus, L. 54, št. 6-7, Ljubljana.

C. Ollier, 1969: Weathering. Oliver and Boyd, Edinburg.

Osnovna geološka karta 1:100.000, list Trst.

R. Pavlovec, 1992: Geologija kraškega roba. Proteus, L. 54, št. 6-7, Ljubljana.

L. Placer, 1981: Geološka zgradba Jugozahodne Slovenije. Geologija, 24. knjiga, 1. del, Ljubljana.

M. Pleničar, 1958: Koper - Črni kal - Socerb - Kozina in Prešnica - Slavnik - Podgorje. Geološki izleti po Sloveniji, Mladi geolog II, Ljubljana.

S. Polli, 1981: Podnebje v dolini Glinščice. Mednarodni seminar o Glinščici - Akti, Boljunec.

B.J. Smith, 1978: The origin and geomorphic implications of cliff foot recesses and tafoni on limestone hamadas in the northwest Sahara. Z.f. Geomorph. N.F., 22, H.1, Stuttgart.