

SKALNE OBLIKE V KRIŽNI JAMI IN NJIHOV SPELEOGENETSKI POMEN

ROCKY FEATURES IN KRIŽNA JAMA AND THEIR
MEANING FOR SPELEOGENESIS

TADEJ SLABE

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Križna jama)

Slabe, Tadej: Skalne oblike v Križni jami in njihov speleogenetski pomen

Križna jama je nastala zaradi pretoka vode z višjih dolomitnih Blok na nižje Cerknško polje. Različne hidrološke razmere so delno posledica tektonskega dvigovanja bloka, v katerem je jama, in zastajanja tektonske prelomne cone, na kateri so razvrščena kraška polja. Skalne oblike v jamskih rovih je oblikoval vodni tok, ko je bila jama še zalita, in so ohranjene na stenah danes suhih rovov, druge pa vrezuje današnji vodni tok. Posebne skalne oblike so nastale in še nastajajo ob stiku z drobnnozrnatimi naplavinami in zaradi razpadanja in podiranja jamskega skalnega oboda, skalna površina je razjedena tudi s kondenzno korozijo.

Ključne besede: speleomorfologija, speleogeneza, skalne oblike, Križna jama, Slovenija

Abstract

UDK 551.442(497.12 Križna jama)

Slabe, Tadej: Rocky Features in Križna jama and their Meaning for Speleogenesis

Križna jama had been formed by the water flowing from higher dolomitic plateau of Bloke to lower lying polje of Cerknica. Different hydrologic conditions are partly controlled by tectonic uplifting of the block where the cave lies and partly by stagnation of tectonic fault zone where karst poljes are distributed. Rocky features in the cave passages were formed by water flow in the time when the cave was flooded and they are preserved on the walls of now dry channels and some features are still developing by the actual water flow. Special rocky features had originated and are still developing on the contact with fine-grained sediments, because of weathering and collapse of cave rocky rim, the rocky surface is indented by condense corrosion too.

Key words: speleomorphology, speleogenesis, rocky features, Križna jama, Slovenia

Naslov - Address

mag. Tadej Slabe, dipl. geogr., raziskovalni sodelavec
ZRC SAZU Inštitut za raziskovanje krasa
66230 Postojna, Titov trg 2
Jugoslavija

UVOD

Procesi, ki oblikujejo kraško podzemlje, ustvarjajo tudi sledi v skalnem obodu rogov. Nastajajo značilne oblike, ki so razpoznavni znaki teh procesov. Skalni obod votlin je torej sestavljen iz raznovrstnih oblik, ki so lahko posledica več obdobjev jamskega razvoja. S proučevanjem teh oblik, ki so v pestro oblikovanih stenah Križne jame, sem skušal razložiti njihov nastanek in si s tem pomagati pri spoznavanju jamskega razvoja.

POLOŽAJ IN OBLIKA KRIŽNE JAME

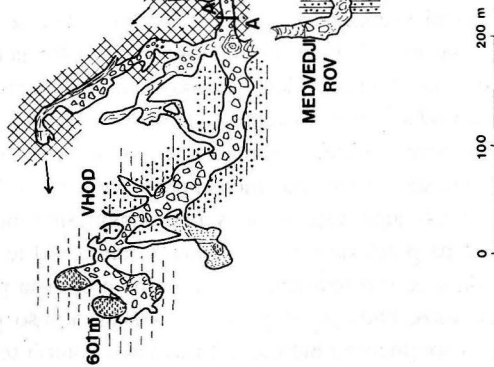
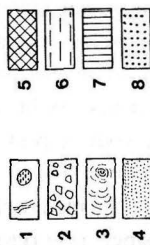
Osem kilometrov dostopnih rogov pretežno vodne jame (sl.1) leži v bloku sinklinalno usločenih skladov jurskega apnenca, ki ga na severovzhodu omejuje blok manj propustnega triasnega dolomita Bloške planote in na jugovzhodu blok Loškega polja. Na jugozahodu meji na tektonsko pogreznjen blok Cerkniškega polja, ki je prekrito s fluvialnimi naplavinami in predstavlja območni vodni jez. Voda z višjega dolomitnega zaledja odteka skozi apnenec vzporedno s sinklinalno osjo proti severozahodu k izviru Šteberščice na robu Cerkniškega polja, kar je z barvanjem potrdil D. Novak (1969). R. Gospodarič (1974, 358, 360) pa je s proučevanjem zgradbe jame in fluvialnih jamskih sedimentov ugotavljal izvor vode in položaj jame. Jamski potok teče na nadmorski višini okoli 610 metrov, pri Kittlovih breznicah, ki so najnižja točka vodnega toka v jami, pa na 600 metrih nadmorske višine. Po 1700 metrih od jame do izvira Šteberščice se vodni tok spusti še za 40 metrov. Križna jama je torej oblikovana v bloku ob tektonsko živi prelomni coni, v kateri so razvrščena notranjska kraška polja, skozi jama odteka voda z gorskih Blok k dolinskemu Cerkniškemu polju.

Jama je nastala v svetlosivih jurskih apnencih liasno-doggerske epohe z vmesnimi do meter debelimi svetlosivimi gnezdi dolomita. Skladi so nagnjeni 20° proti jugu (JJV), le v Glavnem rovu med 2. jezerom in Otokom, so ob številnih prelomih skladi položni ali nagnjeni proti zahodu in severu. Prelomi sekajo sklade večinoma od severa proti jugu, v vzhodnem delu jame pa od severovzhoda proti jugozahodu (R. Gospodarič, 1974, 333).

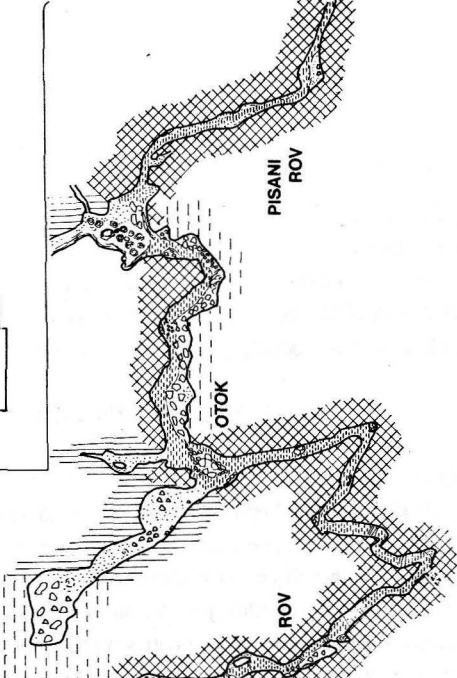
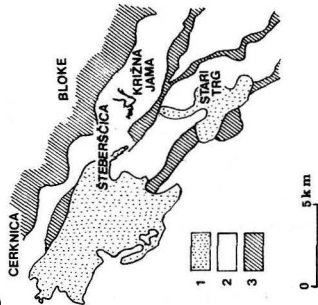
Položaj apnenca med dolomitom, ki omogoča odtok vode le proti zahodu, in prelomljenost kamnine, sta vplivala na smer in povezanost rogov. Dotočna Blata in Pisani rov potekata od severa proti jugu vzporedno s prelomnimi smermi, rovi med Križno goro in vhodnim delom jame pa potekajo v smeri vzhod – zahod. Od te smeri rovi odstopajo ob prečnih prelomih. Voda si je v osrednjem delu jame najprej utrla pot ob lezikah in prelomih in nastal je meandrast tloris, nato pa je ponekod poiskala krajšo pot in presekala meandre, kar lahko povežemo s spremembo hidroloških razmer, v katerih se je jama oblikovala. Meandri so ostali kot današnji suhi rovi. Takšen je Medvedji rov. Na prelome so vezane predvsem podorne dvorane in široki rovi. Ponekod pa so prelomi razgaljeni tudi v vodnih rovih, kjer je voda

A KRIŽNA JAMA - W DEL

A



B



prebila in odstranila zdrobljeno kamnino porušenih prelomnih con. Gosta pretrtost kamnine se odraža tudi na površju, kjer je precej udornic, ki ponekod vplivajo na potek mlajših jamskih rovov. Sedanji rovi se velikim udornicam, kot so Grdi dol med Kittlovimi brezni in Cerarjevo dvorano, ali udornica ob vhodu v jamo, pa Bravcova dolina, okoli katere je nastal meander na začetku Pisanega rova, praviloma izogibajo.

Rove v Križni jami lahko razdelimo na vodne in suhe. Okoli 80% je vodnih rovov, ki jih še danes oblikuje podzemni tok. Vodni rovi imajo izrazito korozijsko – erozijsko obliko s fasetami in kotlicami, ki jih je vrezal vodni tok. Iz apnenčastih sten vodnih rovov izstopajo dolomitna gnezda. Prod in konglomerat lahko zasledimo v vodnih rovih po vsej jami, v občasno poplavljenih rovih pa stene in tla prekrivajo mlajše peščeno ilovnate naplavine in siga, pa tudi podorno skalovje.

Ločimo dva tipa suhih rovov. Eni so delno ali pretežno zasuti z ilovnato – peščenim sedimentom, ponekod tudi s prodom in konglomeratom. Nad sedimentom in pod njim so v stenah ohranjene oblike, ki so nastale zaradi vodnega toka. Tak je Medvedji rov. Drug tip rovov je izraziteje preoblikovan zaradi razpadanja skalnega oboda, tako da sledov vodnega toka skoraj ni več. Takšni rovi so Kalvarija, Kristalna in Križna gora ter Dežmanov rov, kjer se skozi podorno skalovje še prebija vodni tok. Podorni in Suhi rov prekinja isti podor.

Siga se je odlagala na naplavine v obliki kop, v podornih dvoranih pa tudi v številnih stalagmitih in stalaktitih. Ostanke sedimenta v rovih nam pričajo, da je bila jama nekoč bolj zapolnjena. Sklepamo, da so se v jamskem razvoju menjavala obdobja vodnega vrezovanja, poplavljanja in nasipanja sedimentov s suhimi obdobji, ko se je odlagala siga.

SLEDI VODNEGA TOKA

Skalne oblike, ki jih je v stene vrezal vodni tok omenjajo že R. Badiura (1909, 31) in I. Michler (1934, 99), ki jih imenujeta vdolbinice podobne školjkam ter W. Bohinec (1963). Pri razlagi razvoja jame, si je s skalnimi oblikami pomagal tudi R. Gospodarič (1974).

Sl.1A - Razporeditev značilnih skalnih oblik v zahodnem delu Križne jame

- 1-vodni tok in jezera
- 2-podorne skale
- 3-siga
- 4-drobnozrnati sediment
- 5-fasete, erozijske in stropne kotlice
- 6-odlomi
- 7-podsedimentne oblike
- 8-s kondenzno korozijo razjedena skalna površina

Sl.1B - Položaj Križne jame

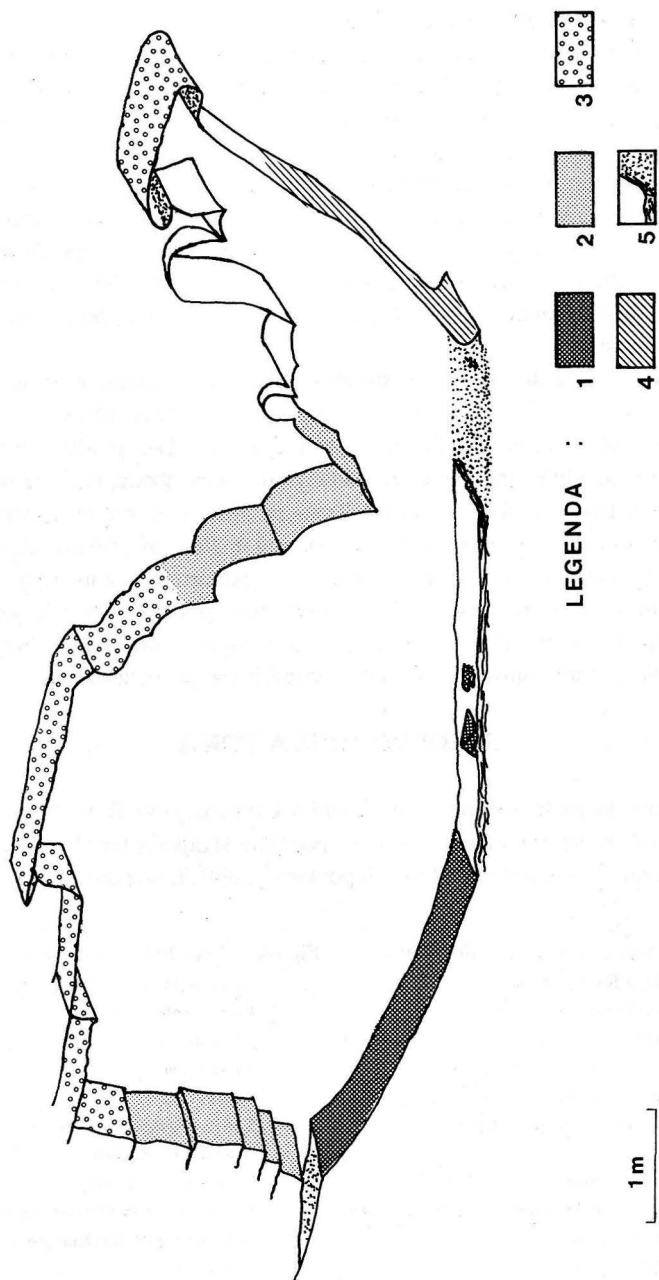
- 1-krško polje
- 2-apnenec
- 3-dolomit

Fig.1A - Distribution of rock features in the west part of Križna jama

- 1-water course and lakes
- 2-boulder rocks
- 3-siga formation
- 4-flowstone
- 5-current marks, erosion and solution cups
- 6-break off the wall
- 7-undersediment channels
- 8-rocky surfaces attacked by condense corrosion

Fig.1B - Position of Križna jama

- 1-karst polje
- 2-limestone
- 3-dolomite



V določenem redu ponavljajočo razporeditev oblik v skalnem obodu, ki so nastale zaradi vodnega toka, bom skušal razložiti in grafično predstaviti na odseku vodnega rova med Ponorom, v katerega odteka potok manjhnega pretoka, in Dežmanovim rovom, kamor se prelivajo visoke vode (sl.2). Potok je skozi sklade apnenca, ki vpadajo z naklonom 20° in smerjo 160° , in vmesna gnezda dolomita izdolbel prostoren rov, ki je preprečen s pokončnimi, prečnimi razpokami. V vodnem rovu, ki poteka od vzhoda proti zahodu, se menjavajo ob pretiranih delih oboda odseki razpadajoče kamnine, strop je tu nekoliko povišan, in pa odseki z vodnim tokom zaobljenega oboda. Oblike, ki so nastale z vodnim tokom, pa so ohranjene tudi v danes suhih ali deloma občasno poplavljenih rovih.

Fasete so opazne po vsem obodu rova. Najlepše in najbolj izrazite so v stenah in v obrobni, nekoliko višjih delih dna korita. Na obrobni delu stropa, ki je oblikovan s skladovnimi odlomi, pa se fasete, ki so resda spričo visokega rova manj dostopne, komajda še razberejo.

Voda je ponekod ob stenskih razpokah razširila rove in izdolbla večje in manjše niše (sl.2). V neravnih stenah so fasete različnih velikosti. V zatišjih pred vodnim tokom, v nišah, so fasete praviloma večje in imajo do 0,1 metra premera, na izpostavljenem robu niše pa majhne s premerom tudi samo 10 milimetrov. Večje fasete so globoke do 30 milimetrov, torej so glede na premer plitke. Robovi med fasetami so manj izraziti in zaobljeni. Ob pokončnih razpokah so fasete podolgovate (sl.3). Površina faset je razjedena v majhne polkroglaste vdolbinice. Zglajenost površine je v večjih fasetah manjša kot v manjših fasetah, tudi zaradi počasnejšega vodnega toka in tako ima voda, v kateri že prevladuje korozijski proces nad erozijskim, manjšo moč dolbljenja.

Različna velikost faset je posledica dejstva, da vodni tok vse dele sten ne obliža z enako močjo. V zatišjih nastanejo lokalni vrtinci. V spodnjih delih sten, ki so najbolj izpostavljene vodnemu toku, in na robu dna rova so majhne fasete, ki imajo premer 10 – 30 milimetrov in so do 20 milimetrov globoke (sl.4). Nastale so v drobno razpokani kamnini. Fasete so različnih oblik, od podolgovatih ovalnih, skorajda okroglih ali oglatih, pa tudi nepravilnih, ko se manjša faseta zajeda v večjo. Robovi faset so izraziti in ostri. Velikost in razporeditev faset je pogojena z drobno razpokanostjo kamnine. Ob tanjših razpokah je dno faset pogosto vezano na razpoko. Ob nekoliko izrazitejših, pravokotno na vodni tok usmerjenih razpokah, so fasete, katerih dno je prav tako vezano na razpoko, združene v večjo žlebasto vdolbino z nepravilnimi robovi. Smer oblivanja sten je prav zaradi sestave in drobne razpokanosti kamnine težje določljiva. Le na nekaterih odsekih ostreje zarezanih manjših faset, so robovi na pritočnem delu bolj strmi, na nasprotni strani pa se položneje izklinijo. Pri večjih fasetah je določitev smeri vodnega toka še težja.

Sl.2 Prečni prerez (A-A') vodnega rova

- 1-majhne fasete
- 2-večje fasete
- 3-s kondenzno korozijo razjedena skalna površina
- 4-podsedimentni žlebiči
- 5-siga in ilovica

Fig.2 Cross-section (A-A') of water channel

- 1 - small current markings
- 2 - bigger current markings
- 3 - rocky surface attacked by condense corrosion
- 4 - undersediment grooves
- 5 - flowstone and loam

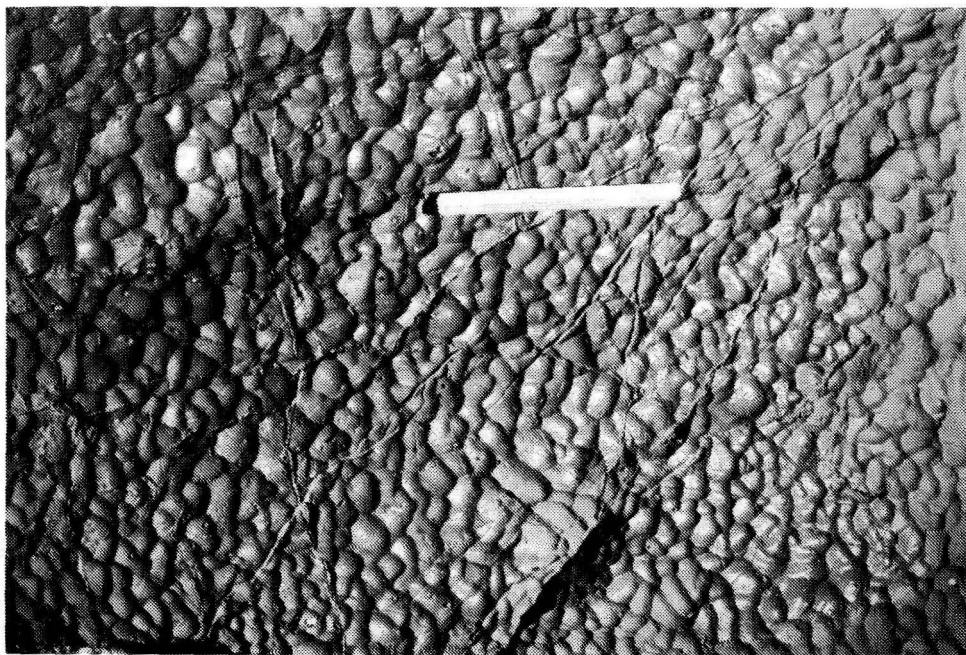


Sl.3 Fasete v steni 1,5 metra nad dnom korita v vodnem rovu (smer vodnega toka je smer sence)

Fig.3 Current markings in the wall about 1.5 m above the river bed in the water channel (the direction of water flow is the direction of shadow)

Sklepamo lahko, da je oblika, razporeditev ter povezanost v mrežo in tudi velikost posameznih faset pogojena predvsem s sestavo in razpokanostjo kamnine, povprečna velikost faset pa je posledica hitrosti vodnega toka, ki obliva kamnino.

Površina majhnih faset na robu dna rova je zglajena. Površina med zaobljenimi kalcitnimi žilicami, ki le malo izstopajo iz površine faset, je ovalno konkavna. Znotraj ovalnih poglobitev so ponekod tudi majhne vdolbinice s položnimi robovi, kar kaže na nehomogenost,



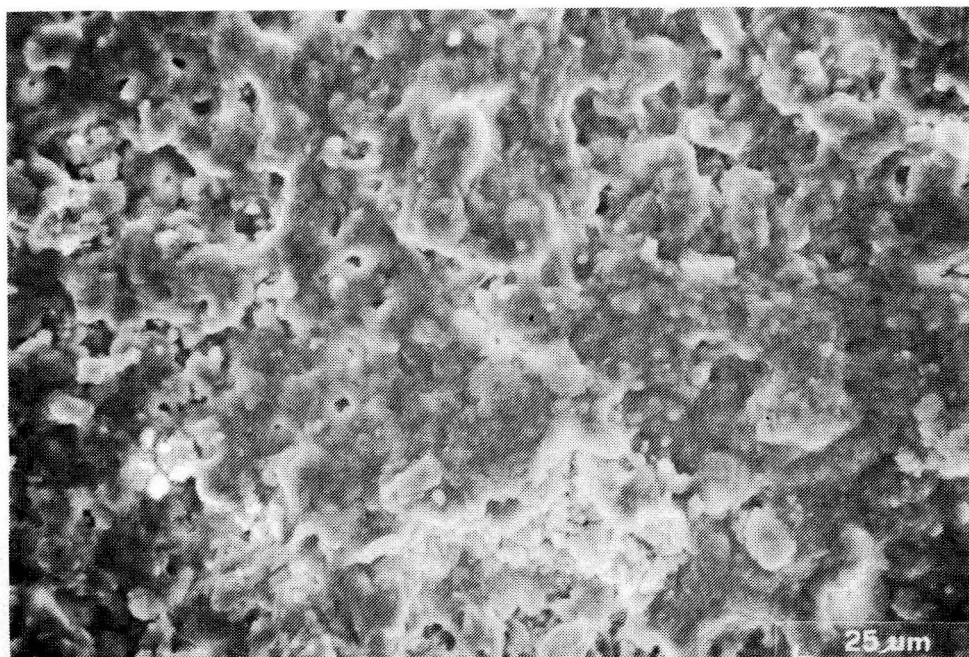
Sl.4 Fasete v dnu korita vodnega rova (smer vodnega toka je smer sence; merilo je 0,15 metra)

Fig.4 Current markings in the floor of water channel (the direction of water flow is direction of shadow; scale is 0.15 m)

torej na različno topljivost kamnine. Površina kamnine se ponavlja na strani kalcitne žile, ki je obrnjena iz dna proti robovom fasete, postopoma izklinja proti vrhu, na drugi pa je strma, odsekana ob plasti kalcita. To je posledica smeri vodnega toka v faseti. Površina faset nad vodnim tokom majhnega pretoka je prekrita s tanko plastjo drobnozrnatega sedimenta, in po tem sklepamo, da fasete oblikuje tudi erozija. Tudi pod velikimi povečavami vrstičnega mikroskopa lahko vidimo, da je površina biomikritnega apnenca resda še luknjičasta, vendar zglajena (sl.5). Iz nje ne štrlijo posamezni slabo pritrjeni kristali, kot to lahko opazujemo na površini prepereli s kondenzno korozijo.

Sklepam, da je pri oblikovanju faset s hitrim vodnim tokom delež erozije večji kot pri počasnejšem toku, večji pa je tudi delež odnesenih, še neraztopljenih kristalov.

Dolomit je bolj obstojen proti eroziji in koroziji jamske reke kot apnenec, zato iz sten izstopajo posamezna gnezda, vendar v njem z vodnim tokom ne nastanejo fasete. To nam lepo dokazuje stenski detajl, kjer je voda ob razpokah v apnencu izdolbila kanale z majhnimi fasetami v obodu, ki se zgoraj, ob stiku z dolomitom, vodoravno odrezano zaključijo. Kamnina, iz katere izstopajo štrleči deli z gladko površino, je razčlenjena v vdolbinice in žlebiče nepravilnih oblik, ki imajo 10 milimetrov premera. Iz zbruska vzorca kamnine, ki sem ga vzel v vodnem rovu, kjer poteka prečni prerež, in iz oblik v njem, lahko sklepamo, da voda hitreje



Sl.5 Póvršina majhne fasete - vrstični mikroskop

Fig.5 The surface of small current marking - microscope picture

raztaplja kalcitni del kamnine, ki jo prepređa v tankih žilicah, redkeje pa so v zbrusku večje površine kalcita. Kalcitno vezivo je bolj topno kot oglati dolomitni kristali, povečuje pa kompaktnost kamnine, saj je sparitni kalcit počasneje topen kot okoliška pretežno mikritna kamnina. Tudi v sigi, ki jo je odložila s površja prenikajoča voda, so se oblikovale fasete.

Razpoklinske kotlice so nastale ob tanjših razpokah, ki prečijo stene rova, in v stenah večjih niš. Kotlice imajo premer od nekaj deset milimetrov pa tudi preko metra. Večje so glede na premer večinoma plitke. Nastale so 1–2 metra nad dnem struge. Oblikovale so jih torej že nekoliko višje vode. Nižje, v pasu najmanjših faset, so kotlice le v zatišju niš.

3 metre nad tlemi rova med prvima jezeroma je sredi apnenčastega sklada ohranjena vzdolžna **stenska zajedá**, s fasetirano površino. Zajeda je posledica nekdanjega nivoja vodnega toka. Je bil rov sprva oblikovan višje in nato z vrezovanjem poglobljen ali pa je bil že oblikovan rov zasut s prodom, po katerem je tekla voda?

Mchurjaste kotlice so v stropu rova in robnih niš. So skledastih oblik in se proti dokaj ravnemu dnu le malo zožujejo (sl.2, 6). Osi kotlic so večinoma navpične. Značaj stropnih razpok in lezik, ob katerih so se kotlice s premerom do enega metra, nekatere tudi večje, oblikovale, je pogojil njihovo razmestitev in velikost. Kjer se je voda prežrla skozi razpokane sklade do lezik, so kotlice razširjene.

Nastanek kotlic si lahko razlagamo s pospešeno korozijo vrtinčastega vodnega toka pod



Sl.6 Kotlica v stropu vodnega rova (merilo je 0,15 metra)

Fig.6 Solution cup in the roof of water channel (scale 0.15 m)

stropom. Verjetno pa k oblikovanju kotlic pomembno prispeva tudi zniževanje pritiska ob premikanju zračnih mehurjev pod stropom.

Skalna površina stropa in stropnih mehurjastih kotlic je preperela. Ob dotiku se drobne razjede, ki so posledica kondenzne korozije, razmažejo. Kotlic današnje visoke vode ne dosežejo več. Kaže, da so bile kotlice preoblikovane tudi zaradi kondenzne korozije pod stropom ujetega zraka, ko je voda poplavlila rov, kot nastanek stropnih mehurjastih kotlic razlagajo B. Mucke, R. Völker, S. Wadewitz (1983). Je pa res, da je danes večina zgornjega dela skalnega oboda, ki ga vode ne dosežejo več, razjedena s kondenzno korozijo.

Manjše **erozijske kotlice** so v skalnih blokih na dnu rova in v spodnjih položnih robovih sten, ki jih najnižje sigotvorne vode ne dosežejo. Imajo 100 milimetrov ali več premera in polkrožne prečne prereze. Večje kotlice imajo spiralasto dno (sl.7), ki je, če je voda prežrla sklad, v katerem se je kotlica oblikovala, tudi odprto. Kotlice so v območju najmanjših faset, torej najhitrejšega vodnega toka. Voda prenaša sorazmeroma malo razdrobljene kamnine, zato je tudi erozija manj izrazita in kotlice so majhne.

Iz dna korita štrlijo posamezne skalne **čeri**, s fasetirano površino. Spodaj so širše in se navzgor zožujejo. Robovi čeri so ostri. Čeri so ostanki trdnjših delov kamnine, ki jih je oblikoval hiter vodni tok.

V stenah rova so med razpokami, ki jih je poglobil vodni tok, nastali skalni **noži**, ki imajo



Sl.7 Erozijska kotlica v koritu vodnega rova (merilo je 0,15 metra)

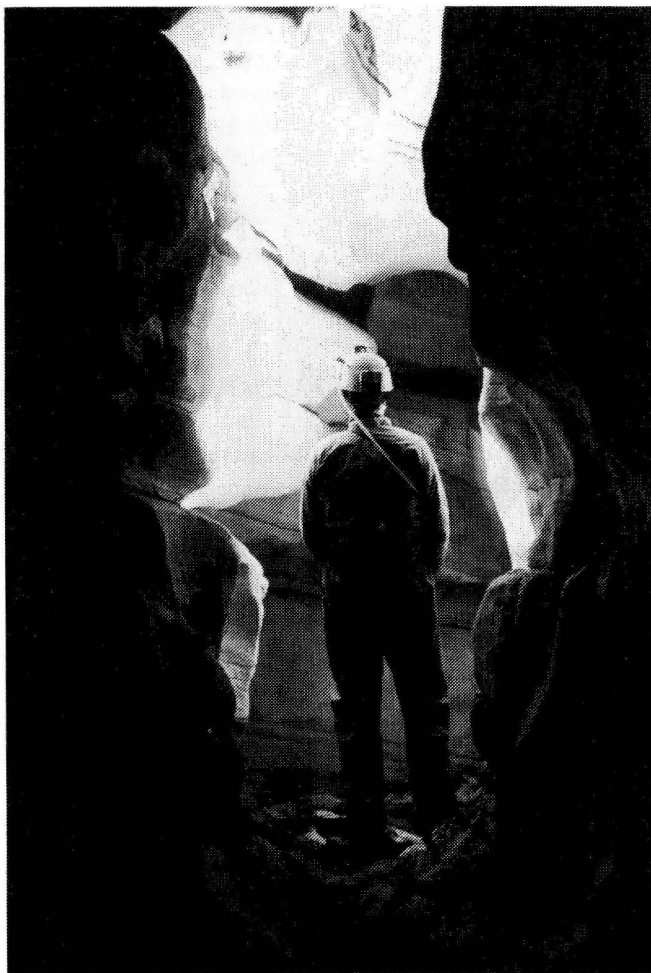
Fig.7 Erosion solution cup in the riverbed of the water channel (scale 0.15 m)

večinoma fasetirano površino. Tudi njihovi robovi so ostri, velikost pa zavisi od razpokanosti in nehomogenosti kamnine. Tako so lahko dolgi tudi meter ali več.

V samem dnu korita, kjer tečejo najnižje vode, je siga. Najnižje vode so sigotvorne. Ko tečejo po neravnem dnu se iz vode sprošča CO_2 in zato se izloča siga. To nam potrdi tudi analiza nizkih novembrskih voda. V vzorcu vode sem nameril 247 miligramov Ca CO_3 na liter. Ko sem vodi dodal še dodatni CaCO_3 , se ni raztopil. Koncentracija se je znižala, saj se je Ca iz nasičene vode izločil na zrnati dodatek.

Sledi vodnega toka so ohranjene tudi v obodu danes suhih, le ob visokih vodah deloma poplavljenih rovih, katerih dna so debelo prekrita z drobnozrnatim sedimentom. V obodu rova, ki se odpira nad prvim jezerom proti jugu, so oblike, ki pričajo o svojem nastanku v zalitem rovu zaradi počasnega vodnega toka. V stenah so nastale **velike fasete** s premerom 1 meter, v stropu pa so zlasti ob razpokah **mehurjaste kotlice** s premerom od nekaj desetink pa do 1 ali več metrov. Tudi v Medvedjem rovu so v stropu, kjer ni zasigan ali pa preoblikovan z odlomi, mehurjaste kotlice, v začetnem delu rova pa so večje fasete, ki imajo 50 milimetrov premera.

Podobno je oblikovan skalni obod v stenskih nišah (sl.8), ki so ohranjene tudi v vhodnem delu jame, ta pa je večinoma podorno preoblikovan. V obodu so velike fasete in stropne kotlice, ki dokazujejo prvotno zaliti rov.



Sl.8 Fosilna niša v vhodnem delu jame z velikimi fasetami v obodu

Fig.8 Fossil niche in the entrance part of the cave with big current markings in the rim

Rovi, po katerih se še danes pretaka voda, kot tudi tisti, ki so delno poplavljeni le še ob visokih vodah, so nastajali v zaliti coni. O tem pričajo stropne kotlice v vseh rovih, ki niso podorno preoblikovani, in velike fasete v stenah nekaterih danes suhih rogov. Današnje, tudi najvišje vode, pa rogov ne zalijejo več v celoti, kar nam dokazuje s kondenzno korozijo preoblikovano površje stropa in zgornjih delov sten v vodnih rovih in pa višina poplavne ilovice na položnejših odsekih sten. Le nekatere nižje odseke rogov še v celoti zalijejo visoke vode, ki se po pričevanju očividcev pojavijo le vsakih nekaj let. V takih rovih so v stropu fasete. Visoke vode se pretakajo počasneje in višje v stenah so vrezane večje fasete. Mlaži rovi, ki sekajo

stare meandre, so premajhni, da bi sproti prevajali visoke vode, pa dovolj veliki za nekoliko manjši vodni pretok, z gladino do 2 metra nad dnom korita, kjer so fasete najmanjše. Ob najnižjih vodah se izloča iz vodnega toka siga, saj so že skalni bloki ali posamezne čeri pol metra nad dnom korita fasetirani. Siga sama pa ni fasetirana, torej je odlaganje sige hitrejšje od erozijske moči vode. Siga se odlaga le na brzicah ob podornih blokih, ne pa v jezerskih kotanjah.

Oblikovanost skalnega oboda rova je odvisna od skladovitosti kamnine, pretrte z razpokami in prelomi, ter od načina in hitrosti pretakanja vode. Sledimo lahko oblikovanju rovov v zaliti coni in mlajšemu preoblikovanju današnjega vodnega rova z odprtim vodnim tokom. Oblike, ki so nastale s hitrejšim vodnim tokom, so prekrile starejše, kar priča o sorazmeroma hitrem preoblikovanju površja skalnih obodov rovov.

OBLIKE OB STIKU Z DROBNOZRNATIM SEDIMENTOM

Te skalne oblike lahko razdelimo na mlajše, ki nastajajo pod drobnozrnatim sedimentom današnjih visokih in na starejše pod drobnozrnatim sedimentno zapolnitvijo v danes večinoma suhih rovih.

Oblike, ki nastajajo pod drobnozrnatimi naplavinami poplavnih voda, sestavljajo podsedimentni žlebiči in podsedimentne vdolbinice. V Jamarskem priročniku (1964, 47) so žlebiči predstavljeni kot oblike, ki naj bi jih oblikovala, skozi razpoke v stropu prenikajoča voda.

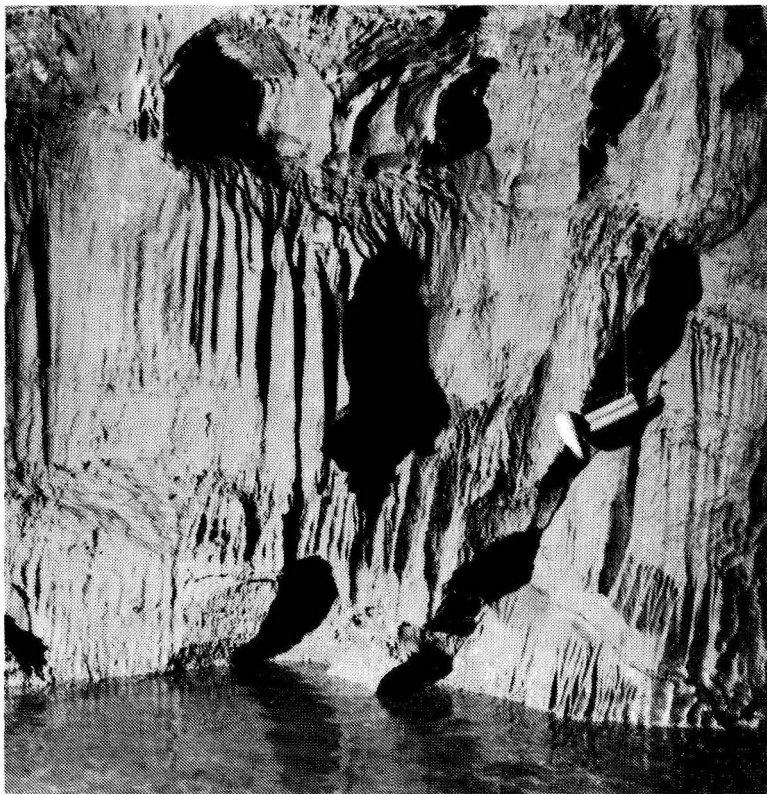
Podsedimentni žlebiči (sl.9) so globoki od 10–100 milimetrov in prav toliko tudi široki. Imajo značilni V prečni prerez z zaobljenim dnom. Žlebiče, ki so razporejeni eden poleg drugega, ločijo ostri robovi, marsikje pogojeni z manj topnimi kalcitnimi žilicami. Stene večjih žlebičev so pogosto razčlenjene v manjše, ki se začenjajo kar na razu med žlebičema. Manjši žlebiči se na položnih odsekih v večjih zajedah, ki so nastale v manj odporni in razpokani kamnini, lijakasto stekajo in na strmejšem odseku združijo v večji žlebič. Površina žlebičev je sprana ali pa prekrita z ilovico.

Podsedimentne žlebiče opazujemo v spodnjih delih navpičnih ali malo nagnjenih sten. Nad njimi je praviloma na položnejših odsekih odložena ilovica.

Že sama oblika žlebičev, njihov položaj v steni rova in ilovnate obloge nad njimi, ponujajo razlago o njihovem nastanku. Visoke in počasnejše poplavne vode odlagajo drobnozrnat sediment, iz katerega se odceja po stenah voda in vreže žlebiče. Ti so po večini nižje od ilovnatga sedimenta ali pa pod njim in imajo z manjšimi žlebiči razčlenjene stene. Na razporeditev in obliko žlebičev vpliva enakomerno izcejanje vode iz ilovice in polzenje po nehomogeni kamnini. Ostri robovi med žlebiči so posledica enakomerne ploskovne korozije, štrleči deli kamnine se enakomerno ostrijo in tanjšajo, ne pa zaobljajo.

Podsedimentne vdolbinice (jamice) so do 50 milimetrov široke in prav toliko globoke. Pokončne vdolbinice imajo ravne stene in so nad dnom nekoliko razširjene. Nekatere imajo prežrte stene, tako da so ostale le še posamezne štrline kot ostanki oboda vdolbinic. Vdolbinice imajo sprano površino ali pa so deloma zapolnjene z ilovico.

Nastale so v vodoravnih ali le malo nagnjenih odsekih skalnega oboda. So pa ti odseki sten nad dnom korita, kar pomeni, da ostane voda le še v ilovici, ko se gladina toka zniža.



Sl.9 Podsedimentni žlebiči v vodnem rovu (foto. P. Habič)

Fig.9 Undersediment grooves in water channel (Photo by P.Habič)

Voda ustvari pod sedimentom najprej majhne luknjice v bolj topljivih delih kamnine. Nato nastanejo vdolbinice bolj ali manj pravilnega polkrožnega prečnega prereza, kar je odvisno od sestave in razpokanosti kamnine. Pod sedimentom v dnu se vdolbinice poglobljajo, zato so globlje od premera odprtine. Nad dnom se stene začno širiti in se pri gosto razporejenih vdolbinicah tudi združujejo.

Izrazitejše z ilovico zapolnjene razpoke in fasete v vodoravnih ali položnih odsekih, v katere se ob vsakokratnem poplavljanju odlaga vlažna ilovica, se širijo in poglobljajo.

Podsedimentni žlebiči in vdolbinice nastajajo v zatišnih legah ob vodnem vodnem toku, zlasti so pogoste te oblike v spodnjih, položnih ali pokončnih delih sten širših odsekov rova, kjer se odlaga največ ilovice. Po ostankih ilovice in razporeditvi oblik sklepam, da današnje visoke vode ne zalijejo rova v celoti, temveč segajo 2 metra pod strop. V nivoju podsedimentnih oblik pa so v vodnem toku izpostavljenih stenah vrezane večje fasete. Za nastanek takšnih podsedimentnih oblik je torej odločilna oblikovanost rova in naklon stene, na katero se odlaga ilovica.

Stropne kanale in anastomoze ter stenske žlebove lahko opazujemo v suhih rovih, ki so le občasno poplavljeni in katerih dna so debelo prekrita z drobnnozrnatim sedimentom. V rovu, ki se odcepi od vodnega rova pri prvem jezeru proti jugu, je na stropu 0,1 meter širok, meandrirač nad sedimentni kanal, v skalnih previsih, 1–2 metra nad današnjim ilovnatim pokrovom tal pa so manjše mreže nadsedimentnih anastomoz. Rov je bil v celoti zapolnjen z drobnnozrnatim sedimentom, z odtekanjem poplavnih voda pa so se ob stiku z ilovico vrezale značilne podsedimentne oblike. Podsedimentne oblike so vrezane prek že opisanih oblik, ki so nastale z vodnim tokom v freatični coni in so torej mlažje od njih.

Posamezni podsedimentni kanali in žlebovi so tudi v obodu vhodnega dela Medvedjega rova. Kanali so 1–2 metra nad današnjim ilovnatim prekritjem tal ali pa v isti višini in jih lahko opazujemo v prečnem prerezu. V stenskem previsu je vrezan 0,1 metra širok kanal in v enaki obliki je odstranjena ilovica tudi pod njim. Skalna površina kanalov je sveže sprana. Sklepam, da ta del rova občasno poplavijo visoke vode in ko gladina upade, voda ob stenah ob stiku z ilovico odteka iz rova. S seboj odnaša tudi ilovico. Je pa pretok vode v žlebovih in kanalih počasen, zato je tudi njih površina, čeprav na pogled sprana, pod povečavo vrstičnega mikroskopa podobna prepereli skalni površini med kanali. Skalna površina je le 2 milimetra preperela. Iz nje štrlijo mikritni kristali, nekateri imajo tudi zelo šibka pritrdišča.

V notranjosti Medvedjega rova, ki ga visoke vode ne dosežejo, so se pod ilovico v skalnem obodu ohranile oblike, ki so nastale, ko se je po rovu še pretakala voda. Jugozahodno nad Tiberijevim jezerom, kjer je ilovica ohranjena še najvišje, je ob steni odkopano 1,5 metra ilovice. Ob stiku z ilovico je stena prekrita s tanko plastjo sige. Voda, ki je prenikala skozi strop in zatekala ob steni in ilovici, je odlagala sigo. V ilovici so nastale tudi številne lutke.

Je agresivna voda, ki prenaša sediment, ali pa sediment daje agresivnost vodi, ki se iz njega izceja?.

Organski ogljik v drobnnozrnatem sedimentu

V drobnnozrnatem sedimentu, ob katerem so v steno vrezani žlebiči, vdolbinice in stropni kanali ter stenski žlebovi, smo določili količino organskega ogljika (tabela 1). Za določevanje sta znana dva postopka. Sam sem izbral mokri postopek oksidacije s kalijevim dikromatom (J. Pochon, 1954). Suhi postopek, s katerim se organski ogljik določa z žarčenjem vzorca, je manj primeren, saj pri visokih temperaturah karbonati razpadajo, drobnnozrnati sediment, katerega vzorce sem zbral v Križni jami, pa je pretežno karbonatne sestave.

Vzorci 1, 2 in 3 so z obrežij prvega in drugega jezera. V 2. vzorcu, ki je posnet drobnnozrnati sediment s površja nasipa, je organskega ogljika najmanj: 0,18%, le 50–100 milimetrov pod površjem pa delež naraste na 0,69%. Nekoliko pod povprečjem je delež organskega ogljika tudi v sedimentu (4) s stenske police južno od prvega jezera, ki jo dosežejo le redke najvišje vode. Pod sedimentom so žlebiči. Iz položne stenske niše (sl.2), pod katero so tudi žlebiči, je 6. vzorec. 5. vzorec, v katerem je organskega ogljika največ, je iz sedimenta na stenski polici rova, ki se pri prvem jezeru odcepi proti jugu. Pod sedimentom so stropni kanali in stenski žlebovi.

Tabela 1: Analiza drobnnozrnatega sedimenta

vzorci	Munsell soil color chart	organski C	PH
1	2,5Y 3/2 * 18YR 6/3	8,69%	8,21
2	18YR 4/2 18YR 6/3	8,18%	8,41
3	18YR 3/2 18YR 6/4	8,77%	8,19
4	18YR 5/8 18YR 6/6	8,56%	8,28
5	18YR 5/6 18YR 6/6	1%	8,28
6	18YR 3/2 18YR 6/4	8,87%	8,22

* Zgornja označba barve vzorca je za naravno vlažen, spodnja pa za suh sediment.

Organski ogljik, katerega delež v organski snovi je okoli 58% (F. Scheffer, P. Schachtschabel, 1975, 50), je torej del vseh analiziranih vzorcev. Za predstavbo količine organske snovi v sedimentu naj navedem nekaj primerjav. Iz analiz drobnnozrnatih sedimentov, ki so jih opravili delavci IZRK (A. Kranjc) za potrebe arheoloških raziskav, razberemo naslednje količine organskega ogljika: najmanj ga je v starih suhih sedimentih (Divje babe, Kačna jama), v povprečju manj kot 0,5%, največ pa je organskega ogljika v svežem sedimentu, ki ga nanašajo podzemni tokovi, kjer največje količine dosežejo tudi 2,5% (Labodnica). F. Scheffer in P. Schachtschabel (1975, 51) navajata naslednje podatke: v prsteh z malo humusa je organskega ogljika manj kot 1%, v prsteh z največjimi deleži humusa pa ga je 8–15%, povprečje v orni plasti prsti pa naj bi bilo 1,5–4%.

Kolikšen je torej delež organskih snovi v analiziranem drobnnozrnatem sedimentu in kakšen je njegov vpliv na oblikovanje skalnega površja v jami? Iz primerjav lahko sodimo, da delež organskih snovi ni zanemarljiv, nasprotno, domnevamo lahko, da je prisoten proces mineralizacije, torej tvorbe CO₂ iz ogljika, čeprav pH odraža prevladujoč delež karbonatov v sedimentu. Vpliv organskih snovi je najbolj izrazit v sveže prinesenem sedimentu, ko se raztaplja karbonatni del sedimenta in kamnina ob stiku z njim, nato pa njihov vpliv pojenja.

S KONDENZNO KOROZIJO RAZJEDENE STENE

V Medvedjem rovu je kondenzna korozija ustvarila 3 tipe skalnega površja. V začetku rova, tik za odcepom iz vodnega rova, je skala prepletena s kalcitnimi žilicami, ki do 5 mili-



Sl.10 S kondenzno korozijo razjedena stena vhodnega dela Medvedjega rova

Fig.10 By condense corrosion attacked wall in the entrance part of Medvedji rov

metrovo štrlijo iz površine apnenca (sl.10). V drobne razpoke odloženi kalcit je slabše topljiv od okoliške biomikritne kamnine.

V naslednjih metrih v notranjost rova so skladi zahodne stene razčlenjeni v tanke plasti, ki jih ločijo 10 milimetrov globoke zajede. To je posledica sedimentacije apnenca in ob stikih posameznih plasti je kamnina hitreje topljiva.

Na sredini rova, kjer je nivo drobnozrnatega sedimenta ohranjen najvišje, je skala razjedena z ozkimi zajedami v mrežo žlebov, ki pa med seboj niso povezani (sl.11). Skalno površje med razjedami je razčlenjeno v vdolbinice z nekaj milimetri premera. Te razjede omenja že F. Hochstetter (1881, 13).

Kondenzne vlage je bilo precej, zato je prišla do izraza razpokanost in plastovitost kamnine. Ni pa znakov hitrega zračnega toka. Manj topne so bile kalcitne žilice, hitreje pa se je kamnina topila ob razpokah in ob stiku plasti. Površina oboda, kjer je bilo vlage manj in zato ni sprana, je tanko preperela (sl.12). Iz drobno razčlenjene biomikritne kamnine štrlijo na tankih pritrđiščih, še neraztopljeni večji kristali. Ohranjena so tudi počasneje topljiva sparitna zrna.

Kot kaže medvedji obrus (sl.11), to je del iz stene štrleče zglajene kamnine, ki je bila sprva razjedena s kondenzno korozijo, današnja kondenzna vlaga nima več korozijske spo-



Sl.11 Medvedji obris v srednjem delu Medvedjega rova, kamnina je okoli razjedena s kondenzno korozijo (merilo je 0,15 metra)

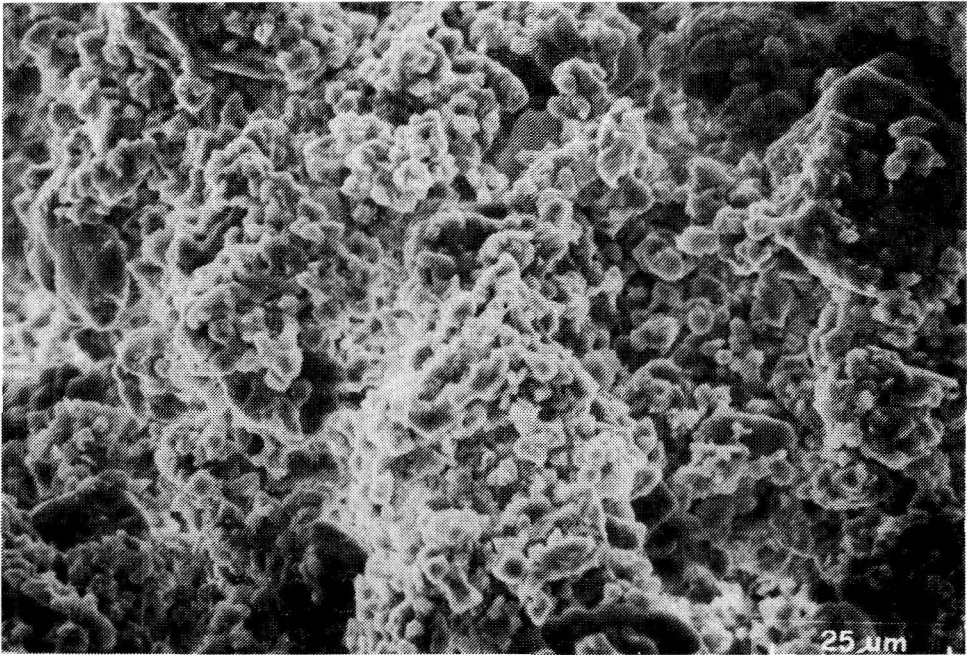
Fig.11 Bear polishes in the central part of Medvedji rov; the rock is cut by condense corrosion (scale 0.15 m)

sobnosti. Je mogoče kamnina zaščiten z maščobami? Na vprašanje je potrebno še odgovoriti. Je pa bil rov v času poplavljanja, torej do zadnjega sunka glaciala (W 2/3) (R. Gospodarič, 1974), še z obeh strani odprt k Vodnemu rovu in so bile klimatske razmere v njem prav gotovo drugačne.

Kondenzacija je danes izdatnejša le še v vodnem rovu, kjer so zgornji, višji deli rova drobno razjedeni. Konec oktobra se je nad tlemi rova v notranjost jame pretakal hladen zrak s površja skozi glavni vhod in zgornji del oboda je bil vlažen. Hladen zrak verjetno spodriva in ohlaja toplejši jamski zrak, iz katerega zato kondenzira vlaga.

POMEN SKALNIH OBLIK PRI RAZPOZNAVANJU JAMSKEGA RAZVOJA

O jamskem razvoju je na podlagi fluvialnih sedimentov sklepal R. Gospodarič (1974, 58), ki je v Prvem podornem rovu našel naplavine iz časa, ko se je jamska reka pretakala na višini 635 metrov. Tudi v Bločiškem zatrepu sta R. Gospodarič in P. Habič (1979, 30) razpoznala sledi več obdobj poglobljanja polja, ki jih predstavljajo terase vse od 720–750 nadmor-



Sl.12 S kondenzno korozijo razjedena skalna površina v stenski niši v vhodnem delu jame - vrstični mikroskop

Fig.12 By condense corrosion cut rocky surface in the wall niche in the entrance part of the cave - microscope picture

ske višine v zgornjem delu Bloške Police, pa postopno do najnižjega zatrepa nad današnjim izvirom Šteberščice v višini 565–570 metrov. Kaže torej, da se je voda z dolomitnega zaledja pretakala tudi pred nastankom današnje jame preko in skozi sklade istega apnenčastega bloka.

O oblikovanju jame s počasnim pretokom vode v zaliti coni pričajo velike fasete in kotlice v stropu danes večinoma suhih rogov. Rovi so torej nastajali v času freatičnih razmer, kasneje se je znižala gladina vodnega toka. Jama je začela nastajati v isti ravnini ali celo nižje od Cerkniškega polja, danes pa je vodno korito v jami 50 metrov nad poljem, kar je verjetno posledica tektonskega dviganja Blok ali grezanja Cerkniškega polja na živem prelomnem območju. O poglobljanju jame pričajo tudi deloma oblikovani spodnji rovi, v katerih voda zastaja zaradi zapor v gosto pretrtih skladih apenca, ki se na površju kažejo v številnih udornicah.

Sledi hitrejšega pretakanja vode kot posledica odprtega vodnega toka so stenske zajede v nekaterih rovih. Nastale so po znižanju gladine vodnega toka. Povezane so tudi s prenašanjem in odlaganjem proda po jami, kar je značilnost pestrih pleistocenskih hidroloških razmer. Vodni tok pa je skoraj ves mlajši pleistocen vztrajal na okoli 610 metrih nadmorske višine (R. Gospodarič, P. Habič, 1979, 59). Fasete tega ne kažejo, saj nastajajo sorazmerno hitro in

ohranile so se le kot sledi najmlajšega hitrega vodnega toka. Rovi so bili tudi v tem času večkrat poplavljeni v celoti in iz takšnih obdobj so tudi mehurjaste kotlice v stropu višjih delov rova, ki ga današnje vode ne dosega več. Sočasno je ob prelomih skalni obod tudi razpadal in se podiral, voda pa je odnašala podorno kamnino. Vmes so bila tudi sušnejša obdobja, na kar kaže stara siga v vodnem koritu. Z obdobjem prehoda iz freatičnih v epifreatične razmere so verjetno povezane tudi spremembe v poteku jamskih rogov. Če je prvotno meandriranje toka skozi pretrto kamnino značilnost zalitega kraškega podzemlja, si je ta z večjo močjo dolbljenja v epifreatični coni poiskal najkrajšo pot in presekale meandre. Sledila so poplavna obdobja z zastajanjem voda in odlaganjem drobnozrnatega sedimenta. R. Gospodarič (1974, 363) je naplavine uvrstil v srednji in starejši würm. Najdene kosti jamskega medveda namreč ne morejo biti mlajše od zadnjega würmskega stadiala, saj je takrat jamski medved v naših krajih že izumrl. Drobnozrnati sediment pa je naplavljen tudi prek kosti jamskega medveda. O spremenjenih klimatskih razmerah v jami lahko sklepamo po medvedjih obrusih sprva kondenzno korodirane skale v Medvedjem rovu, ki so ostali gladki in jih kondenzna korozija kasneje ni več razjedla. Tudi poplave v teh delih jame niso več segle do stropa, zato pa je

Tabela 2: Skalne oblike v Križni jami

proces		hidrološka		coča
		FREATIČNA	EPIFREATIČNA	VADOZNA
K O R O Z I J A	Z vodnim tokom	velike fasete , kotlice , niše	mehurjaste kotlice	fasete , razpoklinske kotlice , stenske zajede , niše
	Z pod sedi - mentom		anastomoze (lokalna sifonska)	žlebovi , kanali , žlebiči , vdolbinice
	S kon - denzom			drobne razjede
	Z vodnim tokom			erozijske kotlice
RAZPADANJE IN PODIRANJE		odlomi, podori	-*-	-*-

večina skalnega oboda jame nad poplavo ali kjer ni podorno preoblikovan, drobno razjedena. Klimatske razmere v vodnih rovih ne omogočajo izdatnejše kondenzne korozije.

Od konca würma je sledilo poglabljanje rogov s hitrim vodnim tokom, ki je iz sedanjih vodnih rogov v celoti izpral drobnozrnati sediment. Izpiranje se občasno prekine le ob najvišjih vodah. Te so počasnejše in deloma zalivajo tudi sicer suhe rove. Poplavne vode se izcejaajo iz naplavljenega drobnozrnatega sedimenta in vrezujejo podsedimentne kanale in anastomoze. Ker pa voda odnaša tudi ilovico, so nekatere oblike že fosilne. Tudi današnje vode naplavlajo v zatišjih nekaj drobnozrnatega sedimenta, pod katerim nastajajo žlebiči in vdolbinice. Sedanji hitri vodni tok ob srednjih vodah v stenah in v dnu rova, in ponekod v nižjih rovih, tudi po celotnem obodu oblikuje fasete, razpoklinske in erozijske kotlice. Le še v stropu višjih vodnih rogov so ohranjene sledi starejšega oblikovanja.

Visoke vode so bolj agresivne, to dokazujejo tudi podsedimentne oblike, kar pa je verjetno posledica hitrega odtoka s površja in tudi prenašanja svežega drobnozrnatega sedimenta, v katerem smo dokazali organske snovi. Ob nizkih vodah se na dnu korita odlaga siga.

SEZNAM LITERATURE

- Badiura, R., 1909: Križna jama, Dom in svet, 30-33, Ljubljana.
- Bohinec, W., 1963: Die Križna jama (Kreuzberghöhle) bei Lož, Slowenien, 3. Congrès International de Spéléologie, 2, 211-214, Wien.
- Gospodarič, R., 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami, Acta Carsologica, 6, 327-366, Ljubljana.
- Gospodarič, R., P. Habič, 1979: Kraški pojavi Cerkniškega polja, Acta Carsologica, 8, 1, 11-162, Ljubljana.
- Hochstetter, v. F., 1881: Die Kreuzberghöhle bei Laas in Krain und der Höhlenbär, Denkschriften der mat. - naturwiss. Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 43, 1-18, Wien.
- Jamarski priročnik, 1964, Ljubljana.
- Michler, I., 1934: Križna jama, Proteus 5, 97-102, Ljubljana.
- Mucke, B., R. Völker, S. Wadewitz, 1983: Cupola formation in occasionally inundated cave roofs, European regional conference on speleology, Sofia - Bulgaria 22-28. 9., 1980, 133-137, Sofia.
- Pochon, J., 1954: Manual technique d'analyse microbiologique du sol, Masson et C^{ie}, 89-91.
- Scheffer, F., P. Schachtschabel, 1975: Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

ROCKY FEATURES IN KRIŽNA JAMA AND THEIR MEANING FOR SPELEOGENESIS

Summary

Studying the rocky features on the walls of Križna jama I've tried to explain their origin and thus contribute to knowledge of cave development. Križna jama developed in the block of limestone along tectonically active fault zone where the karst poljes of Notranjska are distributed. The waters from dolomitic plateau Bloke are flowing through the cave towards the Cerknica lake which is covered by fluvial alluvium.

The cave was formed by slow water flow in the flooded zone which is evidenced by big current markings and solution cups in the roof of actual mostly dry passages. It means that the passages are water conduits from the time when the cave was a part of phreatic hydrologic system and now the water table is changed. We've stated that polje of Cerknica had controlled the cave development all the time as a local water barrier and we infer that its altitude relation towards the limestone block, where the cave lies has changed. At the beginning the cave was at the same level or even lower than the actual polje and now the river bed in the cave is 50 m above the polje level which could be explained by the cave situation in tectonically active fault area. Partly transformed lower channels evidence the deepening of the cave, they are flooded by stagnant water because of crushed limestone beds which is seen on the surface in the form of numerous collapse dolines.

The traces of quick water flow, the open water flow already, are wall cuttings in some channels resulted by water flow level change. They could be connected by transport and deposition of gravel in the cave which is the heritage of changing Pleistocene hydrological conditions. The whole Younger Pleistocene the water flow remained on about 610 m a.s.l. (R.Gospodarič, P.Habič, 1979, 59). The current markings do not reflect these changes as they develop relatively quickly and just the traces of the youngest water flow are preserved. In that time the channels were frequently flooded and from such periods are bubble like solution cups in the roof of higher lying channel parts which are no more reached by the actual water flow. At the same time the rocky rim was weathered along the faults and water has taken away the breakdown material. Inbetween dried periods existed evidenced by old flow-stone in riverbed. The change in cave channels orientation, through which the water had flown is contributed to the period of transition of the cave from phreatic to vadose zone. If the meandering through the crushed rocks presents the property of flooded karst underground formation in the vadose zone the water had found in the shortest way and with bigger strength had cut through the meanders. The periods of floods and throughflow stagnation have followed and fine-grained sediments were deposited in the channels. R. Gospodarič (1974, 363) has placed the sedimentation in the time of middle and older Würm. The found cave bear bones could not namely be younger than the last Würm stadial as in this time the cave bear was extinct in our places already. The fine-grained sediment was deposited by the water over the bones of cave bear. About different climatic conditions in the cave, in Medvedji rov at least, we could infer according to bear polishes which had remained polished and condense corrosion did not attack them. These parts of the cave were no more flooded completely. But the most of rocky rim which is no more reached by the water or was not transformed by breakdown lately, is thinly cut, being in the channels where the climatic conditions are controlled by the water the result of actual condense corrosion which is not abundant namely.

From the end of Würm the deepening of channels with quick runoff removed off the water channels the fine-grained sediment and this process is temporary interrupted by high waters. They flow more slowly and partly they flood otherwise dry channels. Flood waters in these channels flow off along the contact with fine-grained sediments and cut undersediment channels and anastomoses. As the clay flows off together with water the upper features are fossil already. The actual high waters too depose in leeward places smaller amounts of fine-grained sediment under which solution flutes and grooves are developing. Quick water flow, medium waters in particular, has transformed the walls and the bottom of the channels, somewhere, where the passages are lower the entire rim even, by current markings and in crushed zones and riverbed rim by solution cups. In water channels, except in higher lying parts, there are no traces of older transformation left.

High waters are more aggressive which is evidenced by undersediment forms and probably result in quick runoff from the surface and transportation of fresh fine-grained sediment in which the organic substances were proved. The water of the lowest level deposits flowstone on the bottom of the flow-bed.