

Speleogeneza Divaškega krasa

Andrej Mihevc





Dr. Andrej Mihevc je višji znanstveni sodelavec na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU v Postojni. Na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani je študiral geografijo in sociologijo in študij geografije končal leta 1979 z diplomsko nalogo *Geomorfološka karta Logaških Rovt*, za katero je prejel Prešernovo nagrado. Podiplomski študij je zaključil z magistrskim delom *Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa – izbrani primeri s Slovenskega krasa*. Leta 1999 je doktoriral z doktorskim delom *Speleogeneza Matičnega krasa*. V njem je opisal razvoj pomembnejših jam na Matičnem krasu ter njihov odnos do sedanjega kraškega površja. Strokovno se je izpopolnjeval v Veliki Britaniji, Franciji in na Norveškem.

Njegovo glavno raziskovalno področje sta fizična speleologija in geomorfologija krasa, že dalj časa pa se ukvarja tudi z jamarstvom. Raziskoval je v jamah v Sloveniji ter na Dinarskem in Kitajskem krasu, kamor je vodil tudi več raziskovalnih odprav.

Zbirka ZRC 27

Andrej Mihevc SPELEOGENEZA DIVAŠKEGA KRASA

© 2001, Založba ZRC, ZRC SAZU

Urednik Vojislav Likar
Oblikovanje Milojka Žalik Huzjan
Prevod Nina Sušnik
Jezikovni pregled Helena Majcenovič (slovensko besedilo)
Trevor R. Shaw (angleško besedilo)

Izdajatelj Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Za izdajatelja Tadej Slabe



Založila Založba ZRC, ZRC SAZU
Za založnika Oto Luthar
Vodja založništva Vojislav Likar

Tisk Littera picta, Ljubljana

Tisk publikacije je podprlo
Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije.

Digitalna verzija (pdf) je pod pogoji licence <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
prosto dostopna: <https://doi.org/10.3986/9789610503224>.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

551.44(497.4-15)

MIHEVC, Andrej

Speleogeneza Divaškega krasa / Andrej Mihevc ;
[prevod Nina Sušnik]. - Ljubljana : Založba ZRC,
ZRC SAZU, 2001. - (Zbirka ZRC ; 27)

ISBN961-6358-24-3
110099200

*Speleogeneza
Divaškega krasa*

ANDREJ MIHEVC

LJUBLJANA 2001

ZAL  ZBA
ZRC

VSEBINA

Uvod	9
Pregled osnovne literature o Divaškem krasu	11
Speleološka in morfološka analiza denudiranih jam	15
Brezstropa jama pri Povirju.....	18
<i>Skalni relief na stenah rova</i>	20
<i>Oblike, nastale zaradi zapolnitve rova s sedimenti in s prstjo</i>	20
<i>Jamski sedimenti</i>	22
<i>Brezstropa Jama pri Povirju v speleogenetskem prostoru</i>	25
Druge denudirane jame	27
<i>Denudirana Jama v Lipovih dolinah</i>	28
<i>Denudirana Jama na ledini Grintavca</i>	32
<i>Denudirana Jama nad dolom Jablanc pri Gradišču</i>	32
<i>Denudirana Jama v Radvanju</i>	33
<i>Nekarbonatni peski in prodi na Divaškem krasu</i>	36
Pomen denudiranih jam za razumevanje speleogeneze Škocjanskega krasa.....	37
Bestažovca – primer speleogeneze	42
Morfološke značilnosti ter geološka zgradba okolice jame.....	42
<i>Jama Bestažovca</i>	43
<i>Perkov spodmol</i>	48
<i>Dol Bestažovca</i>	49
Speleogeneza jame Bestažovca	50
Škocjanske jame	52
Hidrološke značilnosti Reke	52
Zgodovina raziskovanja Škocjanskih jam	53
Geološke razmere	54
Hidrološke razmere v jami	62
Morfologija Škocjanskih jam.....	63
<i>Drobne oblike</i>	63
<i>Erozijske oblike in površine</i>	64
<i>Oblike rovov</i>	67
<i>Morfološki opisi rovov in njihova vloga v Jamskem sistemu</i>	71
Speleogeneza Škocjanskih jam in okoliških udornic	81

Kačna jama	82
Geološke razmere v jami in morfologija jamskih rovov	82
<i>Drobne oblike v jami</i>	87
<i>Značilnosti rovov Kačne jame</i>	96
<i>Hidrološke razmere v jami</i>	100
<i>Prenikajoče vode v Kačni jami</i>	100
<i>Reka v Kačni jami</i>	101
Speleogeneza Kačne jame	104
Udornice in površje Divaškega krasa	107
Datiranje sige	114
Datacije sig iz Škocjanskih jam in Kačne jame	116
<i>Datacije sig iz Škocjanskih jam</i>	116
<i>Datacija sig iz Kačne jame</i>	119
<i>Datacije sig iz Divaške jame</i>	121
Datacije sig iz jam v Matarskem podolju	123
<i>Datacije sig iz Mejam</i>	123
<i>Datacije sig iz Ponikve v Odolini</i>	124
<i>Datacije sig iz Slepe doline Jezerine</i>	125
<i>Datacije sig iz Račiške Ponikve</i>	132
<i>Datacije sig iz Dimnic</i>	132
<i>Datacije sig iz Jazbine v Rovnjah</i>	133
<i>Datacije sig iz Lipiške jame</i>	138
<i>Datacije sig iz kamnolomov Črnotiče in Črni kal</i>	138
<i>Datacije sig iz korozijsko razširjenih razpok</i>	139
Pregled datacij sige	140
Povzetek	144
The Speleogenesis of the Divača Karst	149
Literatura in viri	165
Izveček	174
Abstract	175
Seznam risb – List of Illustrations	176

*Gora se podere in kamen se prenese s svojega mesta.
Voda prevotlika kamen in z nalivi se odplavi zemlja.
Job, 14 1-22.*

UVOD

Divaški kras je uravnan nižji svet med Gabrkom, Vremščico, Vremsko dolino, Brkini in Taborskimi griči. Ob njegovem robu pod Škocjanom ponika v Škocjanskih jamah Reka, ostalo ozemlje pa je brez površinsko tekočih voda. Globoko pod površjem teče Reka, o čemer pričajo številni vhodi v podzemlje in veliki doli, ki so nastali z udori nad podzemnimi votlinami.

Udornice in velike jame, v katerih lahko spremljamo podzemni tok Reke, pričajo o razvitosti in starosti tega dela krasa ter že več kot stoletje vzbujajo veliko zanimanje med raziskovalci krasa in speleologi. V zadnjih desetletjih smo bili priča pomembnemu razvoju znanosti, predvsem novim pogledom na nastanek in razvoj krasa, pa tudi intenzivnim speleološkim proučevanjem in odkritjem na Divaškem krasu.

V pričujočem delu sem poskusil opredeliti speleološki pomen posameznih pomembnih jam, denudacijskih ostankov jam, jamskih sedimentov ter udornic na Divaškem krasu. Pod speleogenezo razumem nastanek ter razvoj jam od razvoja prvega kanala do popolnega izginotja jame, ki nastopi z denudacijskim uničenjem okoliške kamnine. Ker je Divaški kras zelo star, sem omejil proučevanje speleogeneze na razvoj kanalov, ki so že sposobni prevajati večje količine vode in se ne spuščam v proučevanje inicialnih kanalov. V svojem delu sem se omejil predvsem na morfološko analizo jam, dinamiko nekaterih procesov, ki jih oblikujejo, analizo fluvialnih jamskih sedimentov in na datacije sig. Spoznanja sem ponekod povezal z morfologijo površja. Prav tu je verjetno najpomembnejše razumevanje oblik ter procesov v podzemlju, saj so številne reliefne oblike posledica interakcije podzemnih votlin in površja.

Človeku dostopne jame so fragmenti različnih jamskih sistemov, zato so morfološko zelo različne. Proučil sem izbrane jame na Divaškem krasu, delu Matarskega podolja in nekatere jame na Sežanskem krasu. Izbral sem le tiste jame, ki vsebujejo pomembne informacije o speleogenezi obravnavanega območja.

Na Divaškem krasu sem proučil Škocjanske jame in Kačno jamo, ki sta največji jami Krasa. Izbral sem ju zaradi dolžine, oblikovanosti rogov in možnosti primerjave geološke strukture in podzemnih oblik z oblikovanostjo površja, predvsem udornic in denudiranih jam nad njima. Sodeloval sem pri najnovejših merjenjih Škocjanskih jam in pri izdelavi njihovega načrta. Raziskoval sem v Kačni jami, sodeloval pri njenem merjenju in izdelal načrt jame. V obeh jamah sem analiziral sedimente, meril dinamiko erozije in korozije ter opravil več datacij sig.

Z datacijami sige z metodo $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ sem poskušal ugotoviti trajanje različnih speleoloških procesov v jamah, predvsem poplavna in erozijska obdobja v jamah Matarskega podolja in v podzemlju Škocjanskih jam ter Kačne jame. Z analizami paličastih stalagmitov sem skušal določiti vpliv pleistocenskih in holocenskih klimatskih sprememb na dogajanje v jamah, z analizami sige, ki zapolnjuje kraške razpoke, pa časovno določiti procese korozije in odlaganja sige v epikraški coni.

Jamski sistem Bestažovca-Perkova pečina v Taborskih gričih nad Sežano sem obdelal zaradi velike starosti jam ter mlajših morfoloških procesov v jami. Izdelal sem nov načrt jame ter kartiral elemente jamske morfologije. Jamo sem primerjal s površjem in z udornicami nad njo ter skušal ugotoviti genezo in starost tega dela jamskega sistema.

Površinsko kartiranje na Krasu sem omejil na ugotavljanje denudiranih – brezstropih jam ter analizo razmerij med udornicami in vrtačami. Primerjal sem deleže površin reliefnih oblik, katerih nastanek je povezan s spremembo jam v površinsko reliefno obliko, bodisi s poružitvami nad jamami ali z denudacijskim pojavljanjem jam na površju.

V denudirani Brezstropi jami pri Povirju sem analiziral ohranjene jamske sedimente in kartiral obliko jame, ki ji je denudacija odstranila strop ter gornji del sten. Denudirano jamo v Radvanju sem primerjal z Divaško jamo, ki pripada istemu jamskemu sistemu, brezstropo jamo v Lipovih dolinah pa s Škocjanskimi jamami. Na ta način sem razširil speleološka proučevanja tudi izven jam, na samo površje Krasa.

Terensko delo in laboratorijsko delo sem opravil na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU v okviru doktorske študije Speleogeneza matičnega krasa (1994–1998) pod mentorstvom prof. dr. Ivana Gamsa. Pomemben vir podatkov so bile analize jamskih sedimentov, predvsem datacije sig, ki sem jih analiziral na Department of Geology, University of Bergen na Norveškem.

Za mentorsko pomoč pri izdelavi naloge se zahvaljujem prof. dr. Ivanu Gamsu, za pomoč pri datacijah sig pa prof. dr. Stein-Erik Lauritzenu. Sodelavcem in prijateljem z inštituta pa se zahvaljujem za strokovne pogovore in nasvete.

Posebej se zahvaljujem za pomoč vsem jamarjem, še zlasti prijateljem iz Jamarskega društva Logatec, s katerimi sem preživel nepozabne dni v Divaškem podzemlju.

PREGLED OSNOVNE LITERATURE O DIVAŠKEM KRASU

Jame so najkompleksnejše kraške oblike. Oblikovane so kot tridimenzionalni spleti v kamnini, ki vpliva na organizacijo, obseg in obliko spleta. Jamski sistem lahko opredelimo kot sistem povezanih votlin, ki so ali ki še prevajajo vodo med točko vstopa in izstopa iz krasa (White, 1984; Ford & Williams, 1989, 242). Točke vstopa so ponori ali površje, skozi katero prenikajo enakomerno razporejene padavine. Nastanek povezanih jamskih sistemov so s teoretičnimi proučevanji razložili Ford (1965), Ford in Ewers (1978) in Palmer (1991) z modeliranjem pa Ewers (1982).

Apneneci so običajno gosti in prepustni za vodo le ob lezicah, prelomnih ploskvah ali razpokah. Zaradi gradienta se začne voda v njih počasi laminarno premikati, njeno gibanje pa opisujejo Darcyjeve enačbe toka (Ford & Williams, 1989, 146).

Za nastanek sistema so pomembni: dotok agresivne vode, iztok iz sistema in gradient. Izток iz sistema prevzamejo razpoke, ki najlaže odvajajo vodo iz kamnine. Zaradi večje hitrosti vode se v njih vzpostavi turbulentni tok. Pretok in z njim povezano širjenje kanalov se v tej točki skokovito poveča. Kanali se širijo v odvisnosti od količine vode, ki jo prevajajo. Pri tem pretok omejuje sprva propustnost samih kanalov, kasneje pa velikost zaledja (Palmer, 1991; Dreybrodt, 1998). Z večanjem profila se ob istem pretoku zmanjšuje hitrost vode v kanalu, kar zavre njegovo povečevanje (Palmer, 1991; Worthington, 1991).

Jamske sisteme, ki sprva sledijo geološkim strukturam, plastovitosti ali razpokanosti, vodni tok prilagaja svojim lastnostim. Poglavitni dejavniki, s katerimi tok oblikuje jamski sistem, so vodna količina, gradient in plavje. Rast kanalov ter kasnejše prilagoditve z obtoki, pretočitvami in paragenezo (Ford & Williams, 1989, 272) pogosto popolnoma zabrišejo prvotne mreže kanalov. Dreybrodt (1988) je pokazal, da so časi, potrebni za prilagoditve, kratki. Novi kanali v ugodnejših smereh piratizirajo stare, ki zato ohranjajo oblike zadnje morfološke faze.

Speleogenetska dogajanja potekajo v celotni gmoti izpostavljenih apnenec v času, v katerem se spreminjajo še gradient, hidrološki in klimatski pogoji. Z razvojem kraške drenaže, predvsem pa s prehodom jam iz freaticne v vadozno cono, se razvoj jamskih sistemov močno spremeni. Odslej jih oblikujejo drugi, pogosto veliko počasnejši procesi, jame pa postanejo dostopne našemu proučevanju.

Ta stopnja v razvoju jam, ki jo označujejo procesi podiranja, vertikalnega prenikanja in spiranja sedimentov, traja toliko časa, dokler jam ne uniči denudacijsko zniževanje površja (Mihevc, 1996). Proučevanje jamskih sistemov zato ne pokaže le geoloških pogojev v katerih so nastali, pač pa tudi sledove vseh ostalih speleogenetskih dejavnikov ali njihovih sprememb. Oblikovanje površinskega reliefa na krasu se dogaja v vrhnji ali epikraški coni (Gams, 1962; Williams, 1985; Klimchouk, 1995; Šušteršič, 1985), vendar ga usmerja podzemno pretakanje. V površinske reliefne oblike pa se zaradi podiranja ali denudacije vključujejo tudi jame (Mihevc, 1996). Poznavanje speleološkega razvoja krasa je zato nujno tudi za proučevanje površinske morfologije krasa.

Osnovna speleološka raziskovanja in inventarizacija jam na Krasu so se začela že v 19. stoletju. Vzpodbudilo jih je predvsem iskanje vodnih virov za Trst. Tako so bila že v prvi polovici stoletja raziskana številna brezna na Krasu nad Trstom (Gams, 1974, 17). Kasneje so Hanke in sodelavci raziskali Škocjanske jame do odtočnega sifona (Müller, 1891) ter začeli z raziskovanjem v Kačni jami (Marinitsch, 1896). Obenem so raziskovali še druge jame na tem območju. Ob prelomu stoletja so začeli raziskovati tudi jame ob Brkinskih ponikalnicah, na primer jamo Dimnice, Mejame, Jamo na Prevali (Müller, 1902), in številne manjše jame.

V obdobju med obema vojnama je bilo na Krasu odkrito veliko novih jam, spoznanja pa zbrana ter objavljena v monografijah Il Timavo (Boegan, 1938) in Duemila grotte (Boegan, 1938). Kasneje je bilo odkrito še veliko število novih jam, pa tudi nekaj novih rovov v že znanih jamah, ki bistveno pripomorejo k poznavanju jam na Krasu. Kras sta vključno z jamami monografsko obdelala še Gams (1974) ter Kranjc (1997, 1999).

Hidrološke razmere na Krasu so obravnavali sprva s stališča vodnih povezav (Boegan, 1938; Habič, 1982; 1989, Krivic, 1982; Gemitti & al., 1981; Civita & al., 1995). Pomembni so opisi izjemnih hidroloških stanj Reke. O poplavih Reke v Škocjanskih jamah je poročal Habe (1966), o izjemno nizki vodi, ko je Reka ponikala v Vremski dolini v lastni strugi, pa Habič (1985). Izjemno visoko vodo v Kačni jami je opisal Marinitsch (1896), nizko pa Mihevc (1984). Na osnovi znanih podatkov v jamah je opisal višino gladine kraške vode v Krasu Habič (1985).

Podrobno so bile sledene Brkinske ponikalnice (Gams, 1962; Krivic & al., 1989). Del ponikalnic se odteka v podmorske izvire v Kvarnerju, del v izvire v dolini Mirne, del pa v izvire Rižane.

Splošne in regionalne geomorfološke obravnave Krasa obravnavajo jame le obrobno. Jame so pomembnejše pri proučevanju kontaktnega krasa. Gams pri proučevanju slepih dolin ter Škocjanskih jam (1962, 1983) navaja različne jame ter jih vključuje v geomorfološki razvoj ozemlja. Kontaktni kras pri Brkinskih slepih dolinah ter nekatere jame je obdelal Mihevc (1993, 1995, 1997), podzemni tok Reke skozi Kras pa je na osnovi primerjav poznanih jam skušal rekonstruirati Šušteršič (1973).

O jamah na krasu obstaja obširna strokovna literatura, vendar pa je le

manjši del posvečen speleogenezi jam. Največ raziskovalcev je proučevalo Škocjanske jame. Prve strokovne morfološke in hidrološke opise jame so prispevali Müller (1991), Marinitš (1896, 1904) in Martel (1894). Njihove opise jame v veliki meri povzemata še Oedl (1924) in Boegan (1938).

Podrobneje je geologijo okolice Škocjanskih jam in jamske sedimente proučeval Gospodarič (1983, 1984, 1985). Tektonske strukturne razmere v jami je proučila Šebela (1994), odvisnost nastanka Velike doline od incepcijskih horizontov pa Knez (1991, 1996). Razvoj posameznih delov jame, razvoj jam in udornic je proučil Gams (1968, 1983, 1992, 1996). Recentne jamske sedimente je v jami proučeval Kranjc (1983, 1986), drobne oblike Slabe (1996), intenzivnost erozijskih in korozijskih procesov v jami pa Mihevc (1995).

Vertikalno prenikanje vode skozi strop jame ter izločanje sige v jami sta proučevala Kogovšek (1984, 1992) in Gams (1994). Merjena je bila hitrost izločanja sige s pomočjo kemijskih lastnosti vode (Kogovšek, 1983, 1984, 1992, 1994) ter z mikrometrom (Mihevc, 1994). Poznavanje Škocjanskih jam je strnil Habič s sodelavci (1989).

Podrobneje so bile obdelane še Divaška jama in Trhlovca (Gospodarič, 1984), Kačna jama (Mihevc, 1984, 1985) ter Dimnice (Gospodarič & Malečkar, 1982; Habič, 1985). Drobne oblike v Dimnicah je proučeval Slabe (1988, 1996). Iz faset, stropnih kotlic sledov kondenzne korozije je skušal ugotoviti speleogenetsko dogajanje v jami. V Ponikvi v Odolini in v Škocjanskih jamah je meril hitrost nastajanja faset Mihevc (1992, 1994, 1996).

Jamski sedimenti so lahko pomemben indikator razvoja jam. Recentne fluvialne jamske sedimente je proučil Kranjc (Kranjc, 1989). Gospodarič je proučil stare jamske sedimente v Škocjanskih jamah (Gospodarič, 1983) in v Divaški jami (Gospodarič, 1984). Na osnovi razlik med njimi je ločil več faz zasipanja jam ter poglobljanja in spiranja sedimentov. Mineraloške analize sedimentov v Divaški in v Škocjanskih jamah je opravila Zupan-Hajna (1992, 1994, 1998). S pomočjo paleomagnetizma so bili datirani sedimenti iz Trhlovce in Divaške jame (Bosak & al., 1998) ter iz črnotiškega kamnoloma (Bosak & al., 1999). Sedimente v Brezstropi jami pri Povirju so analizirali Mihevc (1995) ter Mihevc in Zupan-Hajna (1996).

Nahajališča nekarbonatnih peskov na površju krasa sta obravnavala D'Ambrosi (1965), Radinja (1967, 1972, 1985). Ti sedimenti naj bi bili pogloblitni dokaz o predkraškem površinskem toku Reke. Na današnjem površju, a v jamskem okolju odložene kremenove peske, opisujeta Pleničar (1956) in Habič (1994). Nov pogled na alogene sedimente, ki jih najdemo na površju, je dala analiza prodov, peskov in ilovic v zasutih denudiranih jamah (Mihevc, 1995; Mihevc & Zupan-Hajna 1996).

Kapniki in siga so značilen jamski sediment. Starost sige so na tem območju proučevali v Vilenici Gams (1977), v Škocjanskih jamah pa Gospodarič (1977), Cuchi (1989) je datiral sigo večjega stalagmita v Veliki jami v Briščikih (Grotta gigante), Zupan-Hajna (1993, 1996) pa v Lipiški jami, Škocjanskih jamah in v Mejamah.

Morfološke značilnosti in genezo brezen na Krasu je opisal Maucci (1973). Udornice so izrazita površinska reliefna oblika, ki pa ima svoj izvor v podzemnem dogajanju. Podrobne meritve prostornine nekaterih udornic je opravil Jakopin (1982), mehanizme njihovega nastanka pa sta proučevala Habič (1963) in Šušteršič (1973). Udornice v zaledju Škocjanskih jam je podrobneje opisal Gams (1983), ki je z njihovo pomočjo skušal rekonstruirati spreminjanje podzemnega toka Reke.

Pomembno so prispevala k razumevanju kvartarnega dogajanja in jamskih sedimentov v vhodnih delih jam arheološka in paleontološka izkopavanja v jamah. Izkopavanje v Tominčevi jami (Gospodarič, 1984) je pokazalo močno poplavno fazo v jami po prazgodovinski poselitvi jame. Ostanke gruščev v nekaterih dolinah (Habič, 1985, 1987) ter grušči v vhodnih delih jam naj bi kazali na močno krioklastično razpadanje. V Jami na Prevali (Szombathy, 1913; Mihevc, 1995) pa je bilo mogoče ugotoviti antropogeno zasipanje zaradi čiščenja travnikov pod vhodnim breznom.

SPELEOLOŠKA IN MORFOLOŠKA ANALIZA DENUDIRANIH JAM

Denudacija oziroma ploskovno zniževanje površja lahko na krasu naleti na stare jame, ki so sicer nastale globoko pod površjem. Ker se take jame pojavijo na površju zaradi denudacije, lahko njihove ostanke imenujemo denudirane jame, ker jim je denudacija uničila strop, pa tudi brezstropne jame. Na Divaškem krasu, pa tudi drugod na Krasu« so take jame zelo pogoste ter so pomemben morfološki element kraškega površja.

Proučevanja kraške denudacije (Gams, 1962; Cucchi & Forti, 1997; Jakucs, 1977; Ford & Williams, 1989) so pokazala, da se večji del korozijske sposobnosti prenikajoče padavinske vode izrabi plitvo pod površjem krasa. Ker so padavine razporejene enakomerno po površju, je površinska korozija razporejena relativno enakomerno, posledica tega pa je enakomerno zniževanje površja. V drobnem je seveda zaradi strukturno ali litološko pogojenih nehomogenosti v kamnini, lokalno ojačene korozije ter načina združevanja razpršenega dotoka v subkutani in epikraški coni (Gams, 1965; Williams, 1985; Klimchouk, 1995; Šušteršič, 1985) raztapljanje in odnašanje kamnine s površine krasa neenakomerno. To ima za posledico diferencirano zniževanje površja in nastanek različnih reliefnih oblik.

Dejansko zniževanje površja oziroma korozijsko intenziteto ugotavljamo s pomočjo količine iz porečja kraških rek odnešenih karbonatov (Gams, 1962), s pomočjo standardnih tablet (Gams, 1985, 1996) ali s pomočjo mikrometrskih meritev (Cucchi & Forti, 1985; Cucchi & Forti & Marinetti, 1997). Omenjene metode dajo različne rezultate. Kraška denudacija oziroma ploskovno zniževanje površja naj bi znašala od 20 do 60 m na milijon let.

Ob takšni denudacijski stopnji oziroma predvideni terciarni starosti površja (Melik, 1951; Radinja, 1967) bi moralo sedanje površje Divaškega krasa pri svojem zniževanju že naleteti ter prerezati stare vertikalne ali horizontalne jame. V speleološki ali geomorfološki strokovni literaturi pa so jamski elementi na tem površju le redko omenjeni.

Na površju Škocjanskega krasa in drugod na Krasu so raziskovalci našli sedimente, alogene prode ali peske. Te sedimente naj bi odložile predkraške površinsko tekoče reke (Marussi, 1941; Melik, 1960; Radinja, 1967, 1972; D'Ambrosi, 1965). V korozijsko razširjene razpoke ali brezna, kjer so se ohranili, pa naj bi bili ti sedimenti lokalno presedimentirani šele kasneje, potem ko so te reke na robu Krasa poniknile, in se je začelo vertikalno razčlenjevanje površja ter spiranje površinskih sedimentov v podzemlje.

Nekaj lokacij kremenovih peskov ali drugih alohtonih sedimentov so opi-

sali kot jamska nahajališča, vendar brez proučitve s speleogenetskega ali geomorfološkega vidika. Pleničar je v kopu kremenovih peskov v Lipovih dolinah opazil, da je kremenove peske in prode odložila reka ponikalnica (Pleničar, 1954). Sedimente, ohranjene v denudiranih jamah, je opisal tudi Habič (1987, 1992). V peskih različnih barv in z močno porušeno sedimentacijsko strukturo je iskal dokaze za odlaganje v različnih klimatskih pogojih ter sledove periglacialnih procesov.

Gospodarič (1984) pri opisu Divaške jame in Trhlovcu predvideva, da sta bili nadaljevanji obeh jam denudirani, vendar pa v reliefu ni poskušal identificirati njihovih ostankov ali iskati sedimentov, ki bi morebiti ostali na površju.

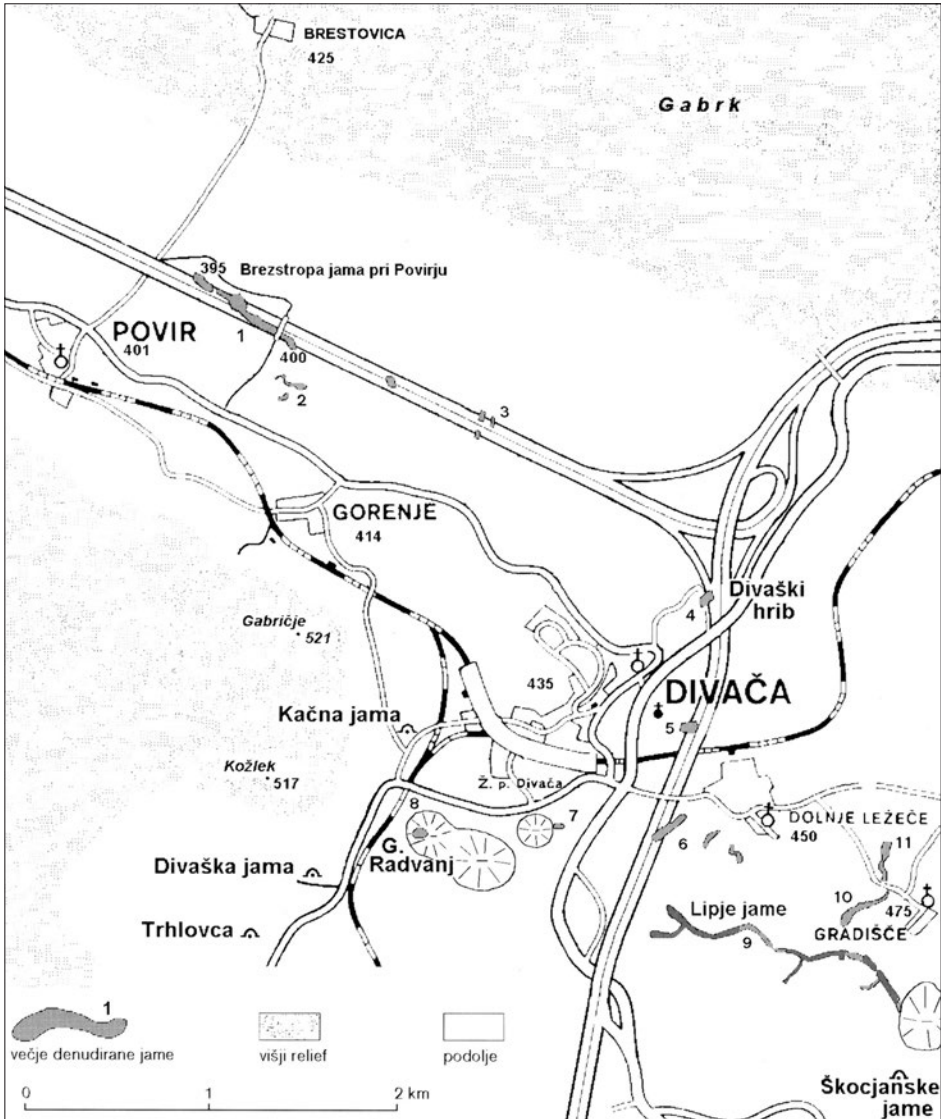
Pojav jam na površju zaradi denudacije površja drugod na krasu opisuje že Kraus (1894, 73–75, 114). Opisal je primere, ko se je zaradi denudacije strop nad jamami stanjšal, kar je povzročilo udore. Večji pomen daje denudaciji oziroma interakciji površja in podzemlja Bahun (1969). Različno oblikovane kraške votline naj bi ob denudacijskem zniževanju površja spremenilo v vrtače. Največkrat pa so raziskovalci najdbe sige na površju pripisali rušenju jam, saj običajno govore o porušeni jamah. Podzemne votline naj bi dosegle površje s podiranjem, torej s speleološkim procesom, jamski prostor pa naj bi pri tem potoval navzgor, dokler ni dosegel površja. Tako naj bi nastale tudi udornice in velik del vhodov v jame in brezna.

Pri velikih zemeljskih delih, povezanih z gradnjo avtocest čez Kras, smo postali pozorni na številne, z alogenimi sedimenti zapolnjene ostanke jam. Gradbeniki so sedimente, ki so zapolnjevali velike horizontalne jame, zaradi njihove slabe nosilnosti izkopal in tako razkrili njihove značilnosti ter omogočili vzorčevanje sedimentov (Mihevc & Šebela, 1995; Mihevc & Zupan-Hajna, 1996). Poznavanje brezstropih jam ter sedimentov v njih pa je omogočilo prepoznavanje podobnih oblik tudi izven trase ceste.

Najpomembnejša brezstropa jama v trasi avtoceste je bila dolga 230 m. V njej so bile odlično ohranjene jamske stene, sige in različni alogeni fluvialni sedimenti. Ker ji je bila denudacija že odstranila strop, smo jo poimenovali Brezstropa jama pri Povirju (Mihevc, 1996). Ime brezstropa jama pa smo potem uporabljali za vse večje, s sigo, sedimenti in oblikami izpričane denudirane jame.

Poleg nje je bilo v trasi ceste pri Divači, Dalnjih Ležečah ter med Sežano in državno mejo še dvanajst krajših brezstropih, z jamskimi fluvialnimi sedimenti zapoljenih jam, v skupni dolžini okrog 150 m. V večini primerov je trasa presekala dele jam, zato je bila njihova skupna razkrita dolžina majhna.

Denudirane jame so odraz sedanjih reliefnih in nekdanjih speleogenetskih oziroma hidroloških razmer. Pomembne so za razumevanje razvoja speleogenetskega prostora in kraškega površja, predvsem pa odpirajo nove poglede na nekarbonatne fluvialne sedimente, ki jih najdemo na površju Krasa, na probleme, povezane z udiranjem stropov nad jamskimi rovi, ter na manj obdelano poglavje speleogeneze – prehod jam v površinske reliefne oblike.



Slika 1: Brezstropa jama pri Povirju in druge, v besedilu omenjene denudirane jame na Divaškem krasu. 1 Brezstropa jama pri Povirju, 2 denudirani jami južno od Brezstropje jame pri Povirju, 3–5 denudirane jame v trasi avtoceste, 6 denudirana jama na ledini Grintavca ter dve denudirani jami na ledini Lokvica, 7 denudirana jama oh robu Risnika, 8 denudirana jama v Radvanju, 9 denudirana jama v Lipovih dolinah, 10, 11 denudirani jami pri Gradišču.

Figure 1: Unroofed caves in the area of the Divača karst. 1, 2 unroofed cave at Povir, 3–5 denuded caves in the course of the highway, 6 unroofed caves in the area of Grintavca and Lokovica, 7 unroofed cave at the edge of the collapsed doline Risnik, 8 unroofed cave in dolina Radvanj, 9 unroofed cave at Lipje jame, 10, 11 denuded cave at Gradišče.

BREZSTROPA JAMA PRI POVIRJU



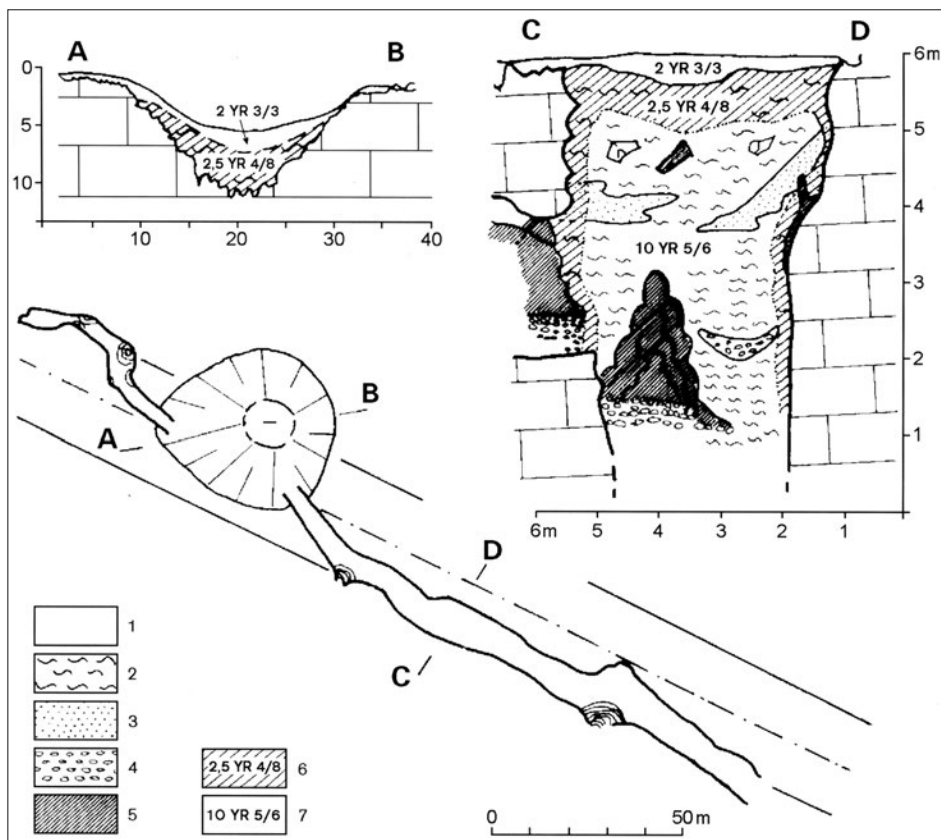
Slika 2: Uravnano površje v nadmorski višini med 398 in 400 m med gradnjo avtoceste. V ospredju je Brezstropa jama pri Povirju, iz katere so že odstranili sedimente.

Figure 2: Levelled surface at elevation between 398 and 400 m during the highway construction. From the cave, that appeared on the surface because of karst denudation, sediments have been already removed.

Pri pripravah na gradnjo avtoceste na odseku Divača – Dane (Dular, 1991) so zaznali vzhodno od Povirja, na ledini Zadušice, v osi cestišča, podolgovato, 140 m dolgo in do 10 m široko območje s slabšimi geomehanskimi lastnostmi, ki se je izteklo v plitvo vrtačo. Ko so gradbeniki odstranili rušo in vrhnji sloj prsti ter pod njimi ležeče sedimente, je postalo jasno, da gre za star jamski rov. Nekoliko zožen se je rov na drugi strani vrtače nadaljeval v trasi ceste še okrog 100 m, nato pa zavil iz trase. Ob maksimalnem obsegu izkopa je bilo v nadmorski višini med 396 in 400 m izkopanih 320 m do 5 m globokega rova. Generalna smer jame je bila 305°.

Rov je bil jasno izražen tudi na infrardečih letalskih posnetkih (ciklično snemanje SRS 1980) deloma kot svetlejši, toplejši pas tal, deloma pa ga je poraščal izrazit pas grmovja.

Na JV delu, kjer je jama zašla v traso ceste, je bila široka okrog 6 m, rov pa so izkopali do globine okrog 5 m. Po manjši razširitvi proti SZ je rov blago vijugal in se ožil. Po 140 m se je iztekkel nad dnom manjše vrtače, a se je nadaljeval na njeni nasprotni strani. Ta 45 m dolgi odsek rova je bil ožji, širok le okrog



Slika 3: Tloris ter značilni prerez vrtače in Brezstropne jame pri Povirju.

Legenda: 1 redzina, 2 ilovica, 3 pesek, 4 prod, 5 siga, 6 rdeče obarvani sedimenti, 7 rumeno obarvani sedimenti.

Figure 3: Plan and profile of the doline and eastern part of the Unroofed cave at Povir.

Legend: 1 redzina, 2 loam, 3 sand, 4 gravel, 5 flowstone, 6 red coloured sediments, 7 yellow coloured sediments.

3 m. Izkop rova se je končal ob masivni sigi, nad katero se je pojavil tudi 1 m debel skalni strop. Rov se je ponovno pojavil na površju brez stropa po 35 m. Ta del jame je bil močno poškodovan in podoben nekakšni zarušeni dvorani. Nepoškodovana je bila le njena severna stena, na kateri so se ohranile fasete. Iz nje se je rov nadaljeval proti severu izven trase avtoceste. Slediti se ga je dalo po sigi na površju še kakih 10 m, nato pa se je iztekel v veliko plitvo vrtačo Zadušice.

Večji del rova je bil širok do 6 m, na najožjem mestu, vzhodno od vrtače, pa le 2 do 3 m. Globina izkopa je bila v večjem delu rova 3 do 4 m, vendar ni dosegla živoskalnih tal. Le v srednjem delu rova, tik pred vrtačo, so se stene tako zožile, da živoskalno dno rova ni bilo več daleč – verjetno na koti okrog 395 m. Vrtini, ki sta bili narejeni v tem delu rova (Dular, 1991) sta dosegli

apnenec na koti 396 m, vendar ni nujno, da sta zadeli apnenec na najnižjem oziroma reprezentativnem mestu rova.

SKALNI RELIEF NA STENAH ROVA

Živoskalni strop jame je bil ohranjen le v severnem delu, ki je vodil iz vrtače proti SZ. Strop je bil debel le še okrog 1 m. V delu rova, kjer je strop manjkal, oziroma v izkopanem sedimentu je bilo le nekaj skal, ki so plavale v sedimentu, vendar ni bilo moč ugotoviti, ali gre za dele jamskega stropa ali skale, ki so se odlomile od gornjega dela sten. V sedimentu so bili najdeni tudi posamezni, do pol metra dolgi stalaktiti.

Stene rova so bile navpične, mestoma celo previsne. Na njih so se ohranili sledovi oblikovanja v jamskem okolju, sledovi korozijskega oblikovanja ob stiku s sedimentom ter sledovi mehanskega in korozijskega preoblikovanja v subkutani coni krasa.

Od jamskih oblik so bile najbolj izrazite stenske zajede, to so bolj ali manj vodoravni polkrožni žlebovi (Slabe, 1995), ki nastanejo v višini vodne gladine ali toka, lahko pa tudi v višini odloženega sedimenta v jami. Podobne, v smeri vodnega toka nagnjene zajede najdemo v ponornih jamah, ki prenašajo prod.

V brezstropi jami so zajede nastale in se ohranile na več mestih. Običajno so bile dve ali tri vzporedno. Visoke so bile od 20 do 60 cm, globoke od 12 do 20 cm ter ohranjene do dolžine 7 m. Ob njih se je ponekod odložila ilovica, drugod pesek in prod. Izmeril sem vpad zajed na sedmih mestih. Pet zajed je bilo nagnjenih od SZ proti JV, pri dveh pa vpada nisem mogel izmeriti. Očitno sta nastali pri mirujoči gladini ali ob sedimentu. Naklon zajed je bil majhen – le do 3° (spust za 10 cm na razdalji 5 m). Če izključimo možnost tektonskega nagibanja terena od časa, ko so zajede nastale, je bil vodni tok usmerjen proti JV. Več vzporednih zajed kaže na zapolnjevanje jame s sedimenti ali pa na večkratno spremembo višine zapolnitve.

Fasete sem našel na več mestih, vendar so bile le na dveh dobro ohranjene. Fasete na stenski zajedi v srednjem delu jame so se ohranile na površini okrog 0,5 m², vendar so bile poškodovane. Fasete v severnem delu jame pa je pokrila plast sige, ki je popolnoma ohranila njihovo obliko. Sigo se je dalo odlučiti od stene in tako razgaliti fasete. Poprečna velikost faset je bila 2–3 cm. Takšne fasete nastanejo v vodnem toku s hitrostjo okrog 1 ms⁻¹ (Curl, 1966; Slabe, 1995). Tudi fasete so kazale, da je bil vodni tok usmerjen proti JV.

OBLIKE, NASTALE ZARADI ZAPOLNITVE ROVA S SEDIMENTI IN S PRSTJO

Kjer se prst ali naplavina stika z apnencem, prihaja do enakomernega vlaženja skale z agresivno vodo. To povzroči ploskovno korozijo, ki poškoduje prejšnje,

v drugačnih pogojih nastale oblike. Takšen način preoblikovanja zajame tudi posamezne skale, ki plavajo v sedimentu.

Na nekaj mestih v rovu je površino skale prekrila siga in tako popolnoma ohranila v jamskih pogojih nastale oblike, medtem ko je korozija v neposredni sosesčini odstranila debelejši ali tanjši sloj kamnine. Na takih mestih sem lahko ocenil obseg korozije od časa, ko je bila jama zapolnjena s sedimentom. Ploskovna korozija je odstranila največ 5 do 30 mm površinskega sloja kamnine s sten jame.

Na več mestih so bili v rovu centri močnejšega vertikalnega prenikanja in z njim povezanega spiranja, kar se je izražalo kot prodor rjave površinske prsti v jamski sediment. Na skali so nastali plitvi vertikalni žlebovi. Skala ni imela belega poprha, značilnega za subkutano korozijo.

V rovu so bile opazne poškodbe sten, ki jih je povzročilo zniževanje zemeljskega površja oziroma približevanje površja in jame. Izrazile so se kot večja gostota korozijsko razširjenih, z rdečo ilovico zapolnjenih razpok v vrhnjem delu sten rova (do okrog 1,5 m pod sedanjim površjem). Stene so bile v tem delu tudi blago nagnjene navzven.



Slika 4: Prečni prerez stalagmita in skale na kateri je rasel. Kapnik je zaščitil skalo pred korozijo, ki je na nezaščitenih mestih odstranila okrog 20 mm debelo plast kamnine. Siga je veliko bolj odporna, raztopila se je le 2 do 3 mm debela plast sige.

Figure 4: Slice of the stalagmite that was buried below the sediments in the unroofed cave. Stalagmite protected the rock on which it is standing from corrosion. On the section we can see that only 2–3 mm of the stalagmite and about 20 mm of the limestone was corroded away.

JAMSKI SEDIMENTI

Jamski rov je bil do vrha zapolnjen s sedimenti in s prstjo. Pri gradnji ceste so sedimente izkopal, kar je omogočilo natančen vpogled v njihovo sestavo.

Granulometrijsko so sedimenti variirali od melja do 25 cm velikih prodnikov. Vzorci so bili analizirani z rentgensko difrakcijsko metodo, narejeni pa so bili tudi mikroskopski zbruski nekaterih sedimentov (Mihevc & Zupan Hajna, 1996). Barvo ilovic in peskov smo določili z Munsellovimi barvnimi tabelami.

Na površju je bila okrog 10 cm debela plast rjave pokarbonatne prsti ali redzine, sledila je 0,5 do 1 m debela plast terra rosse (2,5 YR 3/3). Ta je navzdol prešla v klastične sedimente, ilovice, peske in prode s prevladujočo in značilno rumenorjavo barvo (10 YR 5/6).

V prodni frakciji so prevladovali nekarbonatni prodniki iz flišnega peščenjaka. Največji prodnik je imel daljšo os dolgo 25 cm, največ pa je bilo okrog 5 cm velikih prodnikov. Bili so dobro zaobljeni. Prodniki iz peščenjaka, ki ima karbonatno vezivo, so bili močno prepereli: ko so se posušili, so razpokali in razpadli na manjše kose ali v pesek. Prodniki, tudi največji, so ležali v kremenčevem pesku, ki je verjetno nastal z razpadom dela takih prodnikov.

V prodnih plasteh so bili redki, manjši apnenčasti prodniki, ki so bili prevlečeni s črno patino. Posebnost med prodi so predstavljali močno prepereli, do 20 cm veliki porozni silikatni kamni. Ti kamni so bili zaobljeni, vendar so imeli tudi podobno zaobljene vdolbine, katerih zaobljenost pa ne more biti posledica fluvialnega transporta. Površje kamnov je bilo gladko in prevlečeno s tanko, bleščečo črno prevleko.

Konglomerat je bil najden na enem mestu. Tvoril je bazo okrog 1 m debeli sigovi kopi. Gre za pravi jamski konglomerat, ki je nastal na mestu kapljanja sigotvorne vode in kaže na odlaganje proda in rast sige v istem obdobju. Sestavljali so ga do 15 cm veliki prodniki iz flišnega peščenjaka, med njimi pa so bili tudi prodniki iz apnenca. Delež teh prodnikov pa je bil večji kot v necementiranemrodu, kar kaže na korozijo apnenčevih prodnikov v sedimentu, ki ga ne zaščiti siga.

Peski so se pojavljali v obliki lečastih teles ali lamel v ilovici, med prodi ali samostojno. Prevladujoča barva peskov je bila rumenorjava. V zgornjem delu profila, ob stiku s terra rosso, pa je njihova barva prehajala v enako barvo. Podobno je bilo moč opazovati čiste peske rumenorjave barve (10 YR 5/6), ki so ob steni rova spremenili barvo v rdečerjavo (2,5 YR 4/8), čeprav je šlo nedvomno za sediment iste plasti.

Mineraloška analiza peskov je pokazala precej enako sestavo. Večino so tvorila silikatna zrna (97 % ali več), ostali minerali so bili le v sledih. Zrna so bila slabo zaobljena in se po zaobljenosti niso ločila od zrn peska v prodnikih iz flišnega peščenjaka. Peski so se ločili po barvi, ki pa je izvirala le iz površinske obarvanosti. Rumeno barvo jim je dajal goethit, rdečo pa hematit, minerala, ki sta bila zastopana v sledovih (Mihevc & Zupan-Hajna, 1996).

Pesek nedvomno izvira iz flišnih peščenjakov, nastal pa je z razpadom prodnikov, kar se je zgodilo lahko že med rečnim transportom do jame ali kasneje v sami jami. Različna obarvanost peska izvira iz pogojev sedanjega okolja, v katerem so peski. Eolski izvor zrn ni verjeten, saj sedimentacijsko okolje, prod, siga in ilovica ne kažejo na suho klimo.

Ilovica (meljne gline s primesmi) so bile v jami pomešane s plastmi ali lečami peskov, pa tudi proda. Posebnost ilovic so močno povite varvaste sedimentacijske strukture, kar kaže na intenzivno pregnetenje plastičnih sedimentov v času po odložitvi.

V verjetno podobni, zapolnjeni jami pri Sežani je Habič (1993) pripisal povitost sedimentacijskih struktur pleistocenskim krioturbatnim procesom. V izkopanih profilih v Brezstropi jami pri Povirju iz samih oblik tega ni bilo moč ugotoviti. Povitost struktur je bila prej posledica deformacij, ki so nastale zaradi polzenja ali zmanjšanja prostornine sedimenta po odložitvi v jami.

Prevladujoča barva ilovic je bila v spodnjem delu profila rumenkastorjava (10YR 5/8), v gornjem pa je prešla v rdečo barvo terra rosse, enako pa je spremenila barvo tudi ob stenah rova, tako da je ob steni rumenkastorjava ilovica prešla v pas rdeče ilovice. Glede na mineraloško sestavo med obema vrstama ilovice ni bilo bistvenih razlik. V njej sta prevladovala kremen (nad 90 %) in illit.

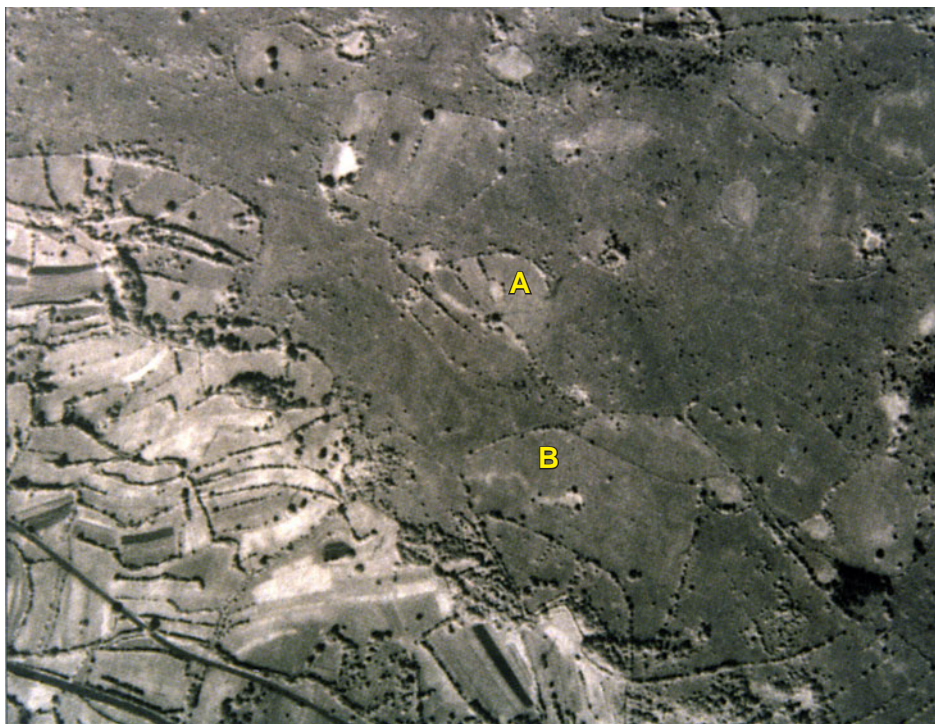
Siga se je v jami ohranila v obliki skorij, masivnih sigovih kop, prosto stoječih stalagmitov, našli pa smo tudi nekaj odlomljenih stalaktitov. Največ



Slika 5: Prodniki flišnega peščenjaka in apnenca so se ohranili le pod večjo sigovo kopo.
Figure 5: Pebbles of limestone and flysch sandstone were preserved only below large flowstone dome.

stare sige je bilo v SZ delu jame. Očitno je bil ta del rova bliže njegovemu nekdanjemu stropu. Tu se je ohranilo nekaj masivnih kop in zaves. V JV delu je v razširitvi rova nastala velika sigova kopa. Njena baza je nastala hkrati z odlaganjem proda. Severno od nje se je v več kot 1 m debelo sigovo plast vrezala stenska zajeda. Ta siga je torej starejša kot zadnja faza oblikovanja sten jame. Vzorec sige s tega mesta je bil datiran z $^{234}\text{Th}/^{230}\text{U}$ metodo, starost sige pa je presegala 350 Ka, kolikor je meja te metode.

V neposredni bližini Brezstropa jame pri Povirju sem na letalskih posnetkih v infrardečem delu spektra identificiral še več vodoravnih jam. Najbližja, ki se je ohranila, leži izven trase novozgrajene avtoceste. Od nje je oddaljena le 150 m. Koordinate njenega jugovzhodnega konca so X-5418300, Y-5062200, površje pa je v nadmorski višini 399 m. Generalna smer jame je 275° , jama pa je dolga 150 m. Na posnetkih se jama odraža kot podolgovat svetlejši pas, ki pomeni debelejšo in toplejšo preperelino oziroma sedimente, v naravi pa z bujnejšo rastjo grmovja, dreves in trave.



Slika 6: Brezstropa jama pri Povirju (A) ter manjša ohranjena denudirana jama (B) na letalskem posnetku (posnetek v infrardečem delu spektra v črno-beli tehniki).

Figure 6: Unroofed cave at Povir (A) and smaller, still existing denuded cave (B) are well expressed on the infra red photograph.

Foto.: Ciklično snemanje Slovenije v merilu 1 : 30000 iz leta 1980; © Geodetska uprava Republike Slovenije. Objava aeroposnetka na podlagi dovoljenja Geodetske uprave republike Slovenije št. 90411-127/2000-2 z dne 15. 5. 2000.



Slika 7: Pogled na ohranjeno denudirano jamo (B) z SZ strani. Denudirana jama je zapolnjena s fluvialnimi jamskimi sedimenti in sigo. Brezstropo jamo prepoznamo kot vijugast pas površja z bujnejšo vegetacijo, ki se izteče v vrtačo- preoblikovano dvorano.

Figure 7: View to the preserved unroofed cave (B). Cave is filled with fluvial cave sediments and flowstone. Cave can be recognised as meandering belt of richer vegetation, that ends in the doline – transformed cave chamber.

Vzhodni del te denudirane jame se začne s 3 m globoko, okroglo vrtačo. Masivne gmote sige v njenem boku pa kažejo, da gre za nekdanji jamski prostor, spremenjen v vrtačo. Genetsko je to nedvomno preoblikovan jamski prostor, vendar ne moremo trditi, da je udornica. Nepoškodovane stene s sigo kažejo na zapolnjeno jamo, katere strop se je stanjšal in končno razkrojil. Del sedimenta iz zapolnjene jame je bil spran v notranjost, morda eolsko odnesen ali pa so ga celo izkopali ljudje. Tako je nastala sedanja depresija oziroma vrtača.

BREZSTROPA JAMA PRI POVIRJU V SPELEOGENETSKEM PROSTORU

Na osnovi oblike sten ter sedimentov lahko rekonstruiramo del razvoja Brezstropne jame pri Povirju. Ohranjeni del jame je ostanek večjega jamskega sistema, ki je prevajal vode ponikalnic s fliša. Skozi jamo je tekla ponikalnica, ki je nosila velike prodnike. Po njihovi velikosti in po velikem deležu prodnikov iz flišnega peščenjaka (Kranjc, 1986, 1989) lahko sklepamo, da ponori niso bili daleč stran. Pretok vode je variiral od nekaj deset l/s do več m³. Smer toka v jami je bila JV.

Danes je najbližji fliš nad dolino Raše. Oddaljen je okrog 5 km, brkinski fliš, ki leži JV, pa je še dlje (7 km). Očitno je bil tedaj fliš še kje bliže jami, verjetno na Divaškem Gabrku, kjer so danes paleogenski apnenci. V času, ko je v jamo še tekla ponikalnica, ga je verjetno še pokrival fliš, ki je v stratigrafskem stolpcu le okrog 100 m više nad ohranjenimi paleogenskimi apnenci.

Med ponori in jamo ni bilo pomembnih ovir. Zunanji vplivi se niso odrazili na oblikovanje kapnikov in sigovih kop. Rast kapnikov je bila večkrat prekinjena s fazami erozije ali zasipavanja. Ena od takih erozijskih faz jame se je odrazila tudi na sigi, katere starost presega 350 Ka. Jamaje bila nato zapolnjena s fluvialnimi sedimenti. Zapolnitev je preprečila nadaljnje zapolnjevanje s sigo, podiranje stropa, pa tudi korozijsko preoblikovanje sten. Konzervirana jama se ni več spreminjala, spreminjala pa se je njena okolica oziroma površje nad jamo.

Jamski strop se je nad zapolnjena jamo stanjšal ter na koncu razkrojil v posamezne bloke. O tem sicer ni dokazov, vendar pa je strop na mestu, kjer je bil še ohranjen, ostal nepoškodovan in ni kazal znakov podiranja, ponekod pa so v vrhnjem delu sedimentne za polnitve jame plavalci posamezni, že močno korodirani kosi apnenca.

Starosti Brezstrove jame pri Povirju zaenkrat še ne moremo natančno določiti, saj močno presega meje običajnih datacijskih metod. Pomagamo si lahko le posredno – z upoštevanjem kraške denudacije. Deževnica ter skozi prst prenikajoča voda izrabita večji del svoje sposobnosti raztapljanja v prvih metrih pod površjem (Gams, 1962). To povzroča ploskovno zniževanje površja nad jamo, v jami, ki jo je zapustil vodni tok ali pa je popolnoma zapolnjena s sedimentom, se ne dogaja nič več. Sčasoma površje doseže jamo in strop jame preprosto izgine.

Gams (1962) je z merjenjem v rekah raztopljenega apnenca in s pretokom rek izračunal, da se površja porečij Ljubljanske, Soče in Krke znižujejo s hitrostjo 1 m v 16,6, 12,0 in 17,2 tisoč letih oziroma, da se je površje v porečjih navedenih rek v milijon letih znižalo za 60, 83 in 58 m. Podobne vrednosti bi morale veljati tudi za porečje Reke oziroma za Kras. Nekaj manjše vrednosti (0,02 mm/l) so pokazale mikrometrške meritve na različnih lokacijah na Krasu (Cucchi & al., 1997). Na osnovi teh meritev denudacije bi se površje na Krasu znižalo za 20 m v milijon letih.

Če predpostavimo, da je jamski rov nastal 50 do 100 m pod površjem krasa in se je površje korozijsko zniževalo z navedeno hitrostjo, je starost jame med 750.000 in 5.000.000 let.

Te starosti se ujemajo z nekaterimi paleomagnetnimi datacijami sedimentov v Divaški jami, Trhlovci in v denudirani jami pri Divači (Bosak & al., 1998). Poplavne ilovice so se v Divaški jami in Trhlovci odložile pred mejo Brunhes/Matuyama oziroma pred 0,73 Ma. Magnetostatigrafska datacija profila iz denudirane jame pri Divači pa je pokazala še večjo starost, najmanj 1,6–1,8 Ma, vendar pa podatki iz tega profila nakazujejo možnost, da je bil sediment odložen že prej, v reverzni Gilbert epohi (3,8–5,0 Ma).

Podobno vrednost je dala tudi analiza sedimentov iz brezstropne jame v kamnolomu pri Črnotičah. V približno 15 m visokem jamskem rovu, zapolnjem z različnimi fluvialnimi sedimenti ter s sigo v vrhnjem delu je bil analiziran del profila, ki je pokazal zaporedje magnetozon, primerljivih z dogodkom Olduvai (1,76–1,79 Ma kot najmlajšo možnostjo (Bosak & al., 1999). Seveda pa so to starosti jamskih zapolnitev, same jame pa so verjetno precej starejše.

Starost Brezstropne jame pri Povirju opredeljuje čas, v katerem se je gladina podzemnih rek spustila od nadmorske višine 400 m na nadmorsko višino 180 m. Reka, ki danes ponika v Škocjanskih jamah v nadmorski višini 317 m, teče skozi Kačno jamo v višinah med 156 in 180 m. Njen skrajni SZ del, Cimermanova dvorana, ki je od Brezstropne jame pri Povirju oddaljena 1200 m, je v nadmorski višini 180 m oziroma 220 m nižje.

V okolici Brezstropne jame pri Povirju lahko torej pričakujemo 220 m globoko vadozno cono, to je cono, kjer prevladuje vertikalno prenikanje, rast brezen ter spiranje sedimentov in prsti navzdol, ki pa očitno ni enakomerno razporejeno, niti zelo intenzivno, saj so v jami ostali še vsi sedimenti. V bližini jame sta nastali dve vrtači. Ena od njih je celo na območju Brezstropne jame. Njen vpliv na jamo je bil minimalen. V delu, kjer je vrtača prerezala starejši rov, je sediment očitno spolzel iz jame v dno vrtače. Vpliv vrtače pa ni segel naprej, kar kaže na minimalno bočno premikanje sedimenta, ki verjetno tudi v hladnih pleistocenskih klimah ni moglo biti zelo veliko ali pa je seveda vrtača mlajša. Če k temu dodamo še debelo rdečo prst v dnu vrtače, lahko ugotovimo, da tudi spiranje prsti skozi dno vrtače ni zelo intenzivno.

DRUGE DENUDIRANE JAME

Veliko število denudiranih jam, odkritih v trasi avtoceste, ni slučajno. Toliško gostoto lahko predvidimo za velik del Krasa. Vendar pa tam nimamo na razpolago velikih izkopov, kjer bi lahko spoznali vse take jame in podrobno proučili značilnosti sten ter sedimentov v njih. Kljub temu pa lahko na nekaterih lokacijah z veliko gotovostjo spoznamo takšne jame oziroma kar je od njih ostalo ter z njihovo pomočjo tudi genetsko opredelimo nastanek nekaterih vrtač ali dolov.

Na Divaškem krasu sem kartiral površje in iskal sledove denudiranih jam. Kriterij za njihovo identifikacijo so velike gmote sige, stalagmiti in stalaktiti, fluvialni alohtoni in avtohtoni sedimenti, nekatere sedimentne strukture ter morfološke značilnosti površja.

V trasi avtoceste sem našel devet, izven trase pa osem večjih brezstropnih jam. Njihova skupna dolžina na površju (v vseh so bili tudi alohtoni sedimenti) je bila 2900 m. V to pa nisem štel niza udornic od dola Jablanc do dola Rebidnik ter številnih majhnih ostankov sig ali drugih sedimentov, ki jih nisem

mogel zadovoljivo opredeliti. Podrobneje sem proučil le večje in morfološko pomembnejše brezstropne jame.

DENUDIRANA JAMA V LIPOVIH DOLINAH

Ledinsko ime Lipove doline, tudi Lipje jame, označuje vrtačasto površje južno od Dolnjih Ležeč. V njih so za potrebe kovačev in livarjev kopali kremenčev pesek. V eni od dolin so izkopali več sto kubičnih metrov peska in drugih sedimentov in v izkopu razgalili na več mestih masivne sige. Med sigo izstopa več metrov visok in širok stalagmit, ki stoji na dnu izkopne jame sredi vrtače. Kapnik ter sedimente je opisal Pleničar (1954).

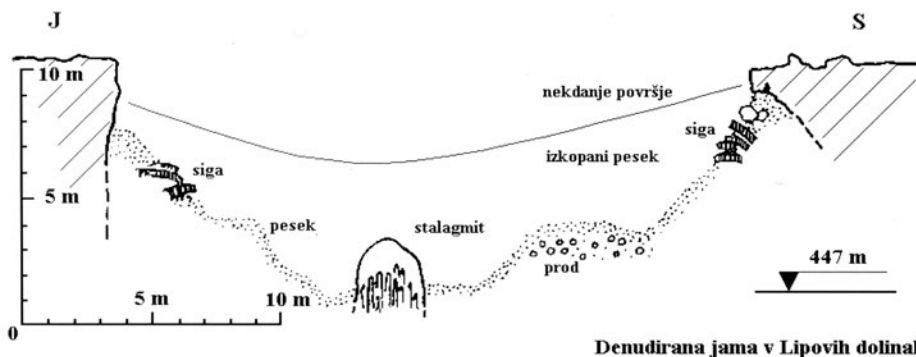
Sediment, v katerem je prevladoval spran kremenčev pesek, je pripisal razpadu flišnega peščenjaka. Kemijska analiza sedimenta je pokazala 75% kremenca, 15% mineralov glin in železovih oksidov, ostanek pa sta predstavljala

v glavnem kalcijev in magnezijev karbonat. V sedimentu je opazil navzkrižno sedimentacijo, prodnike iz flišnega peščenjaka in v lutke sprijete peske. Nahajališče je opisal kot nekdanjo manjšo jamo, ki je bila prav blizu površja, sediment pa je primerjal s sedimentom s konca Zgornjega rova v Dimnicah. Na karti kraških oblik je Radinja (1967)



Slika 8: Pogled na veliki stalagmit v izkopanem zahodnem delu denudirane jame v Lipovih dolinah. Stalagmit so odkrili pri kopanju kremenčevega peska.

Figure 8: View to the large stalagmite in the W part of the unroofed cave in the levelled surface of Lipove doline. Stalagmite was unearthed during quarrying of the quartz sand.



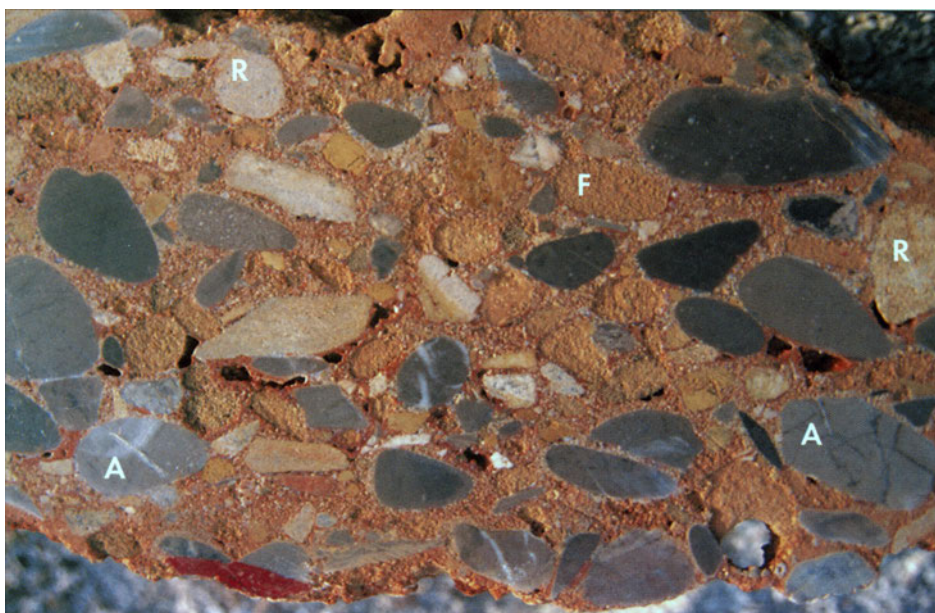
Denudirana jama v Lipovih dolinah

Slika 9: Prerez denudirane jame v Lipovih dolinah na mestu, kjer so kopali vrnik- kremenčev pesek in pri tem razgalili star stalagmit.

Figure 9: Cross section of the denuded cave in Lipove doline on the place of the quartz sand dig and where the large stalagmite was uncover.

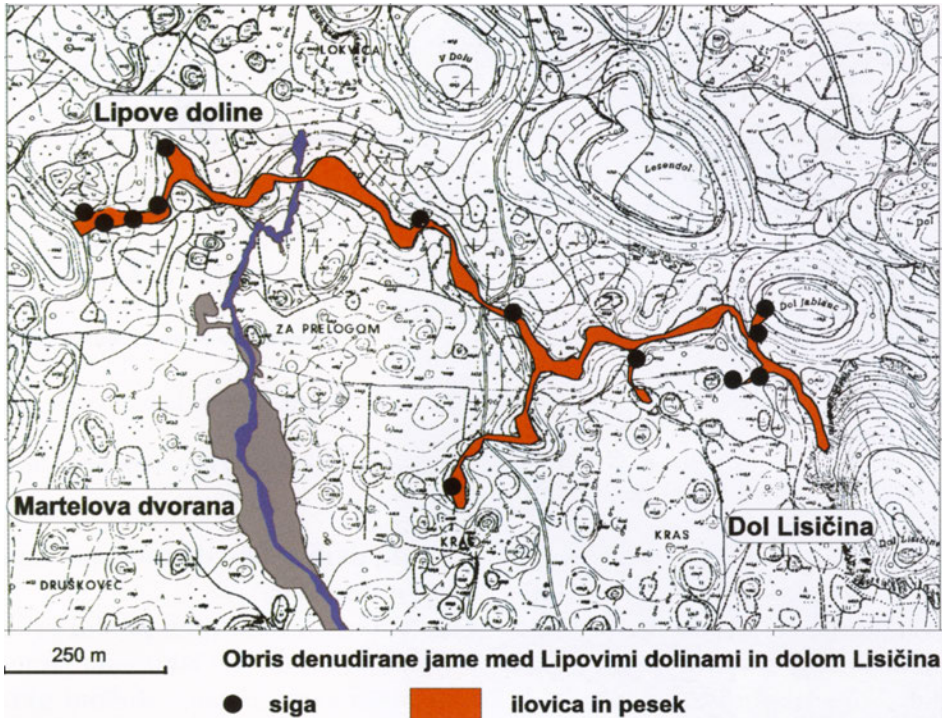
to vrtačo v Lipovih dolinah in veliko denudirano jamo, ki se iz nje nadaljuje, označil kot dolg, izrazit niz vrtač.

Izmeril sem dimenzije izkopanega dela jame, izdelal njen prečni prerez in s pomočjo kartiranja okoliškega površja ugotovil, da je izkopana jama le del velike denudirane jame, ki ji lahko sledimo po površju v dolžini okrog



Slika 10: Jamski konglomerat iz jame v Lipovih dolinah. Grade ga apnenčevi prodniki (A), prodniki flišnega peščenjaka (F) in prodniki pisanega roženca (R).

Figure 10: Cave conglomerate from the unroofed cave in Lipove doline. Limestone pebbles (A), pebbles of the flysch sandstone (F) and pebbles of coloured chert (R).



Slika 11: Izrez iz topografske karte z vrisanimi nahajališči sige, alogeničnih sedimentov ter verjetni obseg denudirane jame.

Figure 11: Topographic map with position of the flowstone, allogenic sediments and possible extension of the unroofed cave.

1800 m. V tej dolžini namreč najdemo na površju velike bloke sige in rumenorjave nekarbonatne peščene ilovice ter prod pisanega roženca. Jama se konča oziroma obvisi nad Lisičnim dolom.

Največ podatkov o denudirani jami nudi izkop v vrtači v Lipovih dolinah, to je v zahodnem delu denudirane jame. Tu je jama najlepše ohranjena. Gornji rob vrtače oziroma izkopa s kapnikom je v nadmorski višini 456 m, kapnik pa v nadmorski višini 447 m. Ob severnem robu je ohranjen še del stropa v obliki spodmola in sige, ki pokriva druge fluvialne sedimente.

Proti vzhodu se iz izkopanega dela jame v Lipovih dolinah nadaljuje v nadmorski višini okrog 450 m morfološko zelo izrazit, 1800 m dolg niz podolgovatih, razpotegnjenim vrtačam podobnih depresij, ki prehajajo ena v drugo brez vmesnih višjih pragov. Nekatere depresije so okrogle, večina pa je podolgovatih. Daljšo os depresije imajo nekajkrat večjo kot je njihova širina. Ponekod je niz podoben pravemu jarku, drugod bolj nizu vrtač. Dno depresij je vseskozi okrog 5 do 10 m pod višino ostalega površja, depresije pa so široke 30 do 40 m. V depresijah najdemo prod pisanega roženca ter rumenorjave peščene ilovice, ponekod tudi masivne sige. Na nekaterih mestih najdemo

veliko sige vgrajene v suhe zidove, ne najdemo pa mesta, od koder je bila siga izkopana.

Na več mestih se rov denudirane jame razcepi. Tudi v teh »stranskih rovih« najdemo sigo in alohtone fluvialne sedimente. En krak denudirane jame se spusti v dol Jablanc, kjer se izgubi, drugi pa se konča nad dolom Lisična.

V izkopanem delu denudirane jame, pri velikem kapniku, izkop ni dosegel dna in obeh sten jame, zato o obliki in nastanku rova ne moremo povedati nič določenega. Nedvomno pa je šlo za jamo, ki je imela rov v nadmorski višini med 435 in 450 m. Po dimenzijah bi bila lahko jama podobna rovom Škočjanskih jam, saj je bil rov verjetno mestoma širok več kot 20 m. Po masivnem kapniku sodeč je bil strop nad jamo takrat, ko se je v njej odlagala siga, debel vsaj nekaj deset metrov oziroma v nadmorski višini vsaj 500 m. Odloženo siga je nato zasul alogeni vodni tok s fluvialnimi sedimenti, prodrom iz flišnega peščenjaka, pisanega roženca, apnenca in s peskom.

Prodi in peski so bili nedvomno odloženi v jami, saj se je ponekod preko njih sproti odlagala siga in povezala prodnike v konglomerat. Le v konglomeratu so se ohranili tudi apnenčevi prodniki in prodniki flišnega peščenjaka. Prodniki iz krednih in paleogenskih apnenecv so veliki do 5 cm ter so slabo zaobljeni. Izvirajo iz okoliškega apnenca. Flišni prodniki so dobro zaobljeni, vendar so tudi v konglomeratu močno prepereli. Dobro so zaobljeni tudi pro-



Slika 12: Skala na jamskih sedimentih – možni ostanek stropa denudirane jame v Lipovih dolinah.

Figure 12: Lose rock on the cave sediments – possible remain of the ceiling of the unroofed cave in Lipove doline.

dniki pisanega roženca. Veliki so do 5 cm, njihova zaobljenost pa je nastala verjetno že v času sedimentacije fliša, iz katerega izvirajo. Take prodnike najdemo tudi v peščenih sedimentih v denudirani jami, kjer so se ohranili zaradi večje odpornosti proti preperevanju. Največ pa je v denudirani jami kremenčevega peska, vrnika. V jamo je bil prinesen s ponikalnico, del peskov pa je nastal kasneje, s preperevanjem prodnikov iz flišnega peščenjaka.

Večji del denudirane jame v Lipovih dolinah leži SV od Škocjanskih jam. V severnem delu Škocjanskih jam, ki ležijo v nadmorski višini 214 m, pa jih celo prečka. Kljub temu vpliva spodaj ležečih jamskih rogov na površju ni čutiti. Sedimenti so v denudirani jami dobro ohranjeni. V njenem dnu ni grezov, ki bi kazali na močnejše spiranje sedimentov navzdol v spodaj ležeče Škocjanske jame. Po zelo grobi oceni je v denudirani jami še sedaj ohranjenih okrog 45.000 m³ jamskih sedimentov.

DENUDIRANA JAMA NA LEDINI GRINTAVCA

Manjša denudirana jama na ledini Grintavca nad dolom Rebidnik leži na nadmorski višini okrog 445 m, 650 m severno od denudirane jame v Lipovih dolinah.

Jama je bila odkopana pri gradbenih delih za avtocesto v dolžini okrog 50 m, del jame, ki leži tik nad Rebidnikom, pa se je ohranil. Izkopani del jame je predstavljal do 8 m širok rov. Pri delih so razgalili stene rova, dna pa do globine izkopa okrog 6 m niso dosegli. V rovu so se odložile plasti kremenovega peska in proda pisanega roženca, preko njih pa pasovite ilovice. Barva ilovice je v gornjem delu prešla iz rumenorjave v rdečerjavo, preko nje pa je bila odložena okrog 1 m debela plast sige. Nad njo je bila že rjava pokarbonatna prst oziroma površje v nadmorski višini okrog 750 m. Prodniki roženca so bili dobro zaobljeni ter veliki do 3 cm.

Podobne prode pisanega roženca je mogoče najti tudi v dnu dola Rebidnik. Prod iz roženca je v tem dolu opisal že Radinja (1967). Menil je, da ga je odložila površinsko tekoča Reka in da je bil prod v dol Rebidnik, kjer se je ohranil, spran kasneje. Ker pa je dno dola v nadmorski višini 431 m, je verjetneje, da izvira prod iz denudirane jame na ledini Grintavca.

DENUDIRANI JAMI NAD DOLOM JABLANC PRI GRADIŠČU

Severno od dola jablanc ležita dve, v reliefu dobro izraženi brezstropi jami. 200 m dolga denudirana jama nad Jablancem je ohranjena v obliki nekaj m globokega jarka, ki se začne v nadmorski višini 470 m, na najvišjem delu površja SZ od Gradišča. Jama je v vrhnjem delu široka okrog 5 m. Poteka proti JZ ter se široko odpre in obvisi nad severnim pobočjem Jablanca v nadmorski višini 455 m. Denudirana jama je v reliefu izražena kot plitev, nekaj metrov

globok jarek, ki se navzdol po pobočju nekoliko razširi. Sedimenti so iz jame verjetno spolzeli navzdol v dol Jablanc. V dnu tega jarka najdemo prodnike iz pisanega roženca. Sige so se ohranile le na južnem robu denudirane jame, vendar jih najdemo le v sekundarni legi – zložene so v suhih zidovih in škarpah. Okrog 50 m severozahodno od denudirane jame leži druga jama podobnih dimenzij. Morfološko je izražena v reliefu površja kot nekoliko vijugast jarek. Jama se s slemena v nadmorski višini 470 m spusti proti severu do dola Krnica, od tu dalje pa ji po površju ne moremo več slediti. Ti dve jami sta najviše ležeči denudirani jami na tem delu Divaškega krasa.

DENUDIRANA JAMA V RADVANJU

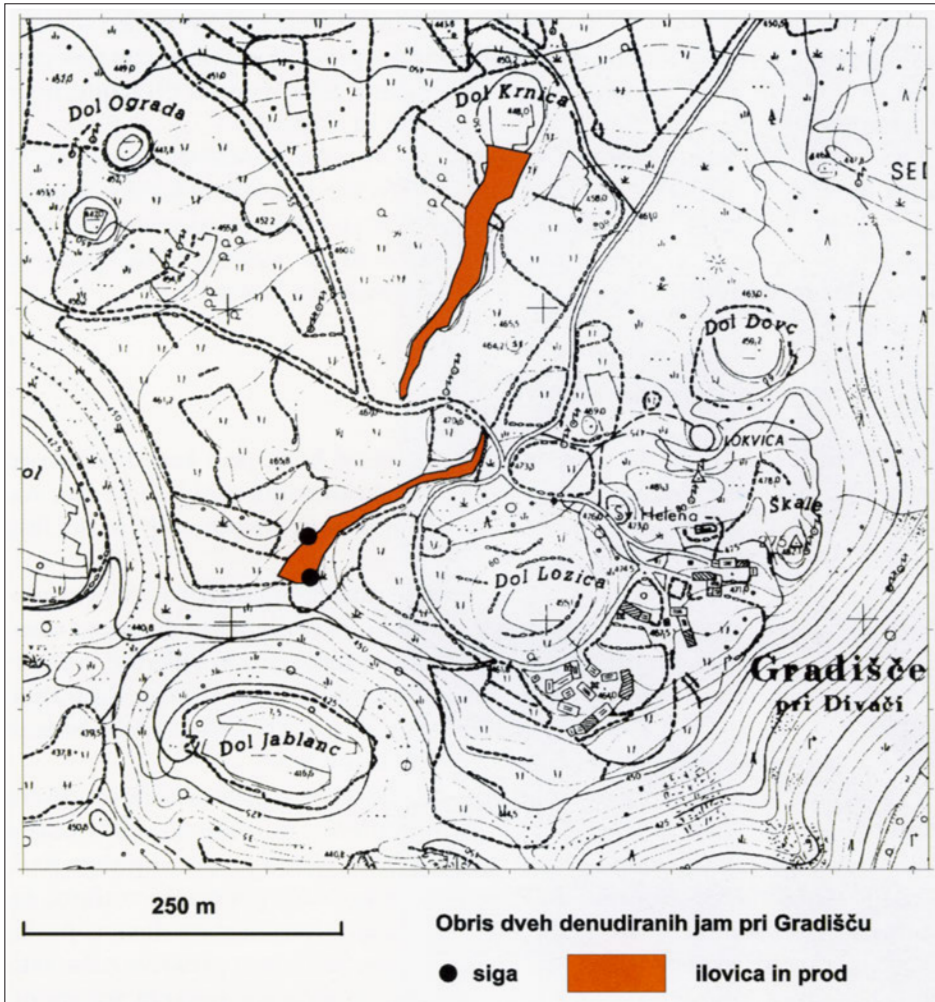
Oblika in dolžina denudirane jame je odvisna od kota, pod katerim površje prereže jamski rov. Če denudacija površja razkrije vodoravni jamski rov, nastane podolgovata oblika. Če je kot med površjem in rovom večji, je dolžina denudirane jame na površju manjša.

Take jame so v prerezu manj očitne, saj je razgaljena površina rova krajša. Pogosto v takem primeru sploh ne moremo z gotovostjo trditi, da gre za staro vodoravno jamo, saj je lahko denudirana jama nastala iz vertikalne votline. Tak primer je denudirani jamski rov v pobočju dola Gorenjskega Radvanja, kjer šele na osnovi nekarbonatnih sedimentov in v isti višini ležeče bližnje Divaške jame lahko sklepamo, da gre za vodoraven rov.

Radvanj je velik dol z dvojnim dnom. Nastal je v plastovitem krednem apnencu sežanske formacije. Gornji rob dola leži v nadmorski višini okrog 430 m, dno pa v višini 363 in 381 m. V zahodnem pobočju Gorenjskega Radvanja je v nadmorski višini med 390 in 415 m pobočje prerezalo votlino, zapolnjeno z jamskimi sedimenti. Sedimente tvorijo rumenorjave ilovice, peski, prodniki raznobarvnega roženca in masivne sige. Sediment prekriva ruša, zato oblike in dimenzije votline, ki jo zapolnjuje, ni mogoče povsem natančno določiti. Na osnovi na pobočju razprostranjenih fluvialnih sedimentov in sig lahko sklepamo, da je bila denudirana votlina vsaj 20 m širok in približno 15 m visok rov. Po dimenzijah, tipu sedimentov in smeri, pa je ta denudirana jama najverjetneje nadaljevanje severovzhodnega kraka Divaške jame.

Vhod v Divaško jamo leži 400 m JZ od sedimenta v Radvanju, v nadmorski višini 426 m. Že na vhodu lahko opazimo masivne sige, ki segajo danes prav na površje. V jami je v nadmorski višini od 356 do 390 m odložena rumenorjava in preko nje rdeča ilovica (Gospodarič, 1985), pa tudi več generacij masivne sige. Jamo predstavlja velik rov, ki poteka od vhoda 600 m v smeri proti JZ. Po Gospodariču naj bi se rumenorjava ilovica odložila v mindelski ledeni dobi, rdeča ilovica pa naj bi bila terra rossa, sprana s površja v jamo v topli mindel-riški medledeni dobi.

Od vhoda proti SV pa je nadaljevanje Divaške jame zasuto. Toda v vhodnem delu jame se vidi, da se rov v tej smeri nadaljuje, vendar so ga popol-

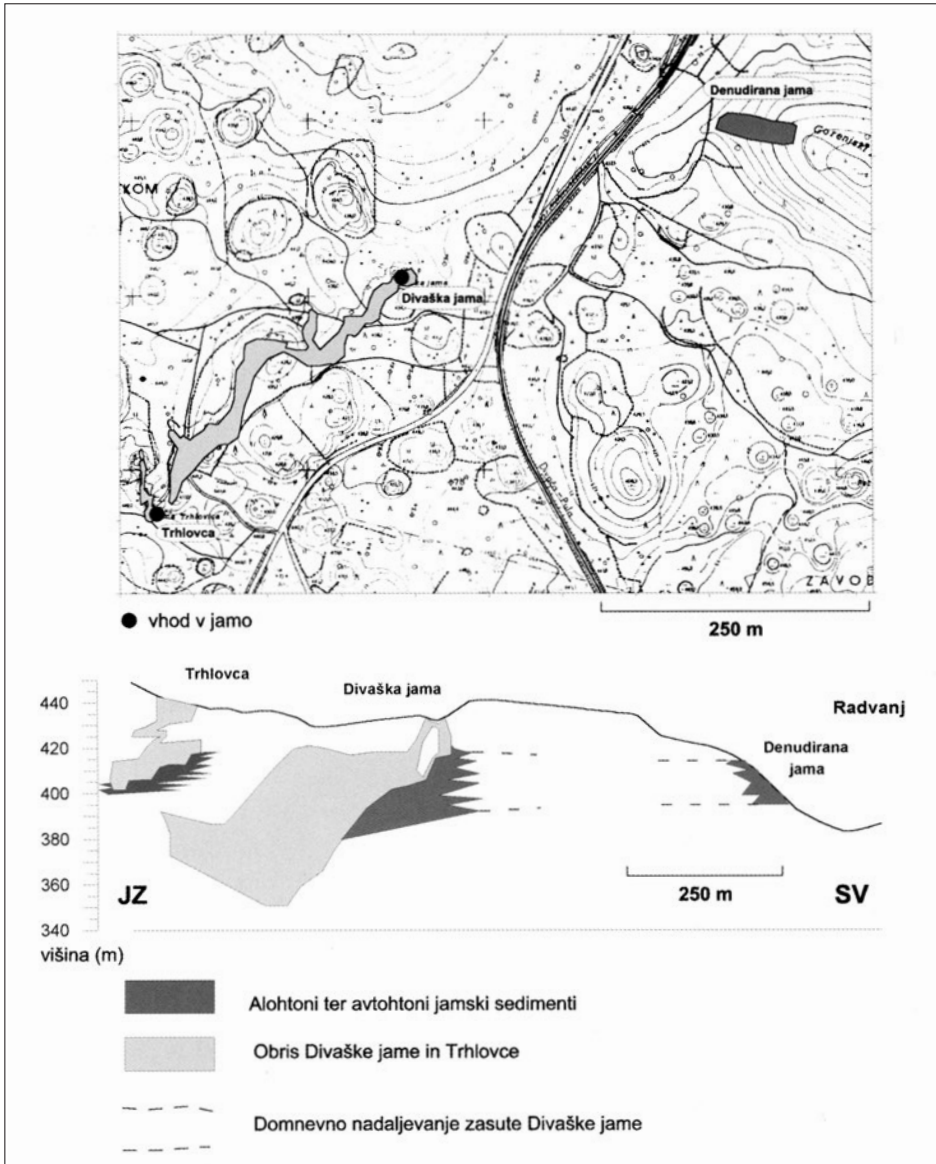


Slika 13: Verjetni obseg dveh denudiranih jam pri Gradišču. Vrisan je obseg rova oziroma proda in sige na območju obeh jam.

Figure 13: Possible unroofed caves on Gradišče hill. Outline of two caves expressed in morphology of relief and some pebbles and flowstone.

noma zapolnili podobni sedimenti, kot jih najdemo v ostalem delu Divaške jame. V enaki smeri, kot jo ima jama, pa je 400 m SV od vhoda, v enaki višini kot v denudirani jami v Radvanju, razgaljen podoben sediment. Velika bližina, podobna dimenzija rova in tip sedimenta kažejo na veliko verjetnost, da je denudirana jama v Radvanju nadaljevanje Divaške jame.

Nad jugozahodnim delom Divaške jame leži jama Trhlovca. Glavni del jame je krajši meandrasti rov v nadmorski višini 404 m. Večji del jame je zapolnjen s sedimenti (Gospodarič, 1985), kot so pasovite rumenorjave ilovice z



Slika 14: Divaška jama in brezstropa jama v s sedimenti zapolnjeni brezstropi jami v dolu Radvanj.

Figure 14: Divača cave and filled unroofed cave exposed in the slope of the doline Radvanj.

laminami peska, preko njih pa je ponekod še odložena debela siga. Na stenah rova so se ohranile fasete in stenske zajede, ki so nastale v času, ko so v jami še vladale freaticne razmere. Dimenzije rova, predvsem njegova širina, tip sedimentov in nadmorska višina močno spominjajo na Brezstropo jamo pri Povirju.

Z veliko verjetnostjo lahko trdimo, da podobni sedimenti in enaka nadmorska višina ter bližina postavljajo Trhlovco, Divaško jamo, zasuti rov v Radvanju in Brezstropo jamo pri Povirju v isti časovni okvir.

NEKARBONATNI PESKI IN PRODI NA DIVAŠKEM KRASU

Najdbe kremenčevih peskov, prodiv in ilovic so bile na Krasu že večkrat opisane. O kremenovih peskih poročajo Pleničar (1954), D'Ambrosi (1965), Habič (1992), Radinja (1967, 1972) in drugi.

Podobni sedimenti, kakršni so bili najdeni v Brezstropi jami pri Povirju, so bili ob gradnji avtoceste najdeni še v drugih brezstropih jamah. Največje denudirane jame so bile odkopane na ledini Grintavca med Češnjavcem in Dolom Rebidnik, v več jamah v Divaškem hribu, med Povirjem in Žirjami, v treh velikih brezstropih jamah med tunelom pod Taborom (484 m) in državno mejo.

Pri sedimentih, v vseh primerih je šlo za jamske sedimente, se je pokazalo nekaj izrazitih skupnih potez, pa tudi nekaj razlik, ki so posledica individualnega razvoja vsake jame.

Skupna poteza sedimentov je značilna barva. Večja telesa sedimenta, tako ilovnatega ali peščenega, imajo rumenorjavo barvo, ki ob robovih, ob stiku s steno, tik pod površjem in v conah vertikalnega spiranja prehaja v rdečo. Na teh mestih se tudi nekoliko spremeni mineralna sestava sedimenta, manj je mineralov, ki izvirajo iz fliša, na primer biotita, in več hematita, kar priča o migraciji snovi s površja ali oksidaciji (Mihevc & Zupan-Hajna, 1996).

Ilovice so pasovite, a močno pregnetene. V mineralni sestavi v peskih in glinah prevladuje kremen, ki ima očitno izvor v flišnih kamninah. Prodnike iz flišnega peščenjaka in oblice iz roženca smo našli v Brezstropi jami pri Povirju. Flišni prodniki so tudi v blokkih konglomerata v jami v Lipovih dolinah.

V jamah med Divaškim hribom in na Grintavci, pa so prodniki iz pisanega roženca, premera do 2 cm, kakršnih v Brezstropi jami pri Povirju ni bilo. Prodniki iz pisanega roženca so bili tudi v denudiranih jamah pri Gradišču in v denudirani jami v Lipovih dolinah. Te razlike v sestavi se zdijo pomembne, vendar zaenkrat ni na voljo dovolj podatkov za bolj podrobno analizo njihove razprostranjenosti.

Izrazite razlike pa so v odsotnosti sige, podornih skal ali ostrorobega grušča na alohtonih sedimentih, kar kaže, kako so se posamezne jame odprle na površje. Večina opazovanih jam je prešla iz jame v površinsko reliefno obliko brez izrazitejše faze podiranja.

V Brezstropi jami pri Povirju so bile sige, odložene v jami pred in med sedimentacijskim ciklusom fluvialnih sedimentov. V jamah med Divaškim hribom in Grintavco so bili med bloke konglomerata pisanega roženca pomešani apnenčasti gruščci in večji podorni bloki. Primarne lege tega sedimenta in točnih oblik jame pa ni bilo več mogoče ugotoviti. V velikem profilu brezstrove jame v Divaškem hribu so bile vidne le povite plasti peska in ilovice.

V denudirani jami na Grintavci, med doloma Rebidnik in Češnjavec, je bila nad menjavo plasti peska in roženčevega proda odložena debela plast pasovitih ilovic. Barva te ilovice je v gornjem delu prešla iz rumenorjave v rdečerjavo, preko nje je bila odložena še približno 1 m debela plast sige, nad njo pa je nastala rjava pokarbonatna prst.

POMEN DENUDIRANIH JAM ZA RAZUMEVANJE SPELEOGENEZE ŠKOCJANSKEGA KRASA

Kljub temu da so denudirane jame na Krasu pogost in izrazit morfološki pojav, so bile v morfološkem in speleološkem proučevanju Krasa spregledane. Sedimente v njih, predvsem s fliša izvirajoče kremenove peske in roženčeve prodnike, so raziskovalci pripisovali površinskim rekam, ki naj bi v predkraški fazi tekle po površju. Reke so nato začele postopno skrajševati svoj tok preko Krasa. Zadnji ostanek teh predkraških rek pa so sedanje ponikalnice ob njegovem robu. Sedimenti, ki so jih prinašale s flišnega obrobja, naj bi bili sprva odloženi na površju, kasneje pa le lokalno preneseni oziroma sprani v različne kraške kotanje, korozijsko razširjene špranje ali jame.

Morfološko izpričane in s fluvialnimi sedimenti, odloženih v freatičnih ali epifreaticnih pogojih ter s sigo zapolnjene velike denudirane jame pa kažejo, da je razvoj krasa veliko daljši in bolj zapleten proces. Potrebni je bilo več milijonov let, preden jih je denudacija razgalila na površje. Ker so denudirane jame najstarejše reliefne oblike v površju krasa – površje je mlajše oziroma recentno – njihov pojav na površini izključuje obstoj reliefnih oblik, suhих dolin ali uravnav, podedovanih iz predkraškega fluvialnega reliefa.

S speleološko analizo večjega števila odkopanih brezstropih jam in s kartiranjem površja smo lahko spoznali nekatere pojave med zniževanjem kraškega površja ter speleogenetskim preoblikovanjem jam.

Z denudiranjem površja nad s fluvialnimi ali drugimi sedimenti zapolnjenimi horizontalnimi deli jam so nastale brezstropne jame, ki se v površinskem reliefu izražajo kot podolgovati jarki ali nizi podolgovatih vrtač. Ponekod pa morfološko sploh niso bile izražene. Identificirali smo jih lahko le kot podolgovate pasove v jamskih pogojih odloženih sedimentov. Površinska oblika brezstropne jame pa je seveda odvisna od oblike jame ter kota, pod katerim jo sedanje površje prereže. Pomembno vpliva na obliko na površju tudi polnilo nekdanje jame. Brezstropne jame te vrste so Jama v Lipovih dolinah, Brezstropna jama pri Povirju, pa tudi denudirana jama v Radvanju.

Nezapolnjene jame, ki jih doseže epikraška cona se spremenijo v denudirano jamo drugače, bolj z rušenjem stropa, z nastajanjem oken v njem ali s postopnim premikanjem vhoda, če se le-ta odpira na pobočju. Take oblike je npr. vhod v Divaško jamo.

Pojav denudiranih jam na površju krasa pomeni, da je kraška denudacija veliko hitrejša kot podiranje rovov. Veliki podori v jamah in z njimi povezane velike udornice so omejeni le na določene cone, torej so strukturno pogojeni. Ostali deli jam se zrušijo šele, ko jih »dohiti« denudacijska fronta oziroma spodnji del epikraške cone.

V primeru Divaške jame, Trhlovice, denudirane jame v Radvanju ali pa jame in Dola Bestažovca vidimo, da lahko na istem prostoru, v enakih nadmorskih višinah nastopajo jame in denudirane jame, ki so očitno enake starosti. Vendar pa je ene od njih že dosegla denudacijska fronta in so se spremenile v površinske reliefne oblike (jarke, vrtače ipd.), druge pa so ostale jame, kakršne so predmet običajnega speleološkega proučevanja.

Poglavitni dejavnik, ki je povzročil odprtje denudiranih jam na površje, ni podiranje stropa, ampak denudacija. Jame so nastale globoko pod površjem, potem pa se je površje jamam približalo. Ob popustitvi oboka nad tako jamo je seveda v končni fazi razvoja prišlo do udara, vendar pa moramo tako razkranje stropa ločiti od podiranja, ko se neka, globoko pod površjem ležeča votlina s podiranjem odpre na površje. Na ta način lahko genetsko ločimo udornice oziroma udorne vrtače od vrtač, nastalih zaradi denudacije podzemnih kraških oblik.

Zaradi denudacijskega zniževanja površja ali zaradi preoblikovanja jam se lahko speleološki pojavi odražajo kot tri ločene morfološke kategorije površja:

- denudirane jame, ki so nastale zaradi denudacije površja, ki je razkrojila kamnino nad jamo; prazna ali s sedimenti zapolnjena votlina se je ob stiku s površjem preoblikovala, vendar pa je bila večina kamninske mase nove reliefne oblike odnesena že prej s speleogenetskimi procesi, udiranje oziroma rušenje stropa pa manj pomembno.
- jamski vhodi, ki so prerez jame ter denudacijskega površja; običajno jih obravnavamo kot del jame.
- udornice ali udorne vrtače, ki so tiste depresijske oblike na krasu, kjer je bil odločilni vzrok za njihov nastanek podiranje podzemnih votlin.

Slika 15: Odpiranja vodoravne jame na površje zaradi kraške denudacije.

A: Jama je še globoko pod površjem. V njej se odlaga siga.

B: Površje se približa jami, odprejo se vhodi v jamo, rast sig se pospeši. V njej se odlagajo predvsem podorni bloki in sedimenti s površja.

C: Površje je doseglo jamo, s podiranjem in krušenjem nastane udornica, jamski vhod se premika. Od jame ostanejo le podorni avtohtoni sedimenti.

Legenda: 1 apnenec, 2 podorni bloki in grušč, 3 siga in kapniki.

Figure 15: Opening of the horizontal cave passage to surface because of surface lowering.

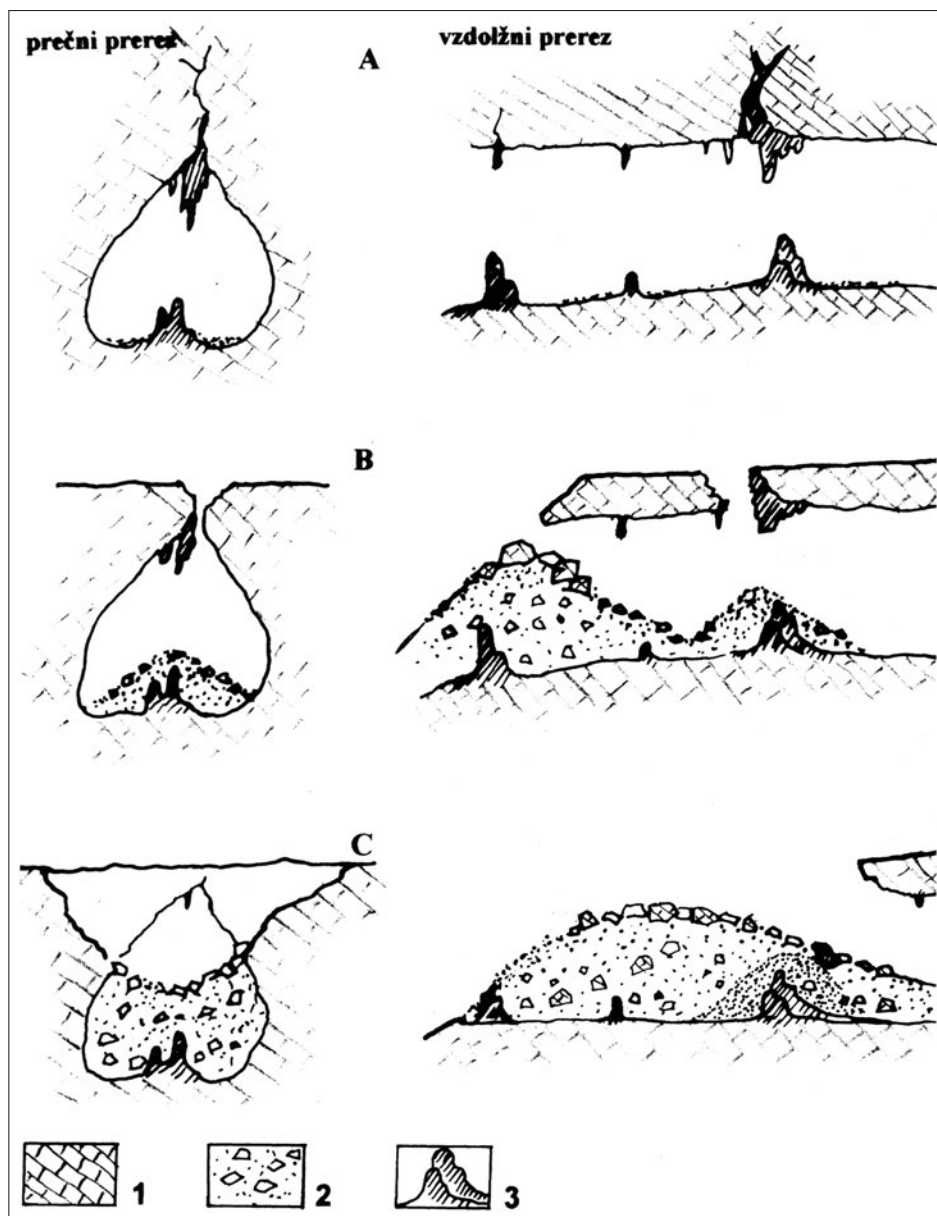
A: Non active cave is still deep below the surface. Flowstone deposition.

B: Surface reached the cave and some entrances opened. Collapse boulders and local surface sediments are deposited near the entrances.

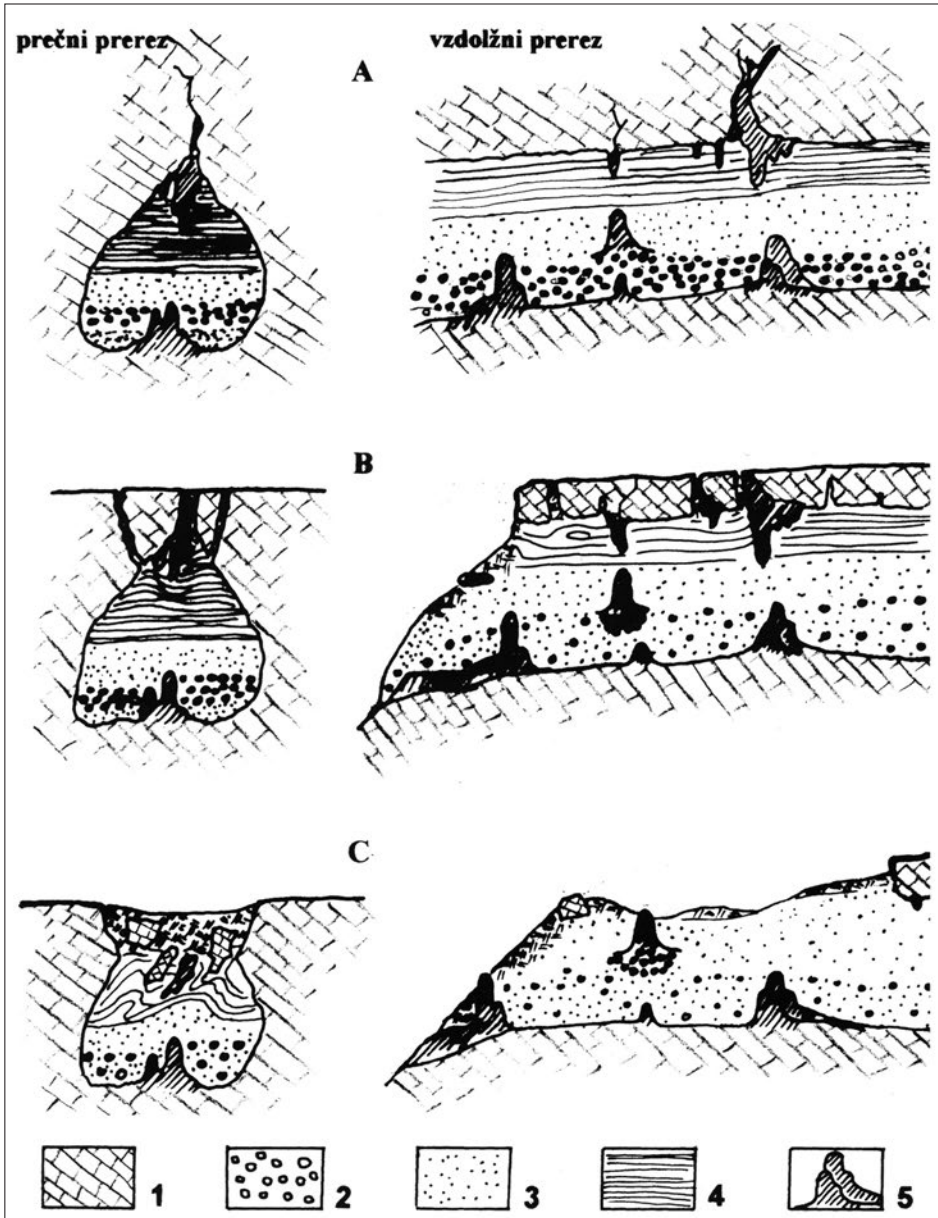
C: Destruction of the cave continues. Row of collapse dolines forms, cave entrance moves. Collapse boulders and few flowstone remains.

Legend: 1 limestone, 2 boulders, rubble, 3 speleothems.

Pomembne informacije o morfogenezi Krasa nam nudijo sedimenti iz brezstropih jam. V izkopanih denudiranih jamah so se na več mestih popolnoma ohranile drobne korozijske oblike oziroma skalni relief, ki priča o zadnjih procesih v rovih, preden so bili ti zapolnjeni s sedimenti. Ohranile so se fasetirane stene in drobne sigove oblike. To govori o minimalni vodni količini, ki je med sedimentom in steno lahko korodirala prvotno površino



skale. Na nekaterih mestih pa se je vzpostavila učinkovita vertikalna drenaža, ki je bila v profilih izražena kot podaljšana humusna ali rdečkasta površinska plast prsti, ki je segala navzdol v jamske sedimente. V vseh primerih, ki sem jih lahko opazoval, je bilo to ob boku zasutega rova ali celo poleg jame, kar dokazuje, da je okoliški apnenec lažje prepusten kot jamski sediment v denudirani jami.



Tako lahko tudi razložimo, zakaj je vertikalno spiranje sedimentov iz brezstropih jam v kraško podzemlje relativno skromno. V skupni dolžini 2900 m nizov depresij, vrtač oziroma ostankov denudiranih jam, ki sem jih lahko identificiral s pomočjo sig in sedimentov, nisem nikjer opazil grezov v sedimentih. Kljub različni debelini, od nekaj metrov do verjetno preko 10 m, v teh sedimentih ni prišlo do intenzivnega recentnega spiranja v podzemlje. Zanimivo je, da sedimenti, ki zapolnjujejo denudirane jame, niso spolzeli iz njih v večji meri. Tako na primer denudirana jama v Radvanju ali jama nad dolom Bestažovca v reliefu nista zaznavni. Tudi v dveh brezstropih jamah pri Gradišču, ki ležita na nagnjenem površju, je v jamah ostalo še veliko sedimenta. Očitno polzenje sedimenta iz brezstropih jam v sedanji ter v hladnih pleistocenskih klimah v tem delu Krasa ni pomemben dejavnik.

Slika 16: Preoblikovanje vodoravne, s sedimenti zapolnjene jame v površinsko reliefno obliko.

- A: Jama je še globoko pod površjem, v njej se odlagajo alohtoni in avtohtoni sedimenti.
B: Površje se približa jami, pobočje jamo prereže.
C: Denudacija popolnoma odstrani strop nad nekdanjo jamo. Število prodnikov v sedimentu se zmanjša, karbonatni prodniki se ohranijo le, če so zaščiteni s sigo. Sedimenti se začno spirati v kras. Stare jamske oblike se pojavijo na površju.
Legenda: 1 apnenec, 2 prod, 3 pesek, 4 laminirana ilovica, 5 siga in kapniki.

Figure 16: Transformation of the horizontal, filled cave passage to surface relief feature because of surface lowering.

- A: Cave is deep below surface, allochthonous and autochthonous sediment are deposited in it.
B: Surface comes near the filled cave. Slopes can cut such a caves.
C: Surface reached the cave and roof of the cave is completely dissolved. No collapsing occur. Sediment start to change, carbonate pebbles are preserved only below speleothems, sediments can be partly washed into the karst. Old cave features are exposed on the surface.
Legend: 1 limestone, 2 pebbles, 3 sand, 4 laminated loam, 5 speleothems.*

BESTAŽOVCA – PRIMER SPELEOGENEZE

Med Lipiškim ravnikom in podoljem, ki se od Divače (n. v. 435 m) spušča proti SZ, leži višji relief Taborskih Gričev. Med kopastimi vrhovi Velikega Zidovnika (575 m) nad Sežano, Starega tabora (603 m), Strmca (593 m) in Gabričja (521 m) nad Divačo je še niz nižjih vrhov. Med njimi so tri, proti severovzhodu odprte večje plitve depresije v nadmorski višini med 400 in 450 m. Jugozahodni rob Taborskih gričev je manj razčlenjen in se z višine okrog 500 m spušča v enakomernih neprekinjenih pobočjih v Lipiški ravniki.

V Taborskem gričevju je znanih veliko jam, posebno pozornost pa zaslužijo vodoravne jame, ki so v nadmorski višini okrog 500 m. Te jame so najvišje ležeče znane vodoravne jame na Krasu. Med njimi je največja jama Bestažovca. Iz njene lege in odnosov do sosednjih jam ter udornic lahko razberemo nekatere pogoje speleogeneze tega področja. V jami sem proučil le tiste morfološke značilnosti, ki omogočajo razložiti speleogenezo jame in okoliškega površja.

MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI TER GEOLOŠKA ZGRADBA OKOLICE JAME

Vhod v jamo Bestažovca leži v nadmorski višini 483 m, na grebenu z značilnim imenom Hrbec, ki se v nadmorski višini okrog 500 m vleče od Zidovnika proti Širokemu vrhu (517 m). Prav v njegovi sredini je pod Zidovnikom nastal 200 do 300 m širok dol Lipovnik, v nadaljevanju grebena pa še 70 m širok in do 25 m globok dol. Ob južnem robu dola so navpične, 20 m visoke stene in Perkova pečina. V nadaljevanju se greben spusti pod nadmorsko višino 500 m. Nerazčlenjeno površje se spušča pod kotom okrog 10° proti SV in JZ. Vhod v jamo Bestažovca leži okrog 150 m zahodno od grebena. Pod jamo, v nadmorski višini okrog 475 m, se naklon pobočja poveča na 15 do 20°. V tem pregibu pobočja 40 m zahodno od jame, se začenja rob dola Bestažovca, katerega dno je v nadmorski višini 426 m, spodnji, prelivni rob pa v nadmorski višini 439 m.

Območje Hrbca gradijo plastoviti in masivni rudistni apnenci Jurkošek & Toman, 1996), katerih plasti vpadajo pod kotom okrog 15° v smer 220°. Plasti so debele od 40 cm do preko enega metra. V jami in v spodmolu Perkove pečine so vidne izrazite lezike, ob nekaterih je prišlo do medplastnih zdrsov.

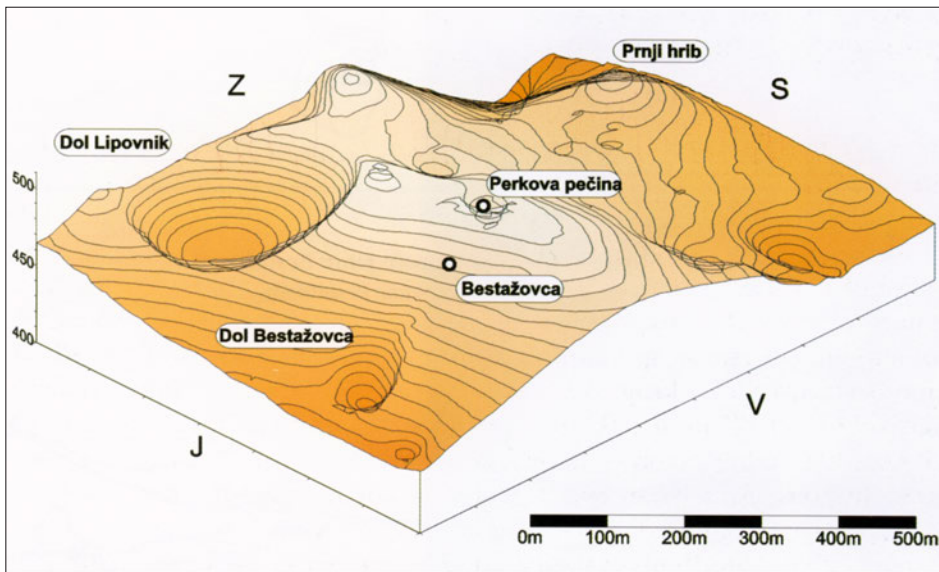
JAMA BESTAŽOVCA

Prve raziskave jame Bestažovca datirajo v čas med obema vojnama (Boegan, 1938). Tedaj je bil znan le vhodni del jame. Kasneje so jamarji iz Sežane našli v jami nov rov, v njem pa neolitsko keramiko, živalske kosti in oglje. Izdelali so nov načrt, ki pa je imel nekaj manjših netočnosti, zato smo jamo ponovno izmerili. Izmerili smo tudi bližnjo Perkovo pečino in površje nad obema jamama, kar omogoča primerjavo njune medsebojne lege.

Jamo Bestažovca sestavljata dve izraziti morfološki enoti, vhodna dvorana ter notranji Glavni rov. Ti dve enoti sta verjetno nastali ločeno v različnih pogojih, razvidna pa je njuna povezanost ter vpliv na mlajše pleistocensko in holocensko oblikovanje jame, sedimente in oblike sedimentnih teles v jami.

Vhod v jamo je nastal v temenu 20 m visoke dvorane, ob prelomu, ob katerem se je izločila več metrov debela siga. Na to sigo naletimo že v globini okrog 1 m pod površjem. Ob robu vhodne dvorane, 3 m pod sedanjim površjem, kaže rob sige močno kondenzno korozijo, ki je v sigi izoblikovala fasetam podobne oblike.

Vhodna dvorana je v tlorisu skoraj pravilne okrogle oblike. Dno dvorane tvori nasipni stožec, katerega najvišji del je pod vhomom, najnižji pa ob severozahodni steni dvorane. Kamenje nasipnega stožca, ki kaže subkutane korozijske oblike, je bilo očitno v jamo nametano v zadnjih stoletjih. Nasip pokriva celotno dno dvorane, le ob robovih ga ni. Tu pokrivajo tla kosi sige, predvsem odlomljeni kosi kapnikov.



Slika 17: Digitalni model reliefa nad jamo Bestažovca.

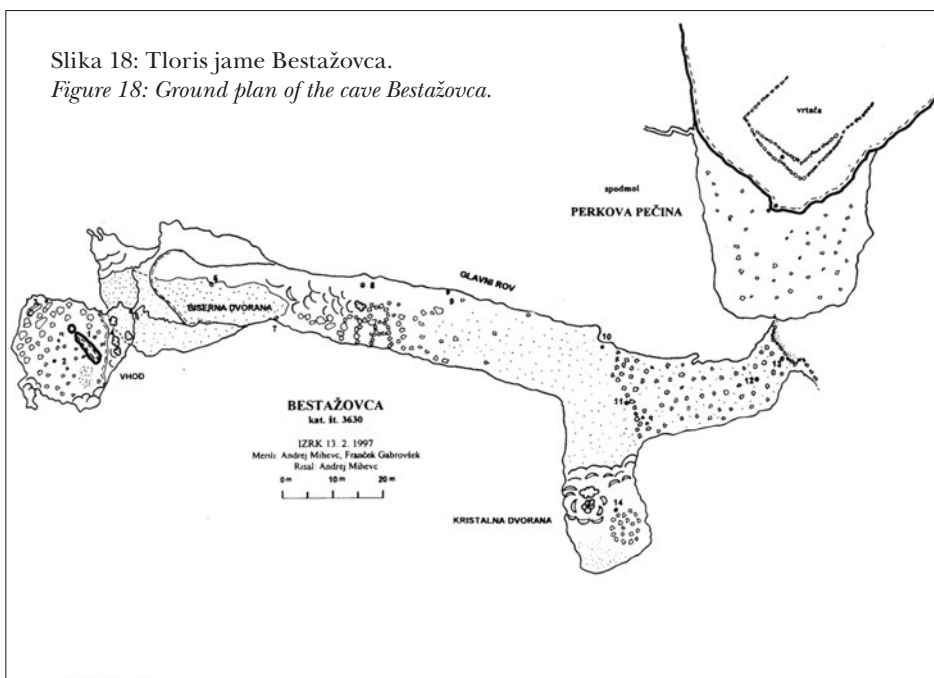
Figure 117: Elevation model of the relief above the cave Bestažovca.

Stene in strop dvorane so večinoma pokriti s temno rjavo sigo ali z masivnimi stalaktiti. Povsod so sledovi lomov kapnikov ali razpadanja sige. Lomne površine pa so stare. Med kapniki ni drobnejšega drobirja ali ilovice. Kosi kapnikov in ploskve sige v gornjem delu dvorane ter na nekaj metrov višji polici ob vzhodnem robu dvorane kažejo na premikanje ter krioturbatno sortiranje. Ti procesi novejšega, v jamo nametane kamenja niso zajeli. Zdi se, da v sedanjih pogojih niso intenzivni oziroma morfološko pomembni.

Glavni del jame je dolg preko 150 m. Poteka od vzhoda proti zahodu in je visok do 5 m. V osrednjem delu je na dolžini 35 m ohranjen nepoškodovani primarni rov, v obeh končnih delih pa so rov močno preoblikovali procesi razpadanja in zasuli sedimenti. Glavni del rova poteka skoraj pravokotna na vpad plasti, ki so v stenah vidne, zlasti pa je izražena ena tektonizirana lezika.

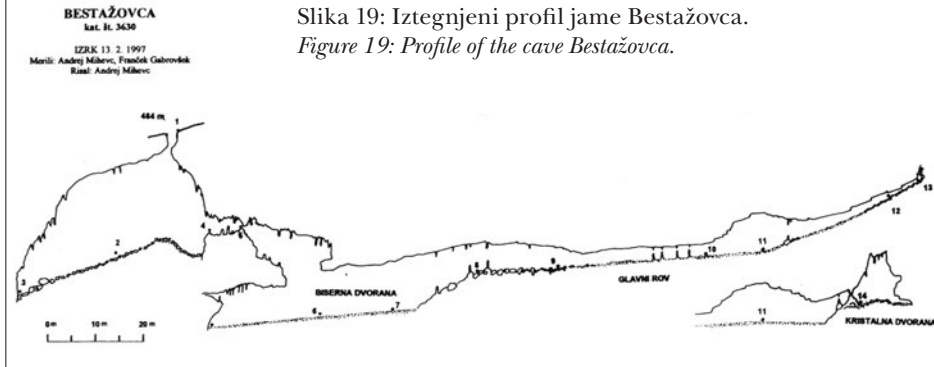
Slika 18: Tloris jame Bestažovca.

Figure 18: Ground plan of the cave Bestažovca.



Slika 19: Iztegnjeni profil jame Bestažovca.

Figure 19: Profile of the cave Bestažovca.



Osnovne oblike rova so se ohranile le v Glavnem rovu. Rov je na tem mestu okrog 12 m širok, do 4 m visok, dno pa pokrivajo sedimenti neznane debeline. Tu so se na stenah ohranile stenske in stropne kotlice, ki kažejo bodisi na nastanek v freatični coni ali kasnejše preoblikovanje ob naplavinu. Te druge možnosti ne smemo povsem izključiti, čeprav v jami ni obnaplavinjskih stropnih kanalov ali znakov parageneze. Kotlice so do 30 cm globoke in imajo polmer do 0,5 m. Največ se jih je ohranilo ob severni steni rova. Iz njihove oblike ter razporeditve ni moč sklepati na smer toka v jami.

Druga izrazita drobna oblika na stenah Glavnega rova so površine, ki kažejo na odpadanje kamnov od sten in se ločijo od primarnih oblik. Največ jih je v gornjem, vzhodnem delu rova, manj pa v Biserni dvorani. Njihov vzorec kaže na neodvisnost od morebitnih strukturnih ploskev v kamnini. Od površja rova so odpadali kamni velikosti do 15 cm, kar je bilo verjetno posledica gelifrakcije. Proces iz sten ni odstranil več kot 20 cm debele plasti kamnine. Na osnovi izgleda odlomnih površin sklepam, da tega razpadanja danes ni več. Razpadne ploskve se izrazito ločijo od gladkih freatičnih površin, ločijo pa se tudi od odlomnih površin v zahodnem delu Glavnega rova. Razpadne ploskve so tam večje, pogosto sledijo lezikam ali razpokam, ki sekajo sklade. Ob njih pa so odpadli veliko večji bloki kamnine.

V zahodnem delu Glavnega rova se strop rova dvigne, na tleh pa se pojavijo bloki kamnine metrskih dimenzij. Obenem se pojavlja več sige. Masivna



Slika 20: Glavni rov v jami Bestažovca. Na sliki vidimo značilni prečni profil rova in ravna, krioturbatno uravnana tla.

Figure 20: Main passage in the cave Bestažovca. The profile shows phreatic origin, while floor is gently and evenly inclined, owing to mass movements of the sediment.

sig, debela preko 3 m, tvori v tem delu tudi strop rova. Siga se je odložila na sedimente, ki pa so sedaj odstranjeni. Dno sigovih natokov tako visi v zraku in tvori nekakšen vmesni strop nad delom rova in svodastim stropom. Nad to sigo je prehod v vhodno dvorano

V vzhodnem delu se Glavni rov razširi in razcepi v dva kraka. Kristalna dvorana je kratko nadaljevanje rova proti jugu. Njeno dno tvorijo 5 m visoka sigova kopa ter podorno skalovje in grušč, pomešan z ilovico.

Drugi del Glavnega rova se nadaljuje proti vzhodu. Na koncu je rov čelno popolnoma zatrpan s kamenjem, pomešanim z ilovico in zemljo ter kostmi in neolitsko keramiko. Ta del rova se konča v tlorisu 5 m južneje in 9 m pod skrajno točko Perkove pečine. Nedvomno je sediment nekakšno podzemno melišče, ki priteka iz Perkove pečine.

Dno Glavnega rova v celoti pokrivajo klastični sedimenti z različno granulacijo in strukturo. Tla najvišjega dela v vzhodnem delu rova tvori kamenje, veliko do 25 cm, pomešano z ilovico in prsto ter neolitskimi arheološkimi ostanki. Rov, ki je v tem delu širok 9 m, je čelno zatrpan s tem sedimentom. Posipni kot sedimenta oziroma tal rova je sprva 30°, nato se naklon v opaznem pregibu zmanjša na okrog 20°. Na površju najdemo med kamenjem in gruščem kose oglja, kosti in keramiko. Razmetanost predmetov ter površina kažeta na polzenje celotnega melišča v rovu. Na nekaj mestih pa so na melišču zrasli tudi paličasti stalagmiti, najvišji so visoki okrog 50 cm.



Slika 21: Prevrnjeni stalagmiti v Bestažovci kažejo na premike tal med sedanjo sigotvorno fazo.

Figure 21: Fallen stalagmites which are frequent in the cave Bestažovca show the movements of floor during the last phase of growth.



Slika 22: Na gruščnatem pobočju, na katerem najdemo med kamenjem, pomešanim z ilovico, tudi kosti in neolitsko keramiko, so zrasli paličasti stalagmiti. Na stenah so vidni sledovi zmrzovanja.

Figure 22: Stalagmites are growing on the talus cone where among the gravel loam, bones and pieces of Neolithic pottery can be found. The surface of the gallery wall shows the frost weathering.

Melišče sega v rovu do točke 3, kjer se naklon tal v ostrem pregibu zmanjša na 5° . V tem delu se spremeni tudi granulacija sedimenta. Navzdol prevladuje v vrhnjem, nekaj cm debelem sloju peščen in ilovnat sediment, pod njim pa je grušč. Grušč prihaja na dan le še ob stiku ravnih sedimentnih tal in stene. Osnovna značilnost tal v tem delu rova je velika uravnanost prečno na rov ter enakomeren naklon tal vzdolž rova. Ob severni steni rova so pri točki 10 v profilu arheološke sonde razgaljene plasti oglja in pepela, verjetno neolitske starosti. Tudi na teh sedimentih rastejo paličasti kapniki. Največji so visoki do 180 cm. Značilni so trojni ali dvojni v bazi zrasli stalagmiti. Gre za poseben tip stalagmitov, ki nastanejo, če se stalagmit prevrne, na njegovo bazo pa se kapljanje nadaljuje, zaradi česar na njej zraste nov stalagmit. Pogosto se nato prevrne stalagmit še enkrat, rast pa se nadaljuje. Takšni stalagmiti kažejo na nestabilnost tal med rastjo, morda tudi zaradi zmrzovanja v zimski polovici leta.

V Glavnem rovu se med točkama 7 in 9 pojavijo tudi poligonalna tla. Poligoni so zaradi velikih blokov apnenca nepravilnih oblik. Ti večji bloki so se nedvomno odluščili od stropa, ki se tu zviša na okrog 5 m.

Naklon tal se poveča na okrog 20° , nivo rova pa spusti za 9 m v dno Biserne dvorane. Ta pregib v celoti sestavljajo velike skale. Med njimi so tudi

kosi breče, ki se ponekod držijo velikih blokov, kar dokazuje polzenje celotne gmote sedimenta v dnu rova. Tla Biserne dvorane so skoraj vodoravna. Na tem mestu pada s stropa nekaj curkov, ki mestoma odlagajo sigo. Na dveh mestih kaplja na tla agresivna voda. Ta je v grušč, ki tvori tla, izjedla 35 cm globoki in v premeru 15 cm veliki jamici. Siga se je v jami odložila na več mestih. Največje gmote sige so v vhodni dvorani. Tu so verjetno debele več metrov.

Siga v tem delu ne raste več, veliko sigovih kop pa je razpokalo in razpadlo. Velika sigova gmota tvori del stropa Biserne dvorane. Ta siga je bila očitno odložena na nek sediment, ki pa je bil izpod nje odnesen. Recentna, hitro rastoča siga je v Kristalni dvorani in v Biserni dvorani, v glavnem rovu pa rastejo le paličasti kapniki in cevčice.

PERKOV SPODMOL

Perkov spodmol je nastal na južni strani 70 m široke in okrog 25 m globoke vrtače, ki leži na vrhu grebena, 120 m vzhodno od vhoda v Bestažovco. V dnu vrtače je v nadmorski višini 483 m manjša njiva, ki jo obdajajo velike groblje in suhi zidovi. Severno pobočje vrtače je položno, južni obod pa ima navpične stene, pod katerimi je 30 m dolg spodmol. Strop spodmola je visok do 10 m, stene pa so v grobem nerazčlenjene, v drobnem pa kažejo razpadne, gelifrakcijske oblike. Dno spodmola pokriva grušč. Najnižja točka spodmola je v nadmorski višini 476 m oziroma le 9 m nad skrajnim vzhodnim delom Bestažovce.



Slika 23: Pogled iz Perkovega spodmola.

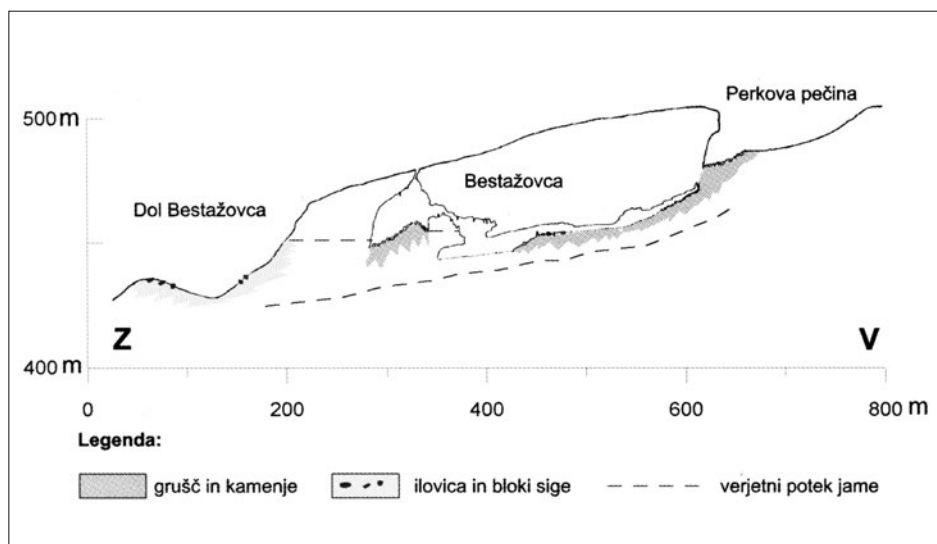
Figure 23: View from the cave Perkov spodmol.

DOL BESTAŽOVCA

Okrog 50 m zahodno od vhoda v Bestažovco se nagib pobočja poveča. V strmější del pobočja je poglobljen dol Bestažovca. Dol je podolgovate oblike, z daljšo – 150 m dolgo osjo v smeri V–Z ter 110 m dolgo osjo v smeri S–J. Gornji obod dola je na nadmorski višini 470 m, spodnji pa na nadmorski višini 439 m. Pod dolom se nadaljuje enakomerno, nerazčlenjeno pobočje proti Lipškemu ravniku, ki leži v nadmorski višini okrog 370 m.

Umetno uravnano in s suhimi zidovi ograjeno dno dola je v nadmorski višini 426 m. Pobočja dola so strma in kamnita, z izjemo vzhodnega pobočja, kjer se v pobočju dola pojavlja pas rumenorjave ilovice. V zahodnem delu dola izdanjajo iz tal še masivni bloki kristalaste in plastovite sige. Te sige so ostanki sigovih kop in stojijo še na mestu, kjer so nastale, precej sige pa je bilo odbite in jo najdemo zloženo v suhih zidovih. Debelina teh jamskih sedimentov je verjetno precejšnja, saj so hrasti, ki rastejo na njih, debelejši kot tisti, ki rastejo na kamnitih tleh dola. Na osnovi razprostranjenosti ilovice in sige v dolu sklepam, da je sediment zapolnjeval večjo, okrog 10 m široko jamo, ki je ležala na nadmorski višini med 430 m do 450 m. Potekala je v smeri V–Z. Da je bila jama velika sklepamo tudi na podlagi debeline ter oblike ohranjenih, na površju vidnih odloženih sig. Izven dola, v smeri proti zahodu, se ostanki sige in sedimenta na površju razgubijo, zato denudirani jami ne moremo več slediti.

Iz ugotovljenega je razvidno, da je dol Bestažovca denudirana jama in ne udorna dolina, nastala zaradi udiranja stropa.



Slika 24: Medsebojna lega dola in jame Bestažovca ter Perkove pečine. Prerez je narejen v smeri V–Z.

Figure 24: Position of the collapsed doline dol Bestažovca and caves Bestažovca and Perkova pečina. Cross section is in the W–E direction.

SPELEOGENEZA JAME BESTAŽOVCA

Iz morfologije jame in lege posameznih delov jame, sedimentov ter razmerja do Perkove pečine in dola Bestažovca, lahko izluščimo le nekatere, predvsem mlajše, speleogenetske dogodke v razvoju Bestažovce in posredno morfogenezo dela okoliškega površja. Posredno pa lahko sklepamo tudi na genezo dolov, saj sta kar dva nastala nad jamo (dol Bestažovca in dol s Perkovo pečino).

Vhodna dvorana Bestažovce je navezana na tektonsko pretrte kamnine, ob katerih je lahko v freaticnih pogojih nastal večji prostor, ki ga je potem zaradi istih strukturnih pogojev zajelo in preoblikovala vertikalno prenikanje v vadozni coni.

Glavni rov jame, ki je dostopen v nadmorski višini med 445 m in 460 m, oziroma njegov strop, vpada proti zahodu pod kotom okrog 5°. Glavni rov je lahko nastal, ko so se vode v znatnih količinah še pretakale v tej višini, kar je kakih 100 m nad sedanjim površjem Lipiškega ravnika oziroma 400 m nad sedanjim tokom podzemne Reke v Labodnici. Rov je v dostopnem delu nastal v tektonsko nepoškodovanih plastovitih apnencih. Na njegovih koncih se pojavljajo prelomi, razpoke, votline vertikalnega razvoja, podiranje stropa in siga.

Ob koncu oblikovanja Glavnega rova je bil ta verjetno v celoti ali vsaj v večjem delu zapolnjen s fluvialnimi sedimenti. Če bi bil prazen, bi se v njem v večji meri odložila siga. Masivna sigova kopa v stropu Biserne dvorane, ki pa ne seže navzdol v rov, to domnevo potrjuje.

Kasneje je bil sediment iz danes dostopnega dela rova odstranjen. Lahko je bil spran navzdol skozi tektonsko porušene apnenice v coni vhodne dvorane, lahko pa je spolzel po rovu navzdol proti dolu Bestažovca.

Če predpostavimo, da se Glavni rov Bestažovce nadaljuje v enaki smeri in z enakim naklonom proti zahodu, se rov po 100 m izteče v pobočju dola Bestažovca v nadmorski višini okrog 440 m. Dejansko se v pobočju dola v nadmorski višini 465 m do dna dola pojavljajo sige in ilovnati sedimenti. Pomembni so zlasti ilovnati sedimenti, saj takih v jami ne vidimo, ker jih pokrivajo mlajši sedimenti. Obenem pa so ilovice v tem dolu nedvomno jamskega izvora, o čemer pričajo veliki kosi sige med njimi. Najbolj značilen sediment Glavnega rova so ostrorobi apnenčasti grušči, ponekod pomešani z rjavo ilovico.

V delu, ki se konča pod Perkovo pečino, tvori jamska tla strmo melišče, katerega grušč je pomešan s humusno ilovico, ki očitno izvira iz pečine. Starost vrhnjega dela melišča določajo neolitske črepinje. Neolitske črepinje in med grušč pomešane kosti so pomemben časovni reper v jami. Kažejo na intenzivno polzenje grušča, ki je v zadnjih nekaj tisoč letih popolnoma prekinilo povezavo s Perkovo pečino. Prehod med obema jamama pa je bil mogoč, o čemer pričajo tudi plasti pepela, verjetno ognjišča v notranjem, položnejšem delu rova. Strmi naklon melišča (20–28°) se tudi ostro loči od položnih tal rova pod njim.

Tudi gruščnati sediment v dnu položnega dela rova kaže polzenje. V spodnjem delu pred Biserno dvorano ga je zajezilo s stropa odpadlo skalovje. Za zajezanim delom toka sedimenta so na položnih tleh nastala poligonalna tla.

To kaže na hladno klimo. Istočasno je verjetno potekalo tudi rušenje kapnikov v vhodni dvorani. Recentne poligone in polzenje tal lahko vidimo v Skedneni jami pri Lazah (Gams, 1963), kjer je zaradi dveh vhodov pozimi zelo močna zračna cirkulacija, ki jamo močno razhladi. Podobni pogoji so vladali tudi v Bestažovci.

Podobno cirkulacijo zraka, predvsem pa močan vpliv na sigo, lahko opazujemo v jami Dimnice (Habič, 1985). Zaradi dveh vhodov je v vmesnem delu jame, v globini okrog 50 m, močna zračna cirkulacija ter zimsko zmrzovanje in izsuševanje sige. Siga je preprejena z razpokami, se luskasto kroji in odpada. Kljub temu pa se z dotokom nove sigotvorne vode, morda tudi s prekristaljevanjem preko leta, ponovno utrdi in lahko kljubuje mrazu.

V Bestažovci pa je vsa odpadla siga kristalasta, steklasta in prosojna ter ne kaže vplivov sezonskega izsuševanja in zmrzovanja ter poletnega utrjevanja. Zdi se, da je odpadla v enem samem zamahu, po dogodku, ki je shladil jamo ter polomil kapnike, zavese in večje gmote plastovite sige. Tak dogodek je seveda lahko le nenadno odprtje enega ali obeh vhodov, predvsem pa hladna klima. Takšni pogoji bi bili lahko le v zadnji ledeni dobi, pa tudi še pozneje.

Hladen zrak, ki je tekel skozi jamo, je jamo shladil, kar se je odrazilo s koturbatnimi pojavi, gelifrakcijo sten, kapnikov in sige v vhodni dvorani. Manjši naklonski kot sedimenta v rovu kaže na počasnejše premikanje sedimentne gmote in na daljši čas. Na tej površini so verjetno v neolitiku, oziroma ko je bil dostop iz Perkove pečine še mogoč, nastala ognjišča. Zato smemo upravičeno domnevati, da so bila tla Glavnega rova oblikovana prej, morda ob koncu pleistocena. Enake starosti pa bi potem morali biti tudi sledovi gelifrakcije na stenah tega dela rova.

Močna zračna cirkulacija ter z njo povezano ohlajevanje jame je prenehala, ko je grušč iz Perkove pečine zaprl prehod med jamama. Vzrok močnejšemu polzenju grušča je morda vlažnejša klima.

Od takrat pa se tla v jami niso več premikala. Na to kažejo paličasti stala-gmiti, na stabilnost pa kažejo tudi korozijske luknje v grušču v Biserni dvorani.

Na osnovi oblik jame Bestažovce, sedimentov in lege jame lahko spoznamo v Bestažovci nekatere morfo-genetske dogodke. Ker pa nimamo njihovih absolutnih datacij, lahko umestimo posamezna dogajanja zanesljivo le za čas zadnjih 5000 let oziroma za čas mlajšega holocena. Faze razvoja, ki jih lahko identificiramo, so bile:

- izoblikovanje rova,
- zapolnitev rova z ilovicami,
- nastanek gradienta, vertikalno prenikanje, nastanek vhodne dvorane,
- spiranje sedimenta iz vrhnjega dela jame,
- odložitev sige na naplavini v Glavnem rovu in sige v vhodnem delu jame,
- nova faza spiranja sedimenta v Biserni dvorani in v Glavnem rovu,
- predneolitsko polzenje tal, oblikovanje strukturnih tal, odpadanje sige,
- po neolitska prekinitve povezave s Perkovo pečino, rast paličastih kapnikov,
- antropogeno zasipanje vhodne dvorane s kamenjem.

ŠKOCJANSKE JAME

HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI REKE

Reka, ki zbira vode na Notranjskem, je največja ponikalnica Krasa. Izjemna je po vodni količini, količini plavja, ki ga tovari s seboj, izjemna pa je tudi po jamah, ki jih je oblikovala. Reko lahko spremljamo v podzemlju za ponorom v Škocjanskih jamah še približno 3 km, nato okrog 900 m njenega toka ne poznamo. Ponovno se pojavi v 12 km dolgi Kačni jami, v kateri pa je dostopna le ob nizkem vodostaju. Ob visoki vodi je večji del te jame zalit. Del vode Reke teče tudi skozi 13 km oddaljeno Labodnico.

Svoje proučevanje jam vzdolž podzemnega toka Reke sem omejil le na Škocjanske jame in na Kačno jamo, ki pa zaradi skupne dolžine – 18 km rovov ter 270 m globine – dobro odražajo razvoj jam v tem delu Krasa.

Povodje Reke na flišu (nad vodomerno postajo Cerkvenikov mlin) znaša 335 km² (Kranjc & Mihevc, 1988). Poprečni pretok Reke na vodomerni postaji Cerkvenikov mlin, 500 m preden Reka doseže karbonatne kamnine, je 8,95 m³/s. Minimalni pretok Reke na isti vodomerni postaji je 0,16 m³/s, maksimalni pa 387 m³/s. Po izračunih in ocenah imajo stoletne visoke vode 453 m³/s pretoka.

Razmerje med visoko in nizko vodo je kar 1 : 2419. To je odraz klimatskih razmer, predvsem padavin v obliki močnih nalivov ter hitrega odtoka poplavnega vala. Flišni del porečja Reke pripada h klimi Primorske Slovenije (Gams, 1972). Primarni maksimum padavin je novembra, sekundarni pa spomladi, primarni minimum je avgusta, sekundarni pa februarja. Nalivi povzročijo hitre, a kratkotrajne poplave vzdolž Reke. V Škocjanskih jamah prihaja takrat do zastajanja vode in do velikega povišanja vodne gladine. Pri proučevanju poplav v dolini Reke (Kranjc & Mihevc, 1988) se je pokazalo, da na površju nastopijo poplave, ko 24-urna količina padavin preseže 50 mm.

Redkejša so opazovanja visokih voda v podzemlju. Ob poplavi leta 1965 je voda v Škocjanskih jamah naraščala s hitrostjo 5 m/h (Habe, 1966) in dosegla koto 321 m, kar je 70 m nad običajno gladino v Müllerjevi dvorani. Danes je na mestu, do koder je segala voda, plošča, ki opozarja na to poplavo. Še više, do nadmorske višine 346 m naj bi segla poplava leta 1929 (Gospodarič, 1984).

Poplavni val Reke lahko opazujemo še v Kačni jami in v Labodnici. V Kačni jami se dvigne voda za približno 120 m, do nadmorske višine 240 m in zalije velik del jame. O visoki vodi pod vhodnim breznom je poročal J. Mari-

nitsch leta 1896. O hidroloških razmerah v jami, ko je večji del jame popolnoma zalit, pa lahko sklepamo le na podlagi plavja (Mihevc, 1984).

V Labodnici je podzemna reka ob normalnem vodostaju na nadmorski višini 19,6 m, ob poplavi 30. oktobra 1895 pa se je dvignila za 92 m in dosegla višino 112,5 m (Boegan, 1938).

ZGODOVINA RAZISKOVANJA ŠKOCJANSKIH JAM

Raziskave Škocjanskih jam v prvi polovici 19. stoletja so bile povezane z iskanjem novih možnosti oskrbe za vodo in s turistično dejavnostjo. V nekaj desetletjih so raziskali Mahorčičevo in Mariničevo jamo, Tominčevo jamo ter Šumečo jamo do Šestega slapu. Intenzivnejše raziskovanje jam se je začelo, ko je leta 1884 prevzelo vodstvo raziskav DÖAV iz Trsta pod vodstvom A. Hankeja (Habe, 1973). V nekaj letih so raziskovalci dosegli skrajni del jame – Mrtvo jezero. Pri merjenju so naredili nekaj napak. Zaradi njih je bil položaj na Hankejevem in kasneje po njem povzetih načrtih končnega dela jame prikazan 44 m nižje in 200 m zahodnejše, kot je dejansko. Podrobneje sta se ukvarjala z jamami še Boegan (1928) in Oedl (1932).

Gospodarič (1983, 1984) je proučil geološke razmere v vhodnem delu Škocjanskih jam in na površju v nekaterih udornicah. Oblike rovoev je pripisal litološkim razlikam v kamninah. Ločil je tri etaže, v katerih so se ohranile alohtone naplavine in avtohtone sige. Iz njih je sklepal na paleohidrološke razmere ter razvojne faze jam v mlajšem pleistocenu in holocenu. Najstarejši rovi naj bi bili ohranjeni le v reliktih in jih je mogoče povezati po nadmorski višini. Bolje je ohranjena etaža, ki jo tvorijo vodoravni rovi v višinah od 310 m do 340 m. Nastala naj bi v srednjem pleistocenu. Zanj so značilni večji vijugavi rovi z manjšim strmcem, v njih pa se je ohranilo tudi veliko sedimentov. Strmejša, vanjo vrezana etaža (po njej teče Reka danes), pa naj bi bila wümska.

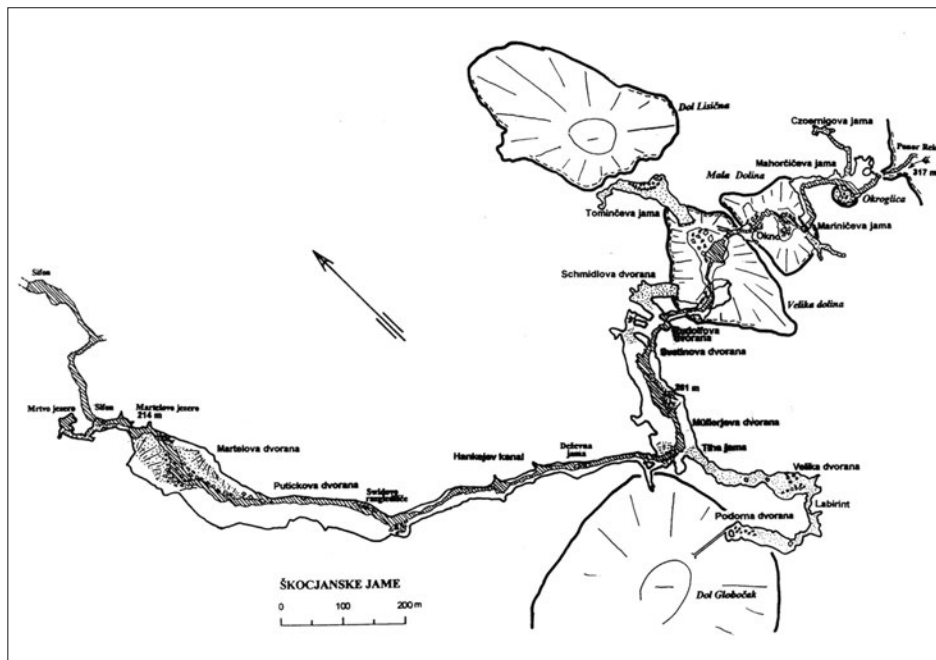
S pomočjo datacij sige z metodo ^{14}C je umestil zadnje poplavno obdobje v mlajši pleistocen. Tedaj naj bi intenzivnejše krušenje botrovalo tudi nastajanju udornic. Klimatske spremembe naj bi torej vplivale na razvoj jame: hladna obdobja bi se odrazila s fazami erozije, naplavljanja in krušenja v jamah, toplejše pleistocenske klime pa naj bi povzročile bolj umirjen razvoj ter nastanek večjih vodoravnih odsekov jam. Spoznanja o jamah so povzeli Habič s sodelavci 1989.

Strukturne razmere v Hankejevem kanalu in v Martelovi dvorani je opisala Šebela (1994). Podrobno je v Veliki dolini proučeval lastnosti apnenca in navezanost freatičnih rovoev na lezike Knez (1996).

Po odkritju podzemnega toka Reke v Kačni jami in po njeni natančni izmeri (Kenda, 1984; Mihevc, 1984) se je izkazala višinska napaka v načrtu

Škocjanskih-jam, poleg tega pa se je pojavil tudi dvom o pravilnosti načrta Škocjanskih jam.

Novo teodolitske meritve jame (Mihevc, 1995, 1996; Drole, 1997) so pokazale, da leži skrajna točka Martelove dvorane oziroma gladina Martelovega jezera v nadmorski višini 214 m. Na novi kartografski osnovi je bilo mogoče interpretirati odvisnost poteka jame od geoloških struktur in jo natančneje umestiti v jamski sistem skupaj s Kačno jamo.



Slika 25: Škocjanske jame. Načrt jame je izdelan na osnovi meritev Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU v letih 1986–1998.

Figure 25: Cave Škocjanske jame. Plan of the cave is basing on surveys of Karst research institute ZRC SAZU in years 1986–1988.

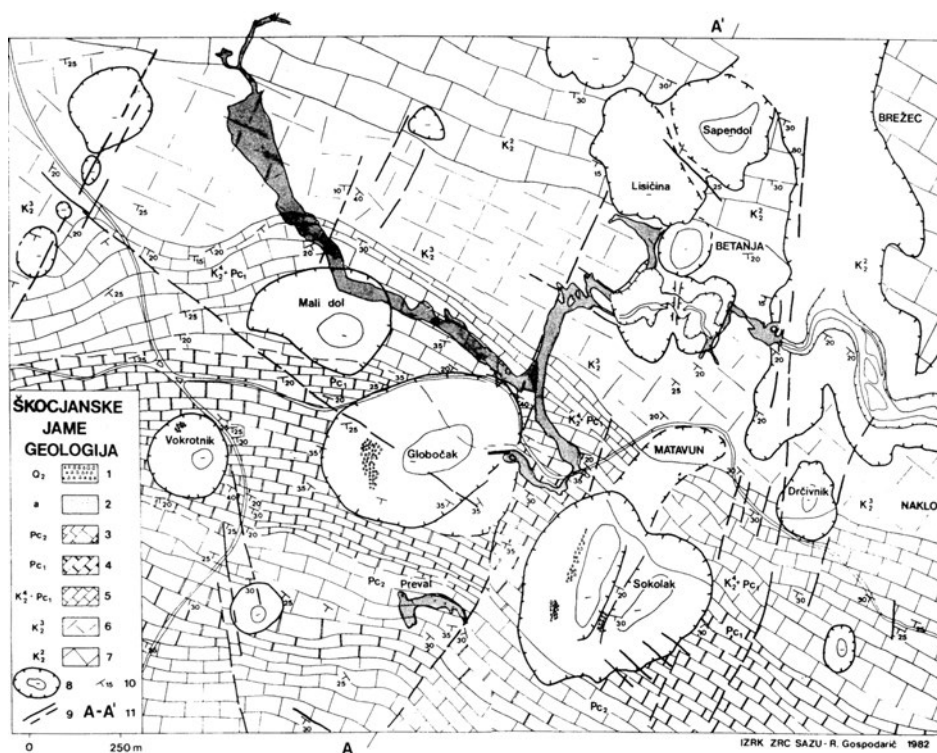
GEOLOŠKE RAZMERE

Škocjanske jame so nastale na območju stika turonskih in senonskih debeloskladovitih svetlo sivih rudistnih apnencev ter paleocenskih drobno plastovitih temnih apnencev. Tomičeva jama, Mahorčičeva jama, obe udornici ter Šumeča jama s Hankejevim kanalom in Martelovo dvorano so nastale v debeloskladovitih in neskladovitih, masivnih apnencih. Tiha jama je nastala v drobno skladovitem gornjekrednem in paleocenskem apnencu (Gospodarič, 1983; Knez, 1996).

Mehanske lastnosti apnencev so dobre, tako, da so nastali in se ohranili do 140 m široki rovi ter dvorane. Podiranje rovov lahko zasledimo tako v tanko plastovitih kot v masivnih apnencih. Največje udornice in dvorane so nastale v debeloskladovitih apnencih.

Pomembnejše kot litološke so strukturne razlike v kamnini, predvsem plastovitost ter tektonska porušenost. Na osnovi nove izmere jame sem kartiral osnovne geološke nezveznosti. Izbral sem tiste, ki so se očitno izrazile v morfologiji rovov ali površja v okolici jam. Te strukturne linije sem s pomočjo zaporednih prerezov prikazal v tridimenzionalnem modelu ter nanj navezal morfogenetsko opredeljene dele jam. Na ta način sem želel razložiti nastanek večine sedanjih delov jame in udornih dolin, pa tudi položaj brezstropih jam na površju.

Na območju jame upadajo skladi proti JZ pod kotom 22–30°. V območju Mariničeve jame 200/20°, v območju Velike doline in Rudolfove dvorane 210/30°, pri Swidovem razgledišču 180/20°, v Martelovi dvorani pa v smeri 200/25°. Podatki meritev v jami se dobro ujemajo z meritvami, opravljenimi na površju (Gospodarič, 1984).

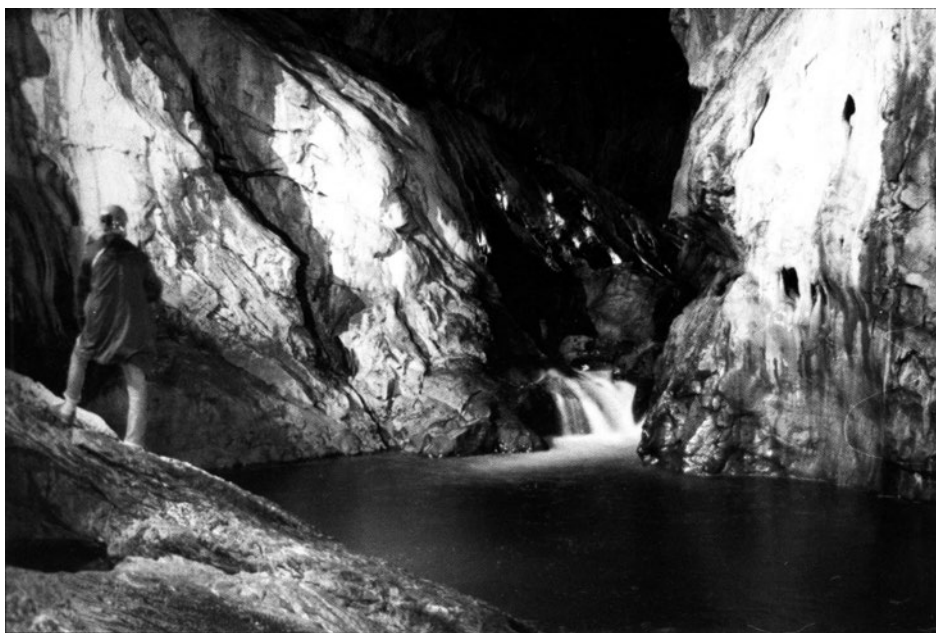


Slika 26: Geološka karta Škocjanskega krasa (Gospodarič, 1983), dopolnjena z obrisom Škocjanskih jam po novi izmeri.

Figure 26: Geology map of Škocjan karst (Gospodarič, 1983), supplemented with the outline of the cave after the new survey.

Jama je nastala v stratigrafsko 300 m debeli skladovnici plastovitih apnenec. Plasti so lepo vidne, vendar pa so speleogenetsko pomembne le tiste, ob katerih je prišlo do tektonskega zdrsa. Knez (1996) je v Veliki dolini sedimentološko opisal štiri take lezike in jih označil s številkami. Tektonizirana lezika z oznako 400 seka vrhnji del Schmidlove dvorane, ob leziki 500 ponika Reka, ob lezikah 600 in 700, ki sta najnižje v stratigrafskem smislu, pa je nastal slap v Veliki dolini in spodnji del Okna med obema dolinama. Med leziko 400 in 500 je 25 m debel paket nepoškodovanega apnenca, med lezikama 500 in 600 33 m, med lezikama 600 in 700 pa 14 m debel paket nepoškodovanega apnenca (Knez, 1996).

Pri speleološkem kartiranju v jami sem opisane tektonizirane lezike sledil skozi ostale dele jame, pa tudi na površju in v bližnjih udornih dolinah. Ponekod se namreč poleg njih pojavljajo še vzporedne, tudi tektonizirane lezike, lezike lahko nekoliko povijajo, sekajo pa jih tudi mlajši prelomi, ki jih prekinjajo. Zato je možna pri identifikaciji lezike na večji razdalji tudi napaka. Poleg teh, le v Veliki dolini opaznih lezik, se v jami pojavljajo tudi stratigrafsko višje in nižje ležeče lezike. Teh je veliko zlasti v Tihi jami in v končnem delu Martelove dvorane. Zaradi večje gostote so manj izrazite in manj pomembne za speleogenezo jam.



Slika 27: Pogled na prvi slap v Rudolfovi dvorani. Rov se je oblikoval ob tektonizirani leziki 500 ($210/30^\circ$). Reka se je v prvotni eliptični rov delno poglobila, večji del rova pa se je oblikoval paragenetsko nad leziko.

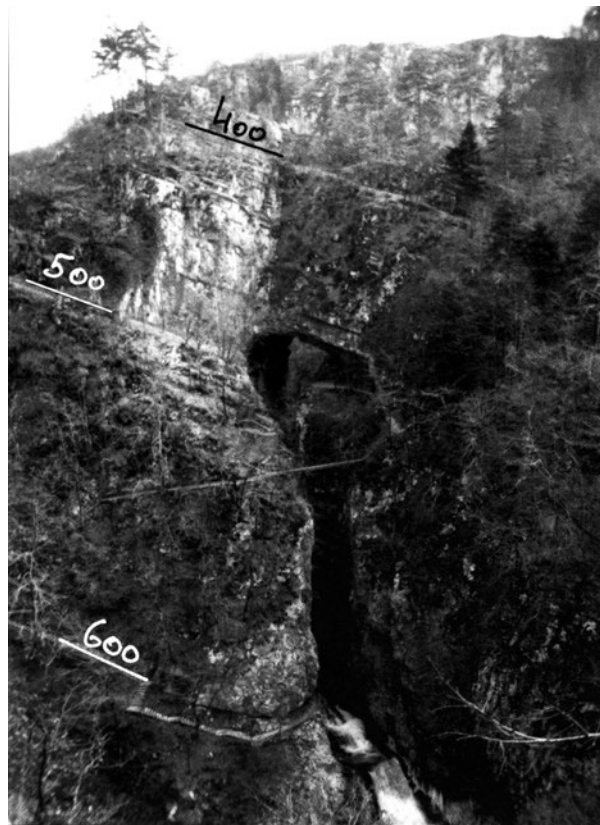
Figure 27: The First waterfall in the chamber Rudolfova dvorana. Passage is developed along tectonised bedding-plane 500 ($210/30^\circ$). Passage is formed by paragenesis above the initial structure and partly by vadose entrenchment of the river.

Osnovna geološka struktura, tektonizirani leziki 300 in 400, vmesni 125 m debeli paket masivnih apnencev ter nižje lezike 500–700, so skozi celo jamo nespremenjeni. Ob teh lezikah je nastala večina jame, struktura pa se morfološko odraža tudi na površju.

Stratigrafsko najvišje leži lezika 300. Ob njej se je oblikoval gornji, eliptični del Hankejevega kanala. Lezike zaradi višine kanala ne moremo spremljati, vendar se jo da natančno določiti ob vstopu Reke v Hankejev kanal pri Mačji brvi. Ob njej se je oblikoval tudi del stropa Müllerjeve dvorane. Do lezike pa seže tudi freatično brezno oziroma kamin v zahodnem delu Müllerjeve dvorane. Nad njo debelo skladoviti apnenci s slabo izraženimi lezikami preidejo v plastovite paleogenske apnence, v katerih so lezike veliko bolj izražene in odprte. Lahko jih vidimo v stropu Tihe jame.

Ob nižje ležeči leziki 400 je nastal kratki freatični rov Tunel, ki povezuje vhodni del Schmidlove ter Rudolfove dvorane in dno Dvorane ponvic. Ob njej priteka tudi sigotvorna voda, ki je oblikovala ponvice. V Veliki dolini lezika 400 poteka pod Ozko špiljo, potem pa ob robu Jurjevega dola proti severu.

Ob leziki 500 se je oblikoval ponor Reke v Veliki dolini. Lezika je vidna v ostenjih Velike doline, potem pa se ponovno pojavi v stenah Lisičnega dola. Ob njej je nastal tudi gornji del Okna (Miklov skedenj) med obema dolinama.



Slika 28: Vzhodno pobočje Velike doline. Morfološko izrazite so lezike 400, 500 in 600. Ob leziki 500 je nastal eliptični rov (Miklov skedenj) v nadmorski višini približno 312 m.

Figure 28: Eastern slope of Velika dolina. Morphologically expressed tectonised bedding-planes are 400, 500 and 600. Along bedding-plane 500 phreatic gallery (Miklov skedenj) in elevation about 312 m was formed.

Lezika je morfološko izražena kot nagnjena polica v Mali dolini in v Mariničevi ter Mahorčičevi jami. Tu je zaradi dveh prelomnih sistemov verjetno nekoliko premaknjena, vendar ji lahko sledimo do samega vstopa Reke v podzemlje.

Leziki 600 in 700 sta v jamski morfologiji manj izraženi, saj ležita najnižje. Ob leziki 600 sta nastali dve manjši jami in nad njo Tominčeva jama. Ob tej leziki so nastali tudi Štoln, slap v Oknu ter Slap v Veliki dolini.

V stenah približno 90 m globokega kanjonskega Hankejevega kanala lezike morfološko niso izražene. Kanal poteka sprva v smeri slemenitve, potem pa se obrne proti severu in poteka proti vpadu plasti. Prva tektonizirana lezika se pojavi v dnu kanala pri Swidovem razgledišču. Smer vpada je $180/23^\circ$. Naslednja lezika, z vpadom $180/22^\circ$, ki jo rov prereže v Putickovi dvorani, leži stratigrafsko približno 35 m nižje. Nižje lezike prečka rov v začetku in v končnem delu Martelove dvorane, ki poteka že popolnoma proti severu.



Slika 29: Ob leziki 600 je nastal eliptičen rov, skozi katerega pada eden od slapov v Oknu.

Figure 29: Waterfall in gallery named Okno was formed along tectonised bedding-plane 600.

V tem delu je zaradi močnega razpadanja sten ob razpoklinskih conah SJ in zablatenosti dvorane, plastovitost težko opazovati ter natančno izmeriti. S pomočjo opisne geometrije, upošteva spremembo smeri in naklona vpada tektoniziranih lezik ter verjetnega dviga zahodnega krila ob prelomu v Müllerjevi dvorani za okrog 10 m (Šebela, 1996), poteka severni del Škočjanskih jam spet v lezikah 400–700 ter verjetno stratigrafsko še nižje.

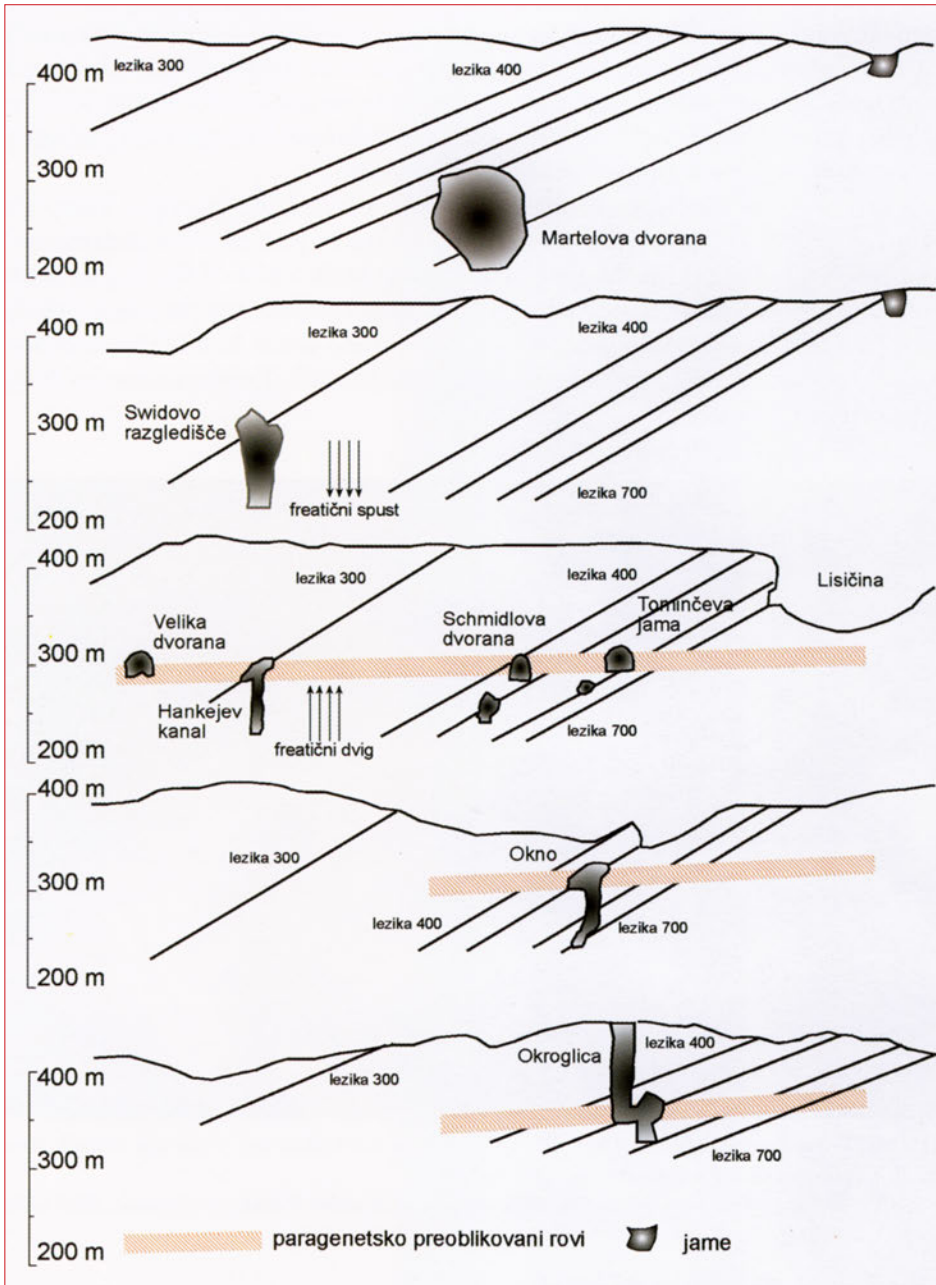
Navedene lezike pa so morfološko izražene tudi na površju. Tam, kjer sekajo površje, so ob njih razvrščene manjše vrtače, ponekod pa tudi denudirane jame. Zlasti je pomemben spodnji snop lezik (400–700), ki jim lahko sledimo v jugozahodnem, navpičnem robu dola Lisična, potem pa po površju proti JZ. Ob njih se je oblikovala sedaj denudirana jama, ki ji lahko sledimo v dolžini 1800 m do velikega kapnika v Lipovih dolinah. Lezika z oznako 300 je na površju manj izrazita.



Slika 30: Tektonizirana lezika (verjetno 500) v Putickovi dvorani. Viden je odmik stene, nastal zaradi porušene kamnine nad leziko.

Figure 30: Tectonised bedding-plane (possibly nr. 500) in chamber Putickova dvorana. Wall retreat above the bedding-plane where rock was damaged is evident.

Prelomi in izrazite prelomne cone so drugi pomembni morfofenetski element. Ločimo dobro izražene prelome z jasno definiranimi drsnimi ploskvami in razpoklinske cone. Morfološko najizrazitejši so prelomi v steni Male in Velike Doline pod Škočjanom ter prelomi v Šumeči jami in Martelovi dvorani. Ob Škočjanskem prelomu ($90/90^\circ$) se je oblikoval spodnji del Mariničeve jame. Ob prelomu ($90/90^\circ$) z močnimi horizontalnimi premiki, ki pa



Slika 31: Geološka struktura in položaj rovo v Škocjanskih jamah. Prerezi preko značilnih delov jame potekajo v smeri 220°–40°. Označene so pomembnejše tektonizirane lezike in prerezi skozi glavne dele jame.

Figure 31: Geological structure and the position of the passages of Škocjanske jame. Cross sections of characteristic parts of the cave are in direction of 220°–40°. Important tectonised bedding-planes and sections of the main parts of the cave are presented.

ne preseka lezike 500, se je oblikovalo Okno med obema dolinama. Pomemben je še prelom v Müllerjevi in Svetinovi dvorani ($10/90^\circ$) in prečni prelom $350/55^\circ-70^\circ$. V Martelovi dvorani je izrazit prelom, ob katerem se strop dvorane zniža ($350/85^\circ$), pa tudi prelom, ki je izražen le v zahodnem boku dvorane ($220/30^\circ$).



Slika 32: Značilna razpoklinska cona ob severnem robu Velike doline. Ob vertikalnih razpokah se od stene krušijo veliki bloki apnenca.

Figure 32: Fractured zone on the N rim of Velika dolina. Along vertical fractures large blocks of the limestone are breaking away.

Morfološko ter speleogenetsko so pomembnejše razpoklinske cone, ki potekajo v smeri S–J in v smeri SZ–JV (Gospodarič, 1983; Šebela, 1994). Te cone so lahko široke do nekaj deset metrov. Po lastnostih se med seboj razlikujejo ali pa se spreminjajo na kratko razdaljo, kar se močno odraža v morfologiji posameznih delov rovov. Ponekod je kamnina ob njih kompaktna, po razpokah pa neprepustna, zato ob njih ni sledov korozije. Drugod so te cone močno prepustne za vodo.

Speleogenetsko pomemben je niz brezen, ki je nastal ob taki coni v boku Rudolfove dvorane. Razpoklinske cone so ponekod izražene v morfologiji sten Hankejevega kanala, drugod pa ob njih ni opazne spremembe v oblikovanosti rovov. Vplivale so tudi na oblikovanje vzhodne stene Martelove dvorane.

HIDROLOŠKE RAZMERE V JAMI

Reka teče skozi večji del Škocjanskih jam. V jamo vstopi v nadmorski višini 317 m ter se skozi Mahorčičevo in Mariničevo jamo spusti za 12 m v Malo dolino. V tem delu ima sprva široko dno in strugo, potem pa se zoži v približno 20 m globok kanjon, ki se nadaljuje v treh slapovih skozi Okno do jezera v Veliki dolini. Od vstopa v jamo do jezera v Veliki dolini se Reka spusti za 48 m ter ima strmec 120‰.

Iz Jezera v Veliki dolini izteka Reka po ozkem koritu v glavni del Škocjanskih jam v nadmorski višini 269 m. V Rudolfovi dvorani se spusti za 7 m (na 269 m), v 250 m dolgem toku skozi Svetinovo in Müllerjevo dvorano pa za 12 m. Na začetku Hankejevega kanala je gladina Reke v nadmorski višini 250 m. V prvem delu Hankejevega kanala, do njegovega zavoja iz dinarske smeri v smer S–J se Reka spusti še za 15 m. Pod Swidovim razglediščem teče v nadmorski višini 234 m. Do začetka Martelove dvorane se Reka spusti še za 7 m. Do tega mesta teče pogosto po živoskalni strugi, v Martelovi dvorani pa po podornih blokkih in naplavinah. Pri vstopu v dvorano je gladina Reke v nadmorski višini 233 m, pri Martelovem jezeru pa v nadmorski višini 214 m. V glavnem delu jame se tako Reka spusti z nadmorske višine 269 m na 214 m oziroma za 55 m na razdalji okrog 1500 m. Strmec je v tem delu 37‰

Voda v strugi tudi ob najnižjem vodostaju ne presahne povsem, kar smo lahko opazovali med merjenjem jam. Pretok Reke je bil takrat le okrog 50 l/s, voda pa je tekla preko živoskalnih pragov v plitvih koritih. Kljub majhnemu pretoku nismo mogli nikjer vzdolž toka opaziti močnejšega izgubljanja ali dotoka vode v strugo.

Povečan pretok vode se odrazi v dvigu gladine za posameznimi ovirami, vendar se gladina večinoma ne dvigne za več kot 10 m. Običajne poplave vode sežejo do 30 m visoko v Svetinovi dvorani, oziroma do nadmorske višine 260 m. Izjemne poplave pa sežejo veliko višje. Tako je na primer poplava 2. septembra 1965 dosegla koto 321 m (Habe, 1966). Ker je bila gladina ob tem vodostaju v jami izenačena, je bila v Martelovi dvorani poplava visoka kar 107 m. Najvišje znane poplave v prejšnjem stoletju so dvignile gladino vode do nadmorske višine 346 m oziroma za 132 m v Martelovi dvorani.

Poleg Reke se v jamah pojavljajo številni dotoki in kapljanja, vendar pa so vodne količine pri večini le majhne. V Tihi jami, ki je oblikovana v paleogenskih apnencih, so številni curki in kapljanja. Najpomembnejši so v Veliki dvorani (Kogovšek, 1984). Za ostale dele jame so značilni dotoki vode s strani. Večina dotokov priteka s severovzhodne strani. To lahko razložimo z vpadom plasti proti jugu. Voda, ki priteka v jamo, je močno sigotvorna in stalna. Najmočnejši tak dotok vode je v Deževni jami v Hankejevem kanalu. Ta dotok je izjemno sigotvoren.

Poseben hidrološki pojav so razpršena kapljanja s stropa v glavnem kraku jame od Rudolfove do Martelove dvorane. To kapljanje obstaja le v topli polo-

vici leta, preneha pa, ko se začne z nastopom nižjih zunanjih temperatur zrak v jami hladiti. Očitno gre za pojav kondenza na stropu tega dela jam, kjer so močni zračni tokovi.

MORFOLOGIJA ŠKOCJANSKIH JAM

DROBNE OBLIKE

V Škocjanskih jamah najdemo na stenah rovov veliko značilnih oblik. Te oblike tvorijo bolj ali manj izrazit in morfološko pomemben skalni relief. Nekatere so značilne za Škocjanske jame, saj jih v drugih jamah ne najdemo. Takšni so predvsem sledovi drsenja velikih blokov ter ozke in podolgovate fasete na skalah v Hankejevem kanalu.

Posebno pozornost zaslužijo tudi različno oblikovane erozijske površine in preplet erozijskih in korozijskih oblik v dnu Hankejevega kanala. Posebnost Škocjanskih jam so ozke, podolgovate fasete z ostrimi bočnimi prehodi. Nastale so na skalah v dnu struge in na nekaterih stenah. Večina faset je na površinah, ki so 1–2 m nad normalnim vodostajem Reke od vstopa v jamo pod Škocjanom do Martelove dvorane.

Razporeditev ter vzorci faset na skalah so odvisni od lege v vodnem toku. Na pritočni strani skal so kratke in široke. Takšne fasete je v Hankejevem kanalu opisal Slabe (1995). Na površinah, ki so vzporedne s tokom, pa so nastale zelo ozke in dolge fasete. Med njimi so značilni na otip ostri bočni prehodi, ostri robovi pa nastajajo tudi na pritočni strani teh faset.

Dimenzije in oblika faset ter njihova razporeditev kažejo na nastajanje v zelo hitrem toku. Izmeril sem več površin s takšnimi fasetami. Fasete so izrazito podolgovate, široke poprečno 9,6 mm in dolge 36,8 mm. Razmerje med dolžino in širino je med 2,5 in 6, s povprečjem okrog 4. Fasete, ki jih najdemo v drugih jamah (Slabe, 1995), imajo razmerje med širino in dolžino okrog 1–2.

Značilni za fasete so ostri robovi tam, kjer se fasete stikajo oziroma prehajajo ena v drugo. To kaže na njihovo hitro rast in na odsotnost erozijskega delovanja vode. Druga značilnost teh faset je njihova majhnost. Najmanjše fasete, ki sem jih izmeril in so bile očitno še aktivne, so bile 2 mm široke ter 9 mm dolge.

Na štirih mestih sem na površini ozkih faset z mikrometrom meril zniževanje površja faset. Meril sem na izpostavljenem grebenu skale, 1,5 m nad tokom sredi 15 m širokega dna rova oziroma struge Reke v Putickovi dvorani in na treh mestih na skali v Martelovi dvorani, 1 m nad normalno gladino Reke. Struga je v tem delu široka 10 m. Fasete lahko nastajajo, kadar je pretok Reke najmanj $10\text{m}^3/\text{s}$.



Slika 33: Ozke fasete na skali sredi struge Reke v Putickovi dvorani oblikuje hitri vodni tok. Ostri robovi in prehodi med fasetami kažejo na odsotnost erozije.

Figure 33: Narrow and elongated scallops on the boulder in the Reka river bed are formed by corrosion of the high, fast flowing water. Sharp edges among the scallops show that there is no erosion.

Meritve sem opravljal v času od leta 1992 do 1998. V tem času sem štirikrat odčital vrednost korozije. Od štirih merilnih mest je eno uničila poplava. Največje znižanje površine na preostalih devetih merilnih točkah v šestih letih je 0,05 mm, najmanjše pa 0,01 mm, kar pa je tudi na meji natančnosti instrumenta.

EROZIJSKE OBLIKE IN POVRŠINE

Erozijske oblike pokrivajo večje površine oboda Škocjanskih jam. Reka, ki priteka s fliša, je prodonosna (Kranjc, 1983). Prod, ki ga Reka prenaša ob višjih in visokih vodah, stržen toka zabija v nekatere površine ali pa z njim brusi in gladki skalne površine. Posledica obeh procesov je različno gladka površina, pa tudi različna hitrost abrazije površine.

Za ugotavljanje intenzivnosti teh procesov sem v jamah pripravil devet merilnih mest, kjer sem odčitaval zniževanje površine. Pri mikrometrskih meritvah sem imel težave, saj sem merilne točke namestil na mestih, kjer so tokovi hitri. Tok in plavje sta poškodovala nekaj merilnih točk, tako da meritve tam niso povsem zanesljive, kljub temu pa kažejo velikostni red erozijskih procesov v jamah.



Slika 34: Erozijsko zaobljena skala pri Swidovem razgledišču v Hankejevem kanalu.
Figure 34: A rock rounded by erosion from Swidovo razgledišče in the Hanke channel.

Merilne točke sem namestil na skali v Martelovi dvorani, na dveh mestih na steni ob erozijskih loncih v Putickovi dvorani, na skalo ob prodišču pri Swidovem razgledišču ter v strugi pri Četrtem slapu v Svetinovi dvorani. Eno od merilnih točk sem namestil na velik prodnik, kar pa ni bilo najbolje, saj ga je voda večkrat odnesla. Merilne točke sem namestil na dva tipa površin: na površine, kjer so vidni sledovi udarcev kamnov, na površini pa manjkajo koščki kamnine milimetrskih dimenzij; druge površine so brušene, na otip gladke vendar nedvomno erozijskega nastanka.

Meritve sem opravljal od leta 1992 do 1998. V tem času sem štirikrat odčital podatke o eroziji. Na osmih merilnih točkah na katerih lahko opravim 27 meritev, je bilo zaradi različnih vzrokov uporabnih le 17 meritev. Največje izmerjeno znižanje površine na tolčenih površinah skale je bilo 1,15 mm v Putickovi dvorani, na brušeni površini skale pri Swidovem razgledišču pa 0,14 mm. Najmanjši rezultati so bili 0,25 mm na tolčenih in 0,09 mm na brušenih površinah.

Poleg meritev erozijskega in korozijskega zniževanja struge Reke sem v jamah postal pozoren na izmenjavo korozijskih in erozijskih površin ter na odlaganje sige v dnu struge Reke. Značilnost jam je, da se v strugi Reke izmenjujejo površine, ki jih oblikuje erozija ter površine, ki jih oblikuje korozija, pa tudi površine, kjer se v strugi odlaga siga. To kaže na veliko kompleksnost dogajanja in velike razlike med procesi ob različnih vodostajih.

Fasete se pojavljajo v večjem delu struge, razen v spodnjem delu Martelove

dvorane. Površine s fasetami so v večini primerov 1–2 m nad višino nizke vode. Više ob stenah faset ni več. Erozijske površine zavzemajo največji del površin. Prevladujejo brušene površine. Mest, kamor voda zabija prodnike je manj in so omejena na manjša območja. Erozijske površine so bolj enakomerno razporejene po strugi in stenah, vendar večinoma ne več kot 5 m nad gladino srednje vode.



Slika 35: Merjenje erozije v draslji v Putickovi dvorani.
Figure 35: Measuring of the erosion by micrometer in the pot-hole in the Putickova dvorana.

Posebnost med drobnimi oblikami so vzporedne raze, ki jih najdemo na zaobljenih blokih v strugi Reke. Raze so različno velike, običajno pa gre za do 20 cm široke in dolge površine z vzporednimi razami ob robovih skal. Največ oraženih blokov je v delu jame pod Hankejevim kanalom, kjer bloki pokrivajo dno struge. Raze očitno nastanejo pri hitrejšem premikanju takih blokov, in kažejo na njihovo relativno pogosto premikanje, k čemur verjetno precej

pripomorejo tudi poplavne vode. Največji blok z razami ima dimenzije $8 \times 7 \times 11$ m in leži v Putickovi dvorani.

Ob nizkem vodostaju, ko je pretok Reke pod 50 l/s , pa so vidne v dnu struge, na skalnih pragovih in večjih skalah tudi sigove prevleke. Siga je temno rjava, laminirana ter ne dosega večjih debelin. Odlaga se v tankih laminah.



Slika 36: Skala z razami, ki nastanejo pri premikanju v strugi. Skala leži v široki strugi Reke v Martelovi dvorani.

Figure 36: Micrometer measuring of the erosion by in the pothole in the Putickova dvorana.

OBLIKE ROVOV

Oblike rofov so pomemben pokazatelj speleogenetskega dogajanja v razvoju jamskega sistema. Med seboj se močno razlikujejo. Morfološko lahko v jamah ločimo rove, ki so se oblikovali v treh različnih razvojnih fazah razvoja Škocjanskih jam. To so inicialni rovi, sledijo rovi, ki jih je oblikovala Reka, in rovi, ki so se po izoblikovanju spremenili predvsem zaradi podiranja.

Prevladujoče razlage nastanka jamskih sistemov govorijo o prvotnih prevodnikih, ki tvorijo razpoklinski hidrološki sistem. V najugodnejših smereh se laminarni tok v njih poveča. To povzroči močnejšo korozijo, ki pripelje do razširitve kanalov do te mere, da se v njih pojavi turbulentni tok. Ti kanali se nato zelo hitro razširijo do dimenzij, kot jih lahko opazujemo v jamah.

V smislu inicialnih, prvotnih rofov Škocjanskih jam razumem tiste rove, ki so se oblikovali v najugodnejši smeri glede na strukturo in gradient. To na-

vezanost lahko še vedno razberemo iz njihove oblike in usmerjenosti. Iz oblik rovov, njihove lege ter sedimentov v njih pa lahko sklepamo, da so nastali v freatični coni.

Jamski sistemi težijo k boljšemu prevajanju vode. Rovi se z vrezovanjem, obhodi in paragenezo prilagodijo značilnostim toka in gradienta (Ford & Williams, 1988, 242). Vodni tok si prilagaja oblike kanalov, spreminja pa tudi mrežo kanalov ter teži k oblikovanju rovov v nivoju vodne gladine (Ford & Ewers, 1978). Pomembno vlogo pri tem imajo tudi jamski sedimenti.

Osnovne prilagoditve mreže kanalov so (Ford & Ewers, 1978) vrezovanje (entrenchment), obtok (bypassing) in parageneza. Pri vrezovanju in paragenezi preoblikovanju gre za postopno preoblikovanje kanalov, pri obtoku pa za pretočitev v nove kanale oziroma za hiter, nezvezen dogodek, podzemsko piraterijo in obglavljanje dela kanala. Obtoki pomembnih rovov močno otežujejo razumevanje razvoja nekega segmenta krasa. Obtok rova lahko nastane kjerkoli ter lahko zaobide poljubno velik del rova. Tak razvoj pušča za seboj številne fosilne oblike, ki pa se lahko dobro ohranijo.

Inicialni rovi so tisti, ki jih je oblikovala voda po prehodu iz laminarnega v turbulentni režim toka (Ford & Williams, 1989; Ford & Ewers, 1978) in so ohranili značilnosti prvotnega stanja. Praviloma so to manjši rovi, decimetrskih do metrskih dimenzij, ki so nastali v freatični coni in se kasneje niso več bistveno spremenili. Številni so zelo majhni. Iz prečnih profilov teh rovov ter oblik na njihovih stenah lahko sklepamo, da je bila hitrost toka v njih majhna. Taki rovi so prevajali vodni tok, ki pa je bil lahko le del celotne količine Reke in ga ne moremo imenovati Reka. Predpostavljati smemo, da so se ti kanali oblikovali kot mreža subparalelnih kanalov. Tisti kanali, ki so bili v najugodnejši legi glede na gradient in v najugodnejših strukturnih pogojih, so v medsebojnem tekmovanju rasli najhitreje ter so piratizirali ostale kanale. Ohranili so svojo prvotno obliko in se kasneje le malo spreminjali, pogosto pa so jih zapolnili sedimenti.

Hitrost nastanka kraških kanalov je na osnovi laboratorijskih poskusov in matematičnih modelov izračunal Dreybrodt. Pri tem je pomembna dolžina toka, v kateri pride do zasičenja raztopine v kanalih (Dreybrodt, 1988). Iz teh računov izhajajo tudi teoretični izračuni o hitrosti umika sten v kanalih. Pri ustreznih pogojih se tako lahko razvijejo kanali metrskih dimenzij v nekaj deset tisoč letih. To seveda pomeni, da lahko obhodni rovi nastanejo v realnem času in lahko hitro prilagajajo jamski splet spremembi gradientov.

Inicialni rovi so se ohranili po celi jami. Najlažje dostopna sta Štoln in Tunel. Ta dva rova sta nastala ob tektonizirani leziki. Za razumevanje razvoja so pomembni tudi inicialni kanali – brezna, na primer brezna pod tunelom ob steni Rudolfove dvorane, brezna oziroma kamini v Müllerjevi dvorani in kamin v Hankejevem kanalu.

Rovi, ki jih je oblikovala Reka, so tisti rovi, skozi katere je tekla Reka ali njena predhodnica, ki pa je že imela lastnosti velike ponikalnice. So velikih dimenzij in so le še v manjšem delu navezani na inicialne geološke strukture.

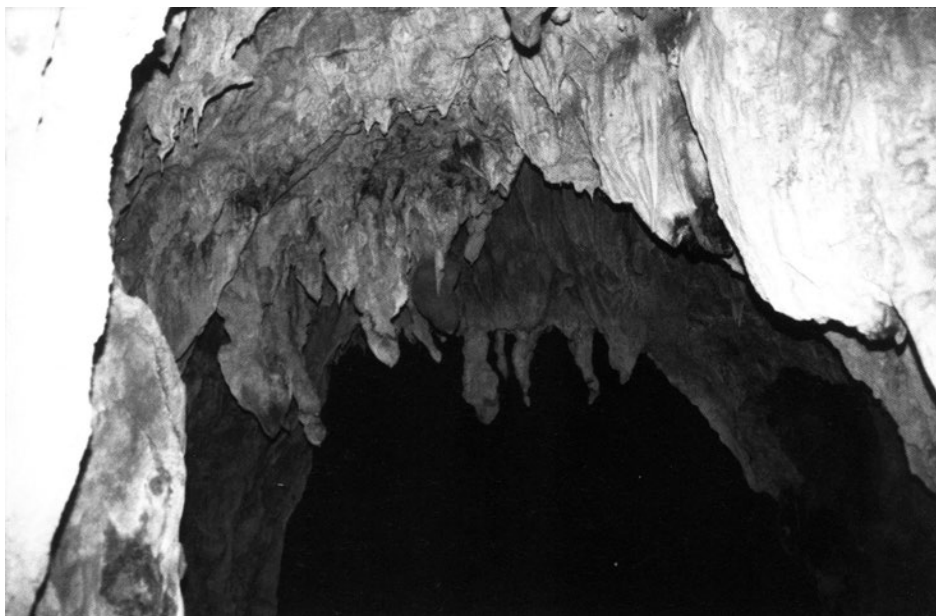
V njih je očiten morfološki dejavnik Reka, ki je s svojo vodno količino, plavjem in režimom določala njihovo obliko in razvoj.

Rovi so se oblikovali v vadoznih ali freatičnih razmerah, lahko so paragenetski ali pa erozijski. Freatični rovi Reke so rov, ki nad mostom čez Hankejev kanal vodi do Mačje brvi, del Tihe jame ter sedanji ponor Reke. Freatični nastanek lahko razberemo le iz njihovih profilov. Freatični rov je tudi večji del Tihe jame, vendar so v njem zaradi litologije ter sprememb strukturnih pogojev oblike precej drugačne kot v ostalih delih jame.

Paragenetski rovi so tisti rovi, kjer se je rov od inicialnih oblik širil predvsem navzgor (Renault, 1968; Passini, 1975). Vzrok parageneze je zasipavanje dna rova s sedimenti in iztiskanje toka ter s tem tudi korozijskega procesa pod strop rova. Parageneza je zato značilnost ponikalnic, zlasti tistih, ki v podzemlje prinašajo veliko plavja. Vendar pa prodonosnost ni edini vzrok parageneze. Še pomembnejša je nesposobnost krasa, da poveča gradient ter omogoči odvajanje vode in sedimentov z njo.

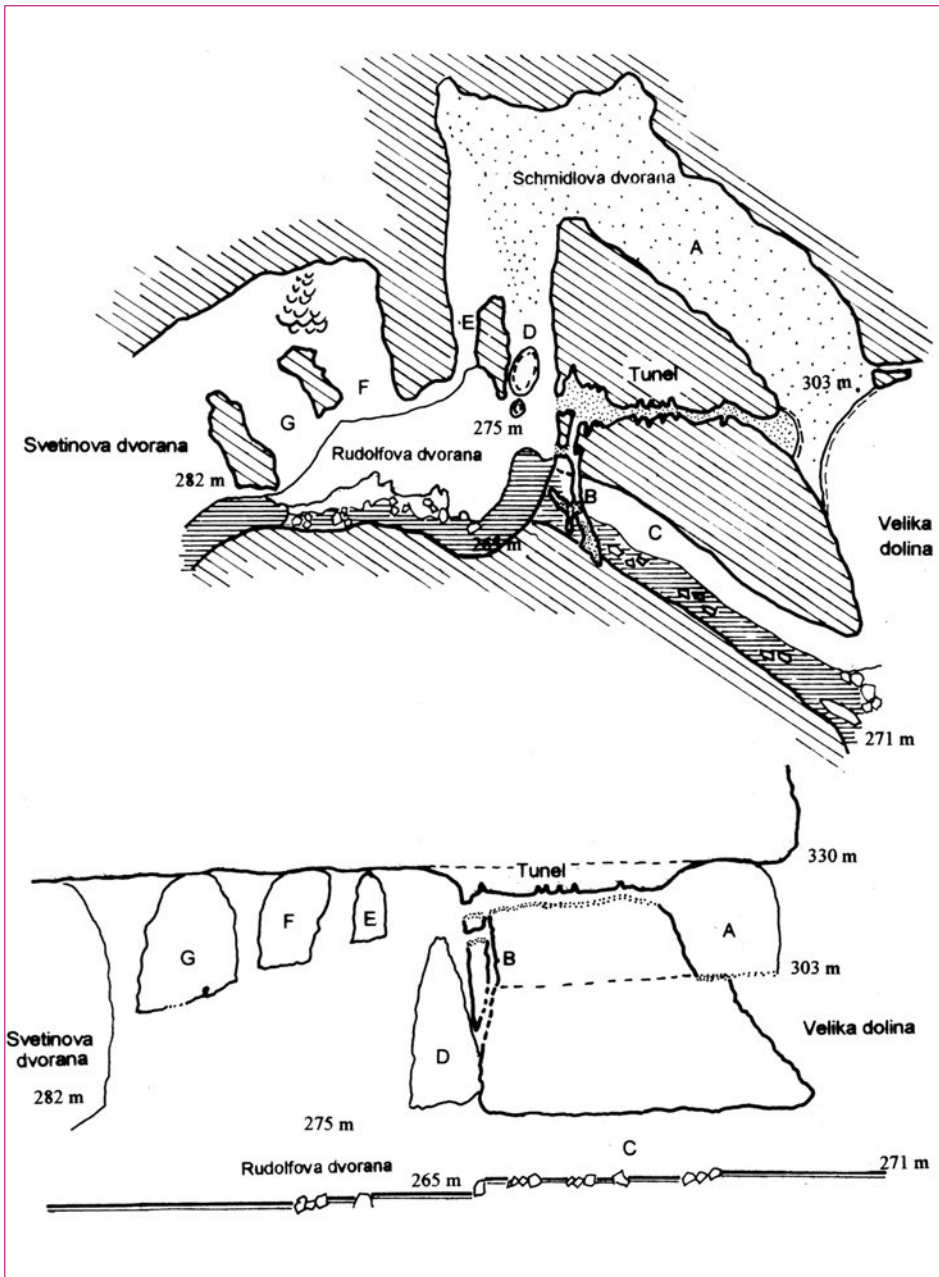
Paragenetske drobne oblike na stenah rogov so enake freatičnim. Drobne oblike oziroma skalni relief zato niso zanesljiv pokazatelj tega pojava. Na paragenezo lahko sklepamo le s pomočjo prečnih in vzdolžnih profilov rova ter sedimentov na dnu rova.

Paragenetsko uravnavanje stropa, zlasti še, če je uravnan večji odsek jame, je lahko pomemben morfološki znak (Mihevc, 1991). V Škocjanskih jamah so



Slika 37: Paragenetsko preoblikovan strop Rudolfove dvorane. Kapniki nepravilnih oblik verjetno nastajajo zaradi močnega izsuševanja ali kondenzacije vlage.

Figure 37: The ceiling of the Rudolfova dvorana that was reshaped by paragenesis. Stalagmites of different shape are result of drying and condensation.



Slika 38: Rov Tunel na tlorisu in na iztegnjenem prerezu dela Škocjanskih jam.

Legenda: A Schmidlova dvorana, B brezno v Tunelu, C Zadnji ponor, D vezni rov med Schmidlovo in Rudolfovo dvorano, E Veliko okno, F, G Dvorana ponvic.

Figure 38: Passage Tunnel and its position in the Škocjanske jame.

Legend: A Chamber Schmidlova dvorana, B shaft in the Tunnel, C Zadnji ponor, D passage between chambers Schmidlova and Rudolfova dvorana, E Veliko okno, F, G Dvorana ponvic.

se uravnani stropi dobro ohranili, medtem ko je dno rovov pogosto prekrito ali močno preoblikovano ter poglobljeno, ponekod do 80 m.

Izrazito paragenetsko preoblikovani deli Škocjanskih jam so Schmidlova dvorana ter strop Rudolfove dvorane, Dvorane ponvic in severni del Svetinove dvorane. Kljub temu, da strop poteka v smeri slemenitve plasti in prečno nanjo, je dobro uravnan. Strop Schmidlove dvorane je v nadmorski višini 330–328 m, strop Rudolfove dvorane v nadmorski višini 328 m, strop v Dvorani ponvic pa v nadmorski višini 329 m. V enaki nadmorski višini je tudi strop severnega dela Svetinove dvorane.

Gravitacijski razvoj rovov omogoča znižanje splošne gladine kraške vode. Vodni tokovi tečejo skozi rove s prosto gladino ter erodirajo in korodirajo predvsem navzdol. Najlepši gravitacijski profil ima nedvomno Hankejev kanal, kjer se je Reka poglobila v freatični rov za 60–80 m. Manj, okrog 40 m, se je poglobila v Oknu ter še manj, do 10 m, v Mahorčičevi in Mariničevi jami ter v dnu Velike doline.

Razvoj jame, predvsem povečevanje rovov, je sprožil sekundarne procese v jami, med katerimi je gotovo najpomembnejše podiranje. Pri tem pa se v Škocjanskih jamah kaže, da pretrtost kamnine določa intenziteto in obseg podiranja. Intenzivnost procesov se hitro spreminja vzdolž rovov, kar je predvsem posledica dejstva, da rovi prečkajo različne geološke strukture.

Vse te razvojne faze – oblikovanje inicialnih kanalov, oblikovanje velikih freatičnih rovov ter gravitacijske in paragenetske pojave lahko ločimo samo teoretično, saj je verjetno del tega oblikovanja potekal sočasno.

MORFOLOŠKI OPISI ROVOV IN NJIHOVA VLOGA V JAMSKEM SISTEMU

Štoln je kratek, le okrog 40 m dolg rov, ki vodi od poti pred Tominčevo jamo pod naravni most, imenovan Okno. Prvotno je bil delno zasut in zato neprehoden. Ob koncu prejšnjega stoletja so skozenj uredili turistično stezo.

Nastal je ob tektonizirani leziki z oznako 600, ki vpada pod kotom 20° v smer 220° . Rov je v profilu lečast, do 1,5 m širok in do 2 m visok. Poteka v smeri SZ–JV. Oblikoval se je v freatičnih pogojih in se kasneje ni več bistveno spremenil. Na razvoj rova v freatičnih pogojih in na počasen vodni tok skozi rov kažejo zaobljene stene. Sediment je bil v rovu odložen verjetno kasneje, ko je vanj že vdiral Reka iz jame med obema dolinama.

Tunel je rov, ki se začne pod vrhom Schmidlove dvorane in vodi vodoravno proti zahodu. V steni Rudolfove dvorane se odpre v obliki nekakšnega balkona. Prvi načrt in opis rova je naredil J. Marinitsch (1904). Rov je dostopen po plezalni poti. Skozenj je v preteklem stoletju vodila posebna turistična pot, izdelana v sedimentu v dnu rova. Rov je pomemben, ker v njem lahko vidimo prvotni freatični rov, ki se je razvil vzdolž lezike.

Rov se je oblikoval v nadmorski višini med 300 in 305 m, ob leziki 400.

Poteka skoraj vodoravno v smeri V–Z. Na vzhodni strani se odpira pod stropom Schmidlove, na zahodni pa Rudolfove dvorane.

Rov je v prerezu ovalen, do 3 m visok ter do 6 m širok. Ker je v večjem delu zasut s sedimentom, lahko obliko živoskalnega dna vidimo le na obeh koncih, kjer je bil sediment iz njega spran. Rov seka v zahodnem delu razpoklinska cona v smeri S–J. Cona je v morfologiji rova izražena s prečnimi zajedami in kamini. Na teh mestih se prerez rova bistveno spremeni.

Na stenah rova so ohranjene oblike, ki bi lahko nastale v freatičnih pogojih ali ob naplavini. Te oblike so izrazite ob nišah in kaminih razpoklinske cone. Tu so nastale tudi stropne kupole. Nikjer v rovu pa ni obnaplavinskih anastomoz ali stropnih kanalov.

Zaradi močnih prepihov je pomemben dejavnik oblikovanja drobnega skalnega reliefa v rovu tudi kondenzna korozija. Skala je preperela okrog 5 mm v globino. Med mesti, kjer se odlaga сига, in sosednjimi nezaščitenimi površinami je do 1 cm višinske razlike, ki jo lahko pripišemo kondenzni koroziji.

Na vzhodni strani se Tunnel odpre v navpični vzhodni steni Rudolfove dvorane. V tem delu poteka prečno na izrazito razpoklinsko cono. Pred koncem rova se od njega odcepi ozek, poprečno 1 m širok in do 2 m visok rov, ki sledi eni od razpok razpoklinske cone. Vodilna struktura rova ni več lezika 400, ampak razpoke razpoklinske cone, ki potekajo v smeri S–J. Rov prehaja bočno iz ene v drugo razpoko, dela kolenaste zavoje, se dvigne in se potem nav-



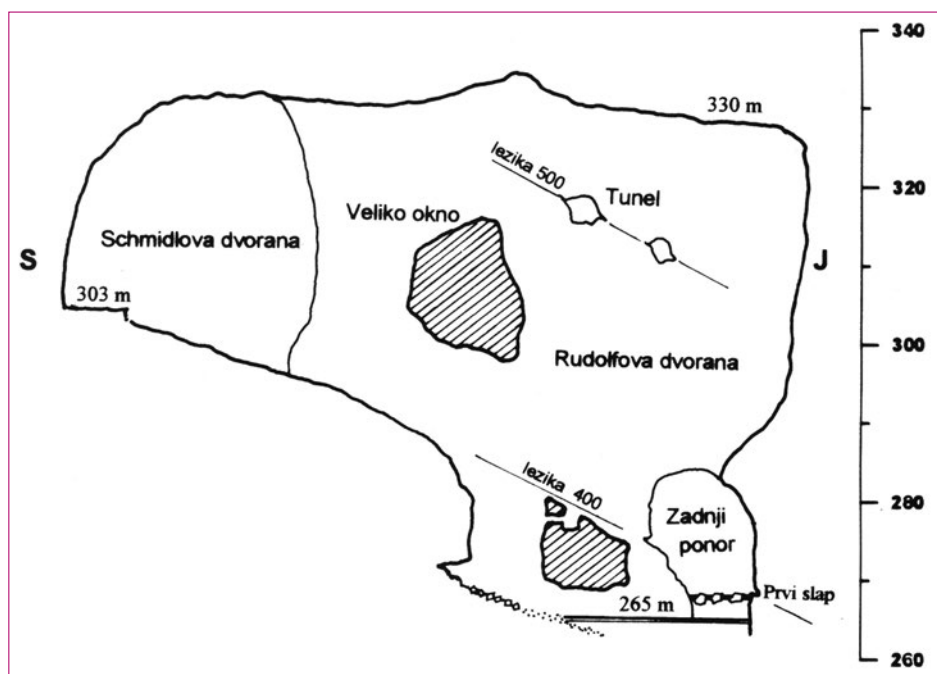
Slika 39: Rov Tunnel. Eliptični rov pokrivajo v spodnjem delu sedimenti.

Figure 39: Passage Tunnel. Phreatic elliptical profile is partly filled with sediments.

pično spusti za okrog 20 m v nekaj krajših breznih. Na treh mestih se brezna odprejo v steni, okrog 40 m nad dnom Rudolfove dvorane. Navpični odseki so v prerezu lečasti. Stene brezen kažejo podobne reliefne oblike kot stene tunela. V stropu so vidne razpoke razpoklinske cone, vendar pa skozi njih ni prihajalo do vertikalnega prenikanja. Ta del rova je očitno nastal v freatičnih pogojih v razpoklinski coni. Rovi oziroma brezna v njih so verjetno povezovali obe pomembni leziki, leziko 400 in leziko 500. Iz sledov v jami pa ni jasno, ali se je voda v teh breznih dvigovala ali spuščala. Izhodi rova in brezen v Rudolfovo dvorano kažejo, da so se podobna brezna nahajala tudi v območju Rudolfove dvorane in rova, ki Rudolfovo dvorano povezuje s Schmidlovo dvorano.

Očitno so ti vertikalni freatični rovi ohranjeni del vertikalnega freatičnega skoka med lezikama 500 in 400. Izhodi v Rudolfovo dvorano nakazujejo tudi možen nastanek tega prostora. Ob glavnih prevodnih kanalih, vzporednih freatičnih breznih je prišlo do hitre rasti in njihovega širjenja. Brezna so tako prerasla eno v drugo, oziroma se zrušila v skupen prostor, ki se je kasneje razvil v Rudolfovo dvorano.

Hankejev kanal imenujemo rov med Müllerjevo in Martelovo dvorano. Rov poteka sprva v dolžini 550 m v smeri 300° , nato pa se pri točki 54 obrne v smer 330° in se po 250 m razširi v Martelovo dvorano. V rovu je več manjših



Slika 40: Prerez čez Rudolfovo dvorano v smeri S–J, z vrisanimi tektoniziranimi lezikami, ob katerih sta nastala Zadnji ponor in Tunel.

Figure 40: Cross section of the Rudolfova dvorana. Tectonised bedding-planes along which passages Zadnji ponor and Tunel formed.

razširitev, ki so jih raziskovalci poimenovali dvorane – na primer Putickova dvorana, Rinaldinijeva dvorana, Deževna dvorana itd.

Na začetku Hankejevega kanala je njegovo dno v nadmorski višini 251 m, strop pa v nadmorski višini 325 m. Pri dnu je kanal širok manj kot 10 m, pod stropom pa 15-20 m. Proti dnu kanala se na nekaj mestih kažejo zožitve, vanje pa so vrezana zelo ozka korita. Ta so na najožjem mestu široka le 2 m.

Zaradi dostopa v kanal po strugi ali po ozki poti 15–20 m nad Reko je težko natančneje pregledati njegov vrhnji del. Kljub temu pa smo z elektronskimi meritvami na enajstih mestih izmerili njegovo višino ter celotni profil.

Hankejev kanal, zlasti njegov prvi del, do točke 54, je največji ter najdaljši enoten jamski rov v jami. Rov ima v gornjem delu lečast profil, ki je nagnjen vzdolž lezike 300. Ta del profila je 15–20 m širok ter približno 8 m visok. Vanj je vrezana nekaj metrov ožja, 70–80 m globoka, gravitacijska soteska. Ob isti leziki sta se razvila tudi del stropa in krožni rov, ki se pridruži jami v steni



Slika 41: Dno Hankejevega kanala. Značilne so velike skale, ki leže v strugi reke, in masivne sigove kope ali polstebri.

Figure 41: The bottom of the Hanke channel. Characteristic view on the large boulders forming the river bed and massive flowstone domes or halfpillars.

Müllerjeve dvorane. Proti zahodu, oziroma v smeri 300° pa poteka gornji fre-
atični del rova skoraj popolnoma premočrtno v smeri slemenitve. Strop rova
se v 550 m spusti od nadmorske višine 325 m na 313 m, njegovo dno pa z nad-
morske višine 252 m na 230 m oziroma za 18 m.

Kanjonski, gravitacijsko poglobljeni del Hankejevega kanala je nerazčle-
njen. Stene so navpične ali rahlo nagnjene navzven. V stenah kanala so tri
manjše zajede in dve razširitvi, nastali ob prelomih v smeri S-J.

Dno kanala je večinoma živoskalno, deloma pa ga pokrivajo tudi veliki
skalni bloki. V dnu je mogoče opazovati izrazite erozijske oblike, pa tudi fa-
sete. Polja faset so omejena na tiste površine, kjer ni znakov erozijskega pre-
oblikovanja skale. V kanalu je več manjših slapov, visokih do 4 m. Največji je
Trinajsti slap. Preliva se preko velikega bloka sige, ki se je odkrnil s severne
stene kanala v Deževni jami. Ostali slapovi so le do 2 m visoki in padajo preko
živoskalnih pragov v smeri razpoklinskih con.



Slika 42 : Raziskovanje
Šumeče jame leta 1884.
Na Heillmannovi ilu-
straciji je prikazan spust čez
Šesti slap. (Pazze, 1893).
*Figure 42: The explora-
tion of Šumeča jama in
1884. On the illustra-
tion by Heillmann is the descent
over The sixth waterfall
(Pazze, 1893).*

Celotni del rova kaže na dve morfološko izraženi fazi. Najprej se je v smeri 300°, ob tektonizirani leziki, oblikoval freatični kanal. Sledilo je enakomerno vrezovanje Reke. Če je v tem času prišlo do morebitnega zastajanja vrezovanja ali zasipanja kanala, se to v sami morfologiji soteske ni odrazilo. Starost vrezovanja kanala ni določena. Masivni sigovi polstebri v območju Deževne jame pa so začeli rasti ob koncu pleistocena.

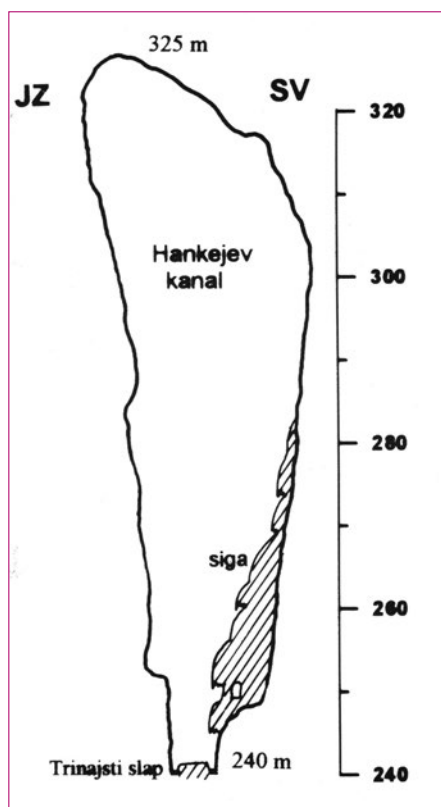
Šumeča jama. Raziskovalci, ki so v sredi prejšnjega stoletja raziskovali jamo po Reki, so genetsko in morfološko enotni jamski prostor dojeli kot dve dvorani. Poimenovali so ju Svetinova in Müllerjeva dvorana. Gospodarič (1983) obe dvorani skupaj imenuje Šumeča jama.

Šumeča jama je razpotegnjena v smeri S–J. Njen severni del se odpira v Dvorano ponvic in v Rudolfovo dvorano. Proti jugu se odpira v Tiho jamo in v Hankejev kanal, ki ostro zavije proti severozahodu. Gladina Reke je v gornjem delu jame v nadmorski višini 262 m, v spodnjem delu pa v nadmorski višini 251 m. Šumeča jama je dolga 250 m in na najširšem mestu široka 80 m. Njen volumen je 870.000 m³, površina pa 16.700 m².

Šumeča jama je nastala v Škocjanskem paketu apnencev, med lezikama 400 in 300. V gornjem delu dvorane oziroma v Svetinovi dvorani je v dnu razgaljena velika ploskev lezike 400, v stropu Müllerjeve dvorane pa lezika 300.

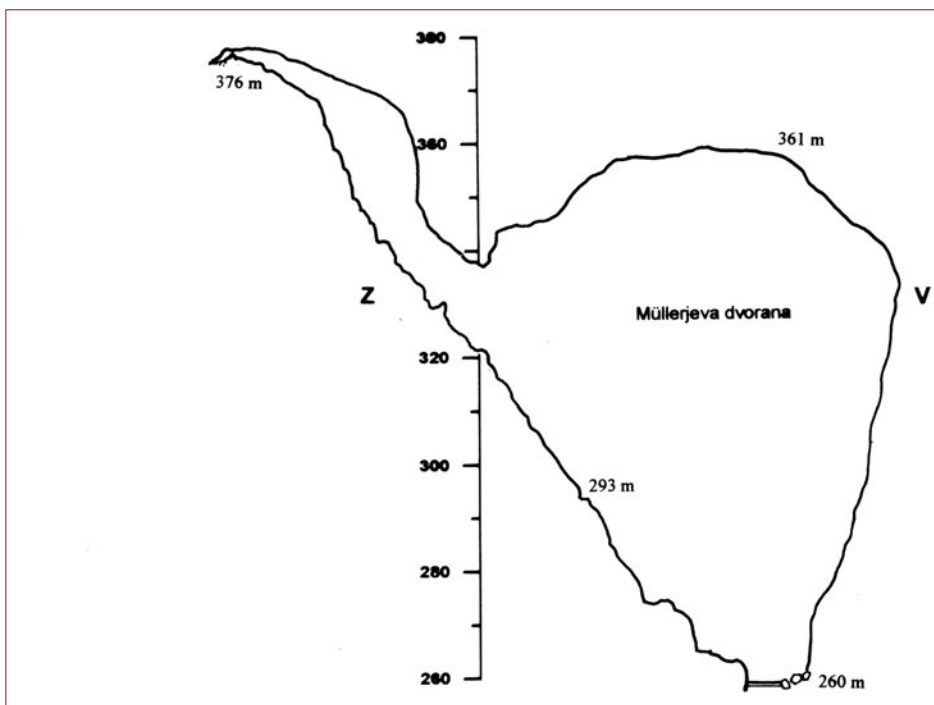
Dvorano sekajo za razumevanje nastanka jame pomembni prelomi. Glavni poteka v smeri 350° po osi dvorane. Pojavi pa se še več drugih prelomov. Pomembna sta dva: prelom 350/55° in prelom 350/60°. Oba sta morfološko dobro izražena.

Reka se v Šumeči jami v brzicah in v dveh slapovih spusti za 11 m. Struga je v večjem delu ožja od 10 m. Največjo širino dosega dvorana okrog 30 m nad dnom. V dnu dvorane se pojavljajo recentne erozijske oblike in fasete. Vendar pa ne seže več kot 1–2 m nad srednjo višino vode v dvorani. Višje prevladuje skalni relief nedoločljivih oblik in odlomne ploskve. Večina od-



Slika 43: Profil Hankejevega kanala v Deževni jami pri Trinajstem slapu.

Figure 43: Profile of the Hanke channel at Deževna jama near 13th waterfall.



Slika 44: Prečni profil Müllerjeve dvorane, ki je del Šumeče jame.

Figure 44: Cross section over Müllerjeva dvorana, part of the chamber Šumeča jama.

lomnih ploskev je nastala ob tektonskih ploskvah razpoklinskih con in prelomov.

Ob odlomnih ploskvah je oblikovan tudi večji del stropa Šumeče jame. Na začetku Tihe jame je strop v nadmorski višini 320 m in sledi leziki 300 do najvišje točke dvorane, ki je nad Šestim slapom. Tu je strop dvorane v nadmorski višini 360 m dvorana pa je visoka 104 m. V stropu je verjetno zaradi prečnega preloma nastala s podiranjem precejšnja kupola. Iz nje so ob prelomnih ploskvah izpadli bloki metrskih dimenzij. Ostanke tega podora ležijo nad Šestim slapom, ob vzhodni steni dvorane.

Najvišji del Šumeče jame pa ni v podorni kupoli, pač pa v kaminu, ki je v zahodnem delu Müllerjeve dvorane. Kamin se odpira v boku dvorane in se kupolasto zaključí. Iz njega vodi proti zahodu ovalen rov, ki je po nekaj metrih zatrpan s sedimenti. Vrh kamina in ovalni rov, sta nastala ob leziki 300, ki je na tem mestu v višini 376 m oziroma 116 m nad Reko v Müllerjevi dvorani. Kamin in rov sta ostanek starega freatičnega spleta.

V severnem delu Šumeče jame se strop zniža na 330 m nadmorske višine, tu je že paragenetsko uravnan in se izteče v strop Dvorane ponvic.

Za razumevanje nastanka Šumeče jame sta ključnega pomena oblikovanost stropa na obeh krajih dvorane in oblikovanost rogov na pritočni ter



Slika 45: Svetinova dvorana v Šumeči jami. Brzica v ospredju slike je Četrty slap. Najširši del jame je okrog 20 do 30 m nad strugo Reke.

Figure 4 5: Chamber Svetinova dvorana in Šumeča jama. Rapids of the Reka are named the Fourth waterfall. The widest part of the chamber is about 20–30 m above the present level of the reka river.

odtočni strani dvorane. Večji del prostornine Šumeče jame je nastal zaradi podiranja sten, ki ga je sprožilo vrezovanje Reke, in ne zaradi podiranja stroga. Tega ne moremo trditi za sosednji Hankejev kanal, kjer pri enakem vrezovanju Reke v istih plasteh ni prišlo do podiranja sten in večanja prostornine jame. Podiranje sten in večanje volumna Šumeče jame tako ni le posledica vrezovanja Reke, ampak moramo njegov vzrok iskati drugje.

Večina volumna Šumeče jame je nastala v skladovnici apnenca med lezikama 400 in 300. Ker so se prvi kanali razvili ob teh lezikah, je morala voda »preskočiti« iz lezike 400 v stratigrafsko 125 m višjo leziko 300. Freatični dvig je lahko nastal ob vertikalnem prelomu ($350/90^\circ$), ki poteka v osi dvorane. To

pomeni, da je voda v pretrti coni tega preloma ob dvigu navzgor izdelala navpične kanale – brezna in korozijsko razrahljala prelomno cono. Brezna so se kasneje bočno zrasla v enotno, večjo dvorano. Ostanek takega brezna je kamin v Müllerjevi dvorani, enakega nastanka so brezna v steni sosednje Rudolfove dvorane. Opisan primer razloži večanje volumna Šumeče jame z dvema različnima procesoma: s freatičnim dvigom vode, nastankom brezen in njihovim zraščanjem ter poznejšim vrezovanjem Reke in posledičnim rušenjem sten.

Podobno je nastala nekoliko manjša Rudolfova dvorana. Tudi tu je prišlo do zraščanja rogov in podiranja na območju freatičnega skoka med kanala-ma, ob lezicah 400 in 500. Do podiranja pa ni prišlo v steni med Rudolfovo dvorano in Veliko dolino, kjer so se ohranili rovi in brezna freatičnega skoka.

Martelova dvorana je z 2.100.000 m³ največja dvorana v Škocjanskih jamah ter obenem največja dvorana na Krasu. Dvorana je dolga 308 m in na najširšem mestu široka 123 m. Poprečna širina dvorane je 89 m. Strop dvorane je v poprečju visok 106 m, na najvišjem mestu pa 146 m.

Dvorana se začne pri Dvaindvajsetem slapu, kjer se Hankejev kanal razširi in zviša. Večji del dna, ki je tu široko 25 m, zavzema struga Reke. Tlorisna širina rova pa je 66 m. Pod slapom se začne dvorana hitro širiti. V prvem delu dvorane so tla ob desnem, vzhodnem bregu Reke. Najvišje so 30 m nad strugo. V severni polovici dvorane teče Reka ob vzhodni steni, tla dvorane pa se vzpenjo proti zahodni steni za 47 m. Pokrivajo jih velike podorne skale, preko katerih se je v spodnjih delih odložil prod, višje pa pesek in finejši sedimenti. Dno dvorane leži v nadmorski višini med 233 m in 214 m. Strop je v nadmorski višini 310–370 m, površje nad njim pa med 430 in 445 m nadmorske višine.

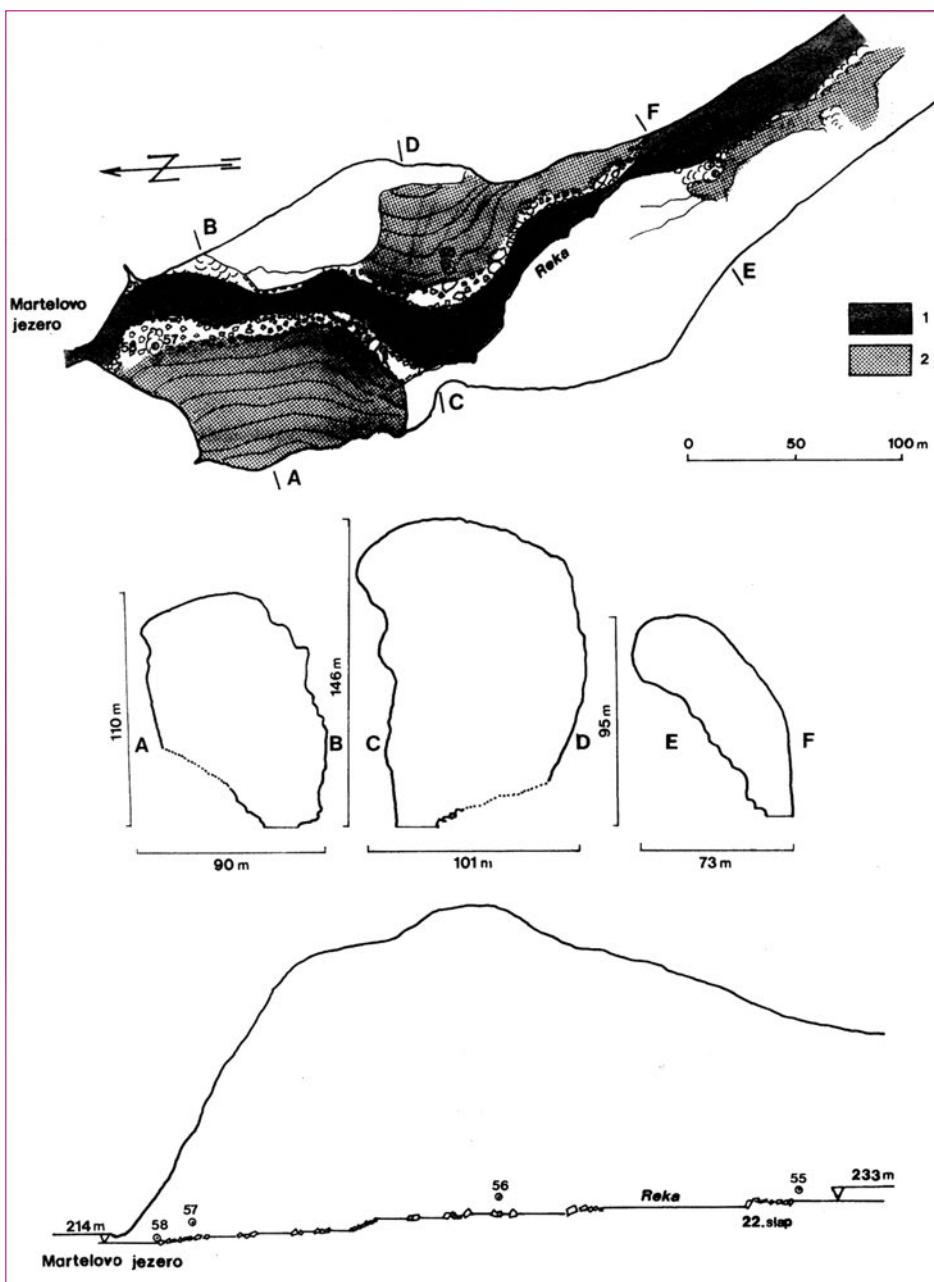
Stene dvorane so oblikovane ob velikih odlomnih površinah, ki sledijo tektonskim ploskvam. Morebitnih inicialnih rogov v dvorani nismo opazili. Zaradi velikih dimenzij dvorane nismo mogli dobro osvetliti, zato ni povsem gotovo, kakšne so njihove oblike v gornjih delih. Pomemben je prelom 330/85°, ob katerem se dvorana konča in izrazita razpoklinska cona, ob kateri je oblikovana vzhodna stena dvorane.

Okno je kratka, le 50 m dolga jama med Veliko in Malo dolino. Visoko je približno 45 m, na najširšem mestu pa je široko 20 m. Reka vstopa vanj v nadmorski višini 305 m, potem pa v treh slapovih doseže jezero v Veliki dolini v nadmorski višini 270 m.

V morfologiji Okna so jasno vidni trije elementi. Gornji del, imenovan tudi Miklov skedenj, je nastal kot freatičen lečast rov ob leziki 500. V spodnjem delu Okna je podobno nastal manjši ovalni rov, nadaljevanje Štolna, ob leziki 600. Povezuje ju ozki vadozni kanjon. Vrhnji del Okna je bil oblikovan kot freatični kanal v nadmorski višini 320 m. Vadozni preboj navzdol kaže, da sta rova delovala hkrati v freatičnih pogojih, potem pa se je zgornji vrezal navzdol.

Mahorčičeva in **Mariničeva jama** sta imeni za dva dela enotnega rova, skozi katerega Reka v nadmorski višini 317 m prvič vstopi v podzemlje. Rov se spusti za 17 m do Male doline. Prvi del rova, Mahorčičeva jama, poteka v smeri slemenitve plasti. Prvotni rov je nastal ob leziki 500, vendar se je pozneje

vrezal, delno pa tudi paragenetsko zvišal. V tem delu se v jamo spusti brezno Okroglica. Spodnji del rova, Mariničeva jama, zavije proti jugu ob vpadu skladov in se spusti v Malo dolino.



Slika 46: Tloris in prerezi Martelove dvorane.

Figure 46: Ground plan and cross sections of the chamber Martelova dvorana.

Tominčeva jama je rov, ki se odpira v severni steni Velike doline, v nadmorski višini okrog 312 m. Rov je dolg 240 m, do 50 m širok in do 10 m visok. Sprva poteka proti severu, vendar ga po okrog 100 m začne čelno zapirati podorni grušč v obliki melišča. Rov se močno zoži, med meliščem in zahodno steno pa se nadaljuje še izven območja zasipanja. Po nekaj deset metrih se konča. Podorni grušč, ki se je v rov odložil v obliki melišča, izvira iz višjih votlin ali udornice Lisična, katere dno je v nadmorski višini 345 m.

Tla v rovu pokrivata poplavna ilovica in pesek, v zadnjem delu tudi grušč in siga. Strop je v isti nadmorski višini kot v Schmidlovi dvorani in je podobno oblikovan.

Tiha jama je z Veliko dvorano in Podorno dvorano del Škocjanskih jam, ki jih genetsko najteže opredelimo, saj se v tem delu jam močno spremenijo litološke razmere. Prvi del jame je v plastovitih krednih apnencih, nato pa v plastovitih in močno tektonsko poškodovanih paleogenskih apnencih (Gospodarič, 1984).

Tiha jama sprva poteka proti JV, v smeri slemenitve do Velike dvorane. V Veliki dvorani se jama nadaljuje v ozkem in nizkem Labirintu, ki poteka z vpadom plasti proti JZ. V vznožju Podorne dvorane se rov obrne proti SZ, se razširi in dvigne, dokler se ne konča s čelnim podorom v Paradižu. Dno rova v celoti pokrivajo sedimenti (Gospodarič, 1984), strop pa je razčlenjen zaradi plastovitosti in prelomov ter zaradi podiranja.

Tiha jama se iz Müllerjeve dvorane vzpne v dolžini 80 m od 308 do 338 m nadmorske višine. Rov je okrog 20 m širok in do 10 m visok. Strop poteka v tem delu v nadmorski višini med 328 in 341 m. V najvišjem delu se rov razširi na 30 m in ostane tako širok 80 m do Velike dvorane. Zaradi plastovitih apnencev in preloma v smeri S-J je rov neizrazitih oblik. Na stenah in stropu prevladujejo oblike, ki kažejo na nastanek rova v freatičnih pogojih. Dno rova pokrivajo poplavne ilovice in peski, živoskalno dno pa ni nikjer vidno. Nasuto dno v prečnem prerezu ni ravno. Ob zahodni steni je v celotni dolžini znižano na 333 m nadmorske višine. Ta pas nižjih tal se nadaljuje v dno Velike dvorane, kjer se v dolžini 50 m spusti na 323 m nadmorske višine. V tem delu je v podorni material, ki tvori dno Velike dvorane, vrezan erozijski jarek.

Jama se nato nadaljuje v Labirintu. Njegovo dno leži v nadmorskih višinah 323 m in 310 m. Živoskalnih dimenzij in oblike rova ne poznamo, saj je v veliki meri zasut s plavjem, gruščem, pomešanim s peski in ilovicami. Ob teh naplavinah so na stropu nastale obnaplavinske oblike, ki dokazujejo, da se je voda pretakala pod stropom še potem, ko je bil rov povsem zapolnjen. Zapolnitev rova pa nedvomno izvira iz Velike dvorane in Tihe jame.

V spodnjem delu Labirinta se je na naplavino odložila velika sigova kopa, ki se imenuje Šotor. Turistična pot poteka tik ob njej, zato je spodnji del kope prerezan. Datacija spodnjega dela sige je pokazala starost 37.000 let. Siga je odložena na peščeni in ilovnati sediment.

SPELEOGENEZA ŠKOCJANSKIH JAM IN OKOLIŠKIH UDORNIC

Razvoj Škocjanskih jam, zlasti pa še nastanek velikih dvoran, je mogoče razložiti s pomočjo hidroloških značilnosti Reke, morfologije jamskih rogov in z lastnostmi geoloških struktur, ob katerih so nastali rovi. Z analizo vseh teh značilnosti ugotavljamo poglobljena morfogenetska dogajanja v posameznih odsekih jam, ne moremo pa jih točno časovno opredeliti, saj nam manjkajo zanesljivi časovni reperji. Datacije sige so nezanesljive zaradi kontaminacije s poplavno ilovico, predvsem pa so premlade, ilustrirajo lahko dogajanja v jamah na prehodu iz pleistocena v holocen. Tudi meritve recentnih procesov, erozije in korozije odražajo le stopnjo sedanje intenzivnosti teh procesov.

V Škocjanskih jamah ločimo freatične rove, rove, ki so se gravitacijsko poglobili, in rove, ki so se paragenetsko preoblikovali. Prvi rovi Škocjanskih jam, ki kažejo na nastanek v freatičnih pogojih, so se oblikovali ob lezikah, ki jih označujemo s šiframi 300, 400, 500 in 600 in sledijo slemenitvi skladov. Rovi so prevajali vodo istočasno. Med njimi se je voda pretakala tudi vzdolž tektonskih struktur, prelomov in razpoklinskih con, ki potekajo večinoma v smeri S–J. Pretakanje je zahtevalo velike freatične dvige in spuste, ki dosega na območju Svetinove in Müllerjeve dvorane okrog 175 m. Vsi ti rovi so prevajali znatne količine vode, ki pa tedaj še ni mogla prenašati proda. Prod so verjetno prevajali rovi, ki jih najdemo danes kot denudirane jame med Lisičnim dolom in Lipovimi dolinami.

Iz oblike jamskih rogov lahko sklepamo, da je obstajalo daljše časovno obdobje, ko je bila gladina kraške vode v nadmorski višini okrog 300 do 340 m, gradient pa usmerjen proti jugozahodu. Reka se je prilagodila tem pogojem in oblikovala velike rove v tej višini. Rovi so se oblikovali z vrezovanji, paragenezo, nekateri pa so verjetno nastali kot obhodni rovi. Po njih so se zlasti poplavne vode lahko izognile oviram ali velikim ovinkom, ki jih povzročajo freatične zanke. Tako so nastali veliki rovi Mahorčičeve in Mariničeve jame, Tominčeve jame, Schmidlove dvorane in Dvorane ponvic. V isti nadmorski višini so nastali tudi rovi Tihe jame in zgornji inicialni del Hankejevega kanala. Gradient Reke v njih je bil majhen, zato je voda odlagala sedimente in nad njimi paragenetsko uravnala strope. Paragenetsko preoblikovanje pa ni zajelo rova, v katerega se je kasneje poglobil Hankejev kanal.

Na osnovi ohranjenih sledov plavja in nadmorske višine, lahko dobro razložimo oblikovanje Tihe jame. Čeprav obstoji možnost, da jo je oblikoval pritok z Brkinov (Gams, 1968), pa za to ni jasnih morfoloških dokazov. Gotovo je, da je zadnji vodni tok, ki je še tekkel skozi jamo, prihajal iz Müllerjeve dvorane. Ta voda je pred podorom v Veliki dvorani odlagala pesek in ilovico do nadmorske višine 338 m. Če bi voda pritekala z nasprotni strani – z Brkinov, za podorom ne bi odlagala sedimenta. Kasneje se je pretok skozi Tiho

jamo zmanjšal, saj je večino vode že prevajal Hankejev kanal. Zato je lasten nasip znižala s 338 m na 334 m nadmorske višine. Vrezala se je tudi v podor v dnu Velike dvorane in s tem gradivom zatrpala Labirint. Ker je najnižja točka Labirinta 310 m in leži njegovo živoskalno dno gotovo še 10 m nižje, je proti JZ usmerjen gradient tega dela jame precej velik.

V nadaljnjem razvoju je v Škocjanskih jamah prevladovalo močno vrezovanje, ki je imelo vzrok izven same jame. Vrezovanje smemo povezati z dvema nadmorskima višinama, v katerih so nastali tudi rovi Kačne jame. Razlog je torej regionalen, vendar se je v obeh jamah odrazil na različen način. V Kačni jami je prišlo do prilagajanja predvsem z razvojem nižje ležečih obhodnih rovov, v Škocjanskih jamah pa z močnim vrezovanjem.

Do vrezovanja je prišlo najprej v Martelovi dvorani. To je pritegnila vode, ki so se prej pretakale po paragenetskih rovih v nadmorskih višinah 300 do 340 m v Tiho jamo, skozi inicialni rov Hankejevega kanala. Razvoj Hankejevega kanala, ki kaže na enakomerno vrezovanje brez prekinitev, je vseskozi določal tudi dinamiko vrezovanja v delih nad njim.

Šumeča jama je poglobljanju sledila z lahkoto. Vrezovanje je olajšalo izsipanje tektonsko porušene in korozijsko izjedene kamnine oziroma cone freatičnega skoka. Tako lahko razložimo izjemne dimenzije tega dela jame. Med Veliko dolino, Rudolfovo in Schmidlovo dvorano in Dvorano ponvic pa se Reka ni vrezovala, ampak je uporabila starejše freatične rove kot obhodne rove. Obhodni rovi so: rov med Veliko dolino in Rudolfovo dvorano, rov med Schmidlovo in Rudolfovo dvorano ter rov med Rudolfovo dvorano in Šumečo jamo. Manj so se z vrezovanjem poglobili rovi v Oknu in v Mariničevi ter v Mahorčičevi jami.

Razvoj Škocjanskih jam oziroma celotnega podzemlja je vplival tudi na oblikovanje udornic. Kako je potekal razvoj udornic Velike in Male doline, težko razložimo, saj se je tu ohranilo le nekaj kratkih rovov. Vendar pa lahko sklepamo, da so nastanku velikih udornic botrovali podobni pogoji kot nastanku Šumeče jame. Ob primerni tektonski pretrtosti je prihajalo do cirkulacije vode, ki je omogočala korozijsko rahljanje v freatičnih in kasneje v vadoznih pogojih. Udornice so torej posledica strukturnih razmer in speleogeneze jame.

Pri proučevanju nastanka in geneze Škocjanskih jam je treba upoštevati še ostanke denudiranih jam ter starih udornic in dolgega razvoja jam na tem območju. Najstarejši rovi so danes razgaljeni na površju. Če upoštevamo zniževanje kraškega površja, so stari več milijonov let. Za razumevanje razvoja jam je pomembna denudirana jama, ki ji lahko sledimo 1800 metrov po površju, SV od Škocjanskih jam, iznad sten Lisičnega do la do kapnika v Lipovih dolinah. Gre za do 20 m širok, v reliefu dobro viden jarek ali niz vrtač. Sige in fluvialni sedimenti na površju dokazujejo, da je bila to nekoč jama, ki je prevajala veliko ponikalnico. Denudirana jama leži na mestu, kjer lezike 500, 600, 700 presekajo ravnino površja. Torej je na nastanek te jame vplivala razporeditev istih tektoniziranih lezik kot v Škocjanskih jamah.

KAČNA JAMA

Prva raziskovanja Kačne jame so povezana z iskanjem podzemnega toka Reke za Škocjanskimi jamami. A. Hanke je s pomočjo domačinov leta 1891 dosegel dno vhodnega brezna in raziskal del jame. Za lažji dostop v jamo so domačini leta 1895 pod vodstvom J. Marinitscha naredili plezalno pot skozi 186 m globoko vhodno brezno. V nekaj letih so odkrili in dokumentirali okrog 2 km rogov, ki ležijo 200 m pod površjem (Marinitsch, 1896; Müller, 1901). Podzemnega toka Reke niso dosegli, opazili pa so, da dele jame zaliva voda, kar so povezovali s poplavami Reke. Leta 1972 je bil odkrit Marušičev prehod (Kenda & Petkovšek, 1974), ki je odprl pot do podzemnega toka Reke v spodnjih delih jame. Trenutno je raziskanih okrog 12 km jame (Mihevc, 1984; Nagode, 1998).

GEOLOŠKE RAZMERE V JAMI IN MORFOLOGIJA JAMSKIH ROVOV

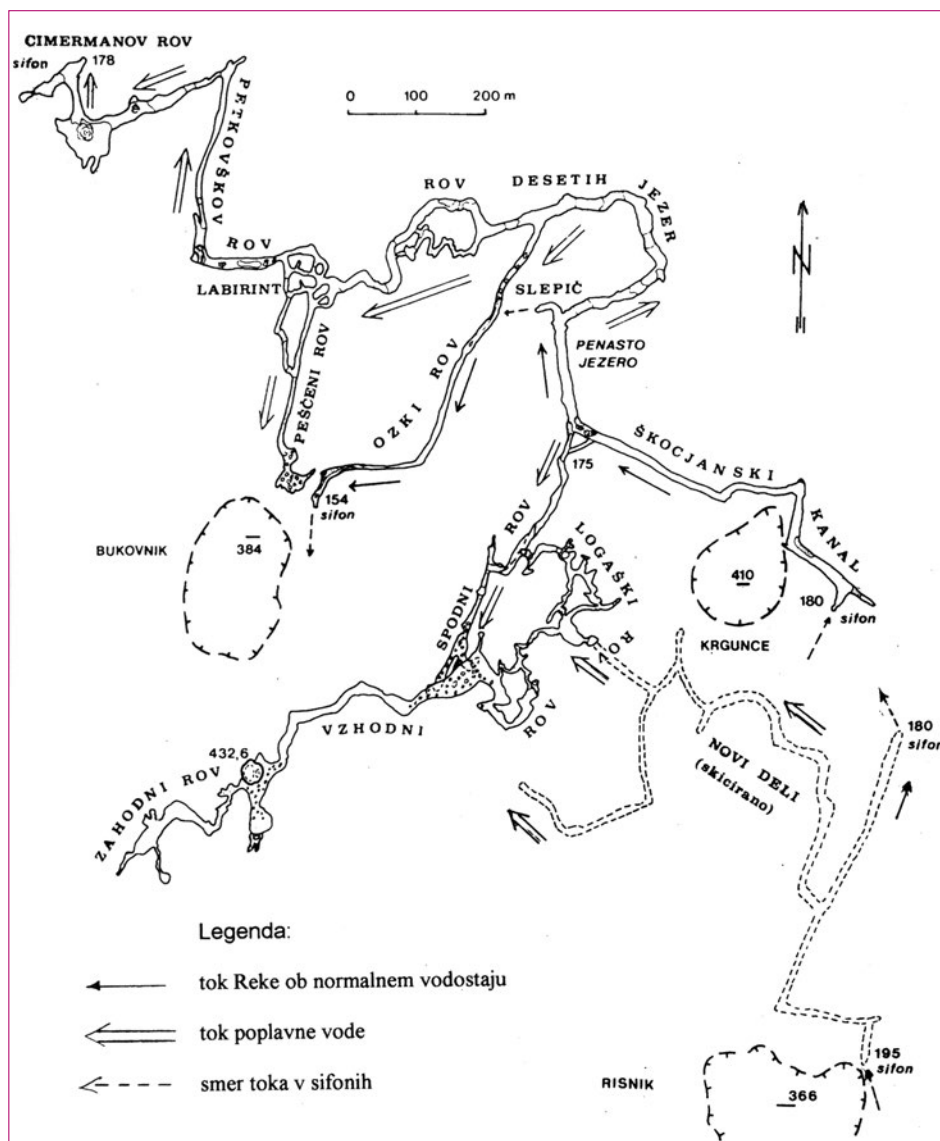
Jama leži v skladovitih krednih apnencih. Od 0,5 m do 1 m debele plasti imajo smer 170–195° ter vpadni kot od 15–25°. V spodnjem delu jame, v delu Škocjanskega kanala ter v Rovu desetih jezer se pojavljajo tudi dolomitizirani apnenci kredne starosti. Izraziteje kot plastovitost je v jamski morfologiji opazna vloga različnih razpoklinskih sistemov ali prelomov. Le-ti vplivajo na potek in oblikovanje jamskih prostorov.

Najopaznejše v morfologiji rogov in v morfologiji cele jame so razpoklinske cone, ki potekajo v smeri S–J. Kjer prelomi sekajo rove, so nastale večje dvorane, povezave med etažami in vhodno brezno. Ob razpoklinski coni je nastala tudi velika udarna dolina Bukovnik, ki leži nad jamo, ter 140 m globoko brezno Košava jama, katerega dno je 100 m nad Ozkim rovom.

Gornje dele Kačne jame tvorijo neaktivni ali le občasno aktivni rovi Reke. Reka je skozi del rogov tekla s prosto gladino, del rogov pa se je oblikoval v coni freaticnega pretakanja vode, kar je moč razbrati iz njihovih prereзов, poteka in razvejanosti. Z zniževanjem vodne gladine v krasu je postal gornji del jame neaktiven, poplavne vode so občasno v njem odlagale flišni pesek in ilovico, prenikajoča voda pa sigo. Ob prelomnih conah so se oblikovale velike dvorane.

V rovih spodnje etaže Kačne jame teče Reka ob normalnem vodostaju v dolžini 1500 m, ob višji vodi pa je etaža popolnoma zalita. V njej opazamo dva

morfološka tipa rovov. Ozki in visoki rovi potekajo večinoma v smeri S–J ali SZ–JZ. Poleg prečnega profila je zanje značilen še večji strmec. Prevajajo srednje in nizke vode ter imajo manjšo prevodnost. Poplavna voda v njih odlaga drobnejše plavje, pesek in blato. Širši in nižji rovi spodnje etaže imajo majhen strmec ter generalno smer proti SZ. So glavni prevodniki visoke vode. V njih so velike količine recentnega nekarbonatnega in karbonatnega proda, le v zatišnih mestih je v njih odloženo drobnejše plavje.



Slika 47: Kačna jama. Načrtu (Mihevc, 1984) so dodani novi deli jame (Nagode, 1998).
 Figure 47: Kačna jama. To the plan (Mihevc, 1984) new parts (Nagode, 1998) are added.

DROBNE OBLIKE V JAMI

Drobne oblike reliefa na skalnih stenah Kačne jame pričajo o sedanjem in o nekdanjem morfološkem dogajanju v jami. Pokrivajo vse jamske stene, najdemo pa jih tudi na podornih skalah. Za morfogenetsko proučevanje so zanimive le nekatere oblike na tistih mestih v jami, ki pričajo o procesih, ki jih z drugimi opazovanji ne moremo ugotoviti.

Fasete so gotovo ena najbolj proučenih drobnih jamskih oblik. V Kačni jami so fasete relativno redke. Največ jih je v spodnjem delu jame, v rovih, po katerih Reka stalno teče. V Škočjanskem kanalu in v Ozkem rovu so fasete nastale predvsem na skalah, ki ležijo sredi toka, manj faset pa je na samih stenah. Polja faset so majhna, iz velikosti faset pa se zaradi močno razčlenjenih sten ne da ugotoviti za njihov nastanek dominantnega pretoka. V tem delu jame so skale prekrite s tanko plastjo blata, ki ga za seboj pustijo poplave, kar priča o razmerah, ki niso ugodne za nastanek faset. Več faset najdemo v višjem Rovu desetih jezer in v Petkovškovem rovu do Cimermanove dvorane. Fasete se v tem delu pojavljajo na stenah ter na erodiranih ostankih skal in sigovih kop na dnu rova. Na takih mestih se fasete prepletajo z erozijskimi oblikami na skalah.

Pomembnejše so fasete, ki jih lahko najdemo v zgornjih delih jame. V breznu, ki povezuje Spodnji in Logaški rov, so nastale fasete v nadmorski višini 210 m. Fasete kažejo na smer toka navzgor. Nastale so na sigi, ki jo odlaga sigotvorni curek. Ta priteka s sigove kope Saturn in na nekaj mestih na fasete odlaga novo sigo. Vendar sta procesa v ravnotežju, kar pomeni, da je oblikovanje faset še recentno. Fasete so vidne v zoženem delu brezna, kjer je profil rova velik le okrog 2 m². Drugo polje faset, ki je pomembno za razumevanje hidroloških razmer v jami, so fasete na koncu Vzhodnega rova v nadmorski višini okrog 235 do 240 m. Pokrivajo skalne stene in nekaj manjših kapnikov. Kažejo na smer toka navzgor oziroma proti jugozahodu. Na polje faset je bil v preteklosti z rdečo oljnato barvo narisana nekakšen znak. Na njem je na nekaterih mestih barva že zbrušena, kar dokazuje, da do te višine še segajo poplave, kar potrjujejo tudi blatne stene.

Erozijske površine na skali kažejo na hitre vodne tokove, ki prenašajo prod in pesek. Največ erozijskih površin je v spodnjih delih jame, v Rovu desetih jezer ter v Petkovškovem rovu in v Labirintu, kjer so stene ponekod obrušene do stropa. Erozijske površine se od korozijskih površin ločijo po sledovih udarcev prodnikov. Na otip so še vedno hrapave in se tako ločijo od korozijskih površin, ki so na otip gladke.

V rovu Desetih jezer, kjer je rov širok okrog 10 m, so sledovi erozije omejeni predvsem na tla, ki pa so po večini pokrita z do 5 cm velikim prodom. Močnejša erozijska površina, predvsem erozijska stena, je vidna v Petkovškovem rovu. Tu so profili rova manjši, temu primerna pa je večja hitrost toka. Tako najdemo sledove udarcev prodnikov do več metrov nad tlemi. Zaradi neravnih sten in

spreminjajočega se profila rova pa ni mogoče izračunati pretoka vode skozi te rove ob poplavi.

Erozijskih površin ne najdemo v Ozkem in v Spodnjem rovu, to je v najnižjih rovih, ki vodijo proti jugozahodu.

Stropne kotlice ali stropne kupole so morfološko in genetsko različne oblike, ki jih najdemo na stropu jam. Nastanejo v freatičnih pogojih. V strokovni literaturi o nastanku stropnih kupol ni enotnega mnenja (Slabe, 1996). V Kačni jami so morfološko pomembne in značilne kupole le v Logaškem rovu. V prečnem prerezu so pravilnih okroglih ali ovalnih oblik, navzgor pa se stopnjasto ožijo oziroma prehajajo v kupole z manjšim prerezom. Prehodi so ostri in lepo izraženi. Najvišja kupola v nizu, ki je obenem najmanjša, je pravilnih oblik in v večini primerov ne kaže navezanosti na razpoke ali druge strukturne elemente v kamnini.

Strop in stene Logaškega rova so prevlečene s tanko blatno prevleko, ki jo za seboj pustijo pogoste poplave. V stropnih kupolah pa te prevleke ni; najdemo jo le v spodnjem delu kupol. Meja med obema površinama kaže višino, do katere je v kupolo segla poplavna voda. Ob naraščanju poplave voda stiska ujeti zrak v kupolo, očitno pa kupol voda ne zalije. Kakšna je vloga stiskanja zraka pri oblikovanju kupol, ni jasno, zdi pa se, da ta pojav pomembno vpliva na njihovo oblikovanje.

Erozijski lonci so v jami redek pojav. Največ jih najdemo v SZ delu jame,



Slika 48: Korozijski kotlički pri Ogabnem jezeru v Logaškem rovu. Nastali so v poplavni coni jame v nadmorski višini 214 m, 35 m nad običajno gladino Reke.

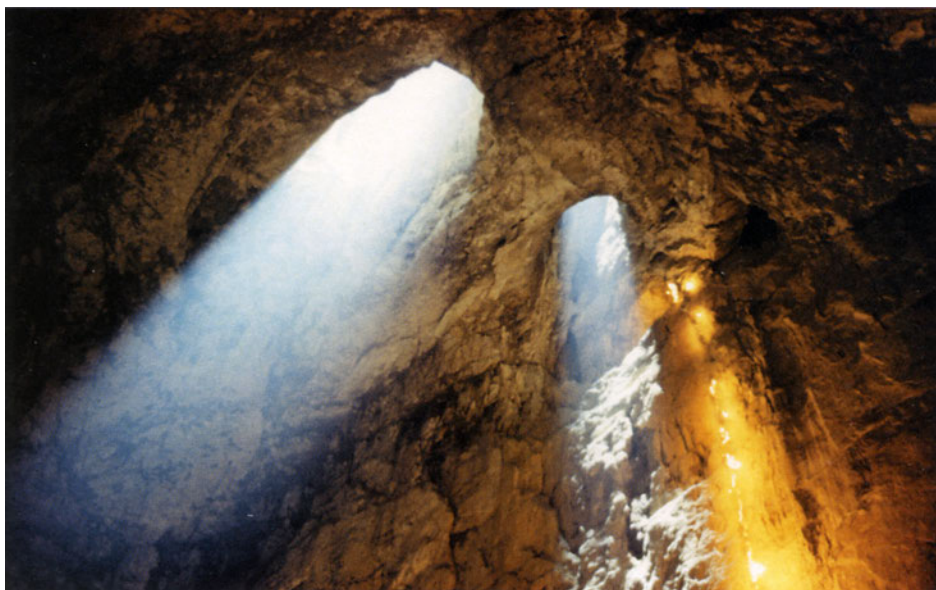
Figure 48: Solution pits on the wall in Logaški rov passage. They were formed in flood zone at elevation of 214 m, 35 m above the usual water level of the Reka river.

pokrivajo pa tudi dno rovov v Labirintu. Tako se imenuje splet rovov, ki se od Petkovškovega rova odcepijo proti Peščenemu rovu. Lonci so v dnu zapolnjeni s prodrom. Zanje je značilen močan tok, velik pretok in majhen vertikalni gradient. Zato se ne poglobljajo, ampak se širijo.

Korozijski kotliči so nastali v rovih, kjer najdemo sledove poplav v obliki tanke plasti naplavljenega blata. Kotliči nastanejo zaradi lokalno ojačene korozije. V tako nastali vdolbini se koncentrirata organska prevleka in voda, zato se te oblike poglobljajo in širijo. Prevladujejo okrogle oblike, ki sestavljajo različne, reliefu skale prilagojene mreže. Čeprav vladajo podobni pogoji na daljših odsekih rovov, pa se kotliči pojavljajo le lokalno. To kaže na dejstvo, da imajo zelo pomembno vlogo pri njihovem nastanku tudi litološke lastnosti kamnine.

Največ korozijskih kotličev je v spodnjem delu jame, v Ozkem, Peščenem in Spodnjem rovu, ki so pogosto poplavljeni. Tu prevladujejo vdolbinice centimetrskih dimenzij. V Logaškem rovu, pri Ogabnem jezeru in v prehodih pri Saturnu so ponekod tudi decimetrske, med seboj zrasle vdolbine, ki ustvarjajo nekakšno satovje z mnogimi bočnimi povezavami.

Podori so pomemben element v morfologiji Kačne jame. V jami lahko ločimo podore, kjer je odpadlo od sten ali stropa nekaj skale in »prave« podore, kjer je podiranje morfološko pomemben proces. Zaradi horizontalne in verti-

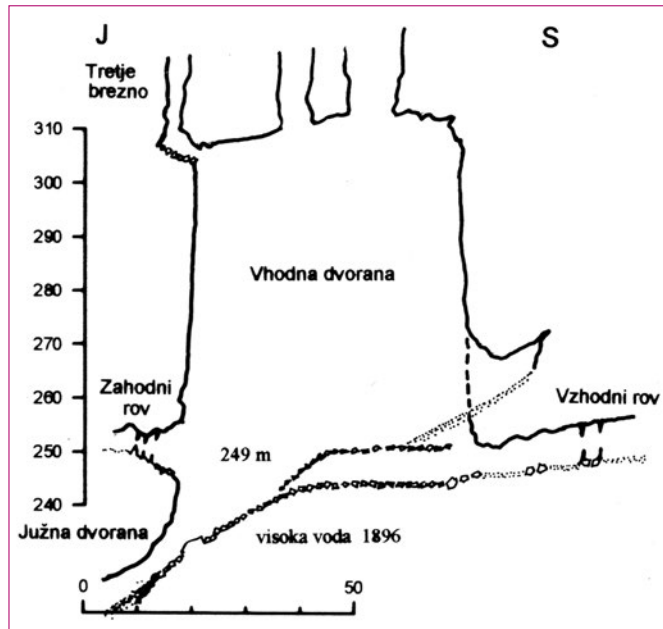


Slika 49: 60 m visoka Vhodna dvorana Kačne jame. V stropu dvorane se končujejo brezna, ki vodijo na 186 m višje površje. Med dolgo ekspozicijo slike je jamar, ki se je vzpenjal po vrvi, s svojo lučjo napravil pretrgano svetlobno sled.

Figure 49: 60 m high entrance chamber of Kačna jama. In the ceiling, there are parallel shafts leading to the surface which is 186 m above. During the long exposition of the film the caver left the trace of his light while climbing.

Slika 50: Prečni prerez Vhodne dvorane Kačne jame.

Figure 50: Cross section of the entrance chamber of the Kačna jama.



kalne razprostranjenosti rogov lahko v jami opazujemo ali spremljamo pogoje in dejavnike, ki podiranje usmerjajo. Podiranje ni enostavna posledica slabih mehanskih lastnosti kamnine, ampak strukturnih in predvsem speleoloških procesov. Ti lahko v določenih pogojih omogočijo nastanek velikih dvoran in tudi udornih dolin na površju.

V strokovni literaturi so opisani primeri podiranja rogov zaradi mehanskih lastnosti kamnine (White, 1969) ali kot posledica sprememb kraškega sistema (Brenčič, 1993). Na navezanost jamskih etaž in podornih con na tektonske linije v jamah Postojnskega jamskega sistema je opozoril Habič (1982). Podrobneje sta tektonske strukture in njihov vpliv na rove kartirala Čar in Šebela (1997). Intenzivnost in klimatske vplive na kršenje sten v jamah je na primeru Predjame opisal Kranjc (1981), oblike posipnih stožcev ter udornice Šušteršič (1984), drobno oblikovanost odlomov oziroma skalni relief pa Slabe (1996).

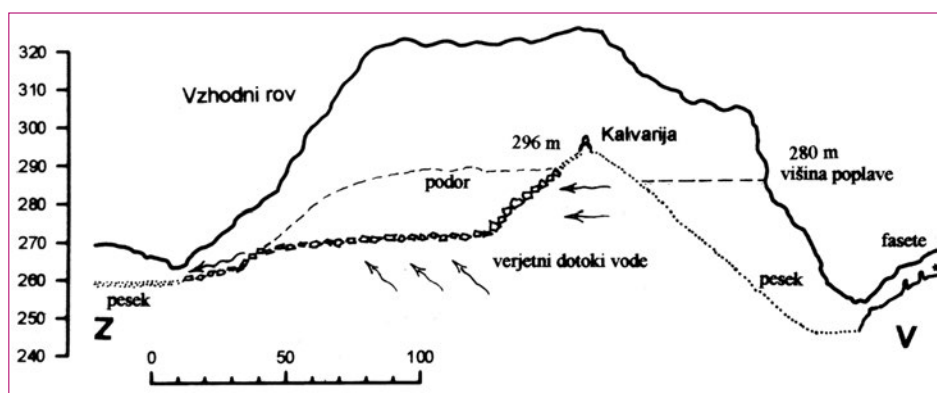
Področja intenzivnejšega sedanjega ali starega podiranja so v Kačni jami okrog vhoda v jamo, na območju pri Kalvariji, v Spodnjem rovu v Hojkerjevi dvorani, v Lojzovem podoru na koncu Peščenege rova in v Cimermanovi dvorani. Na mestih, kjer lahko opazujemo podorne in odpadle bloke, so se prvotni rovi razširili ali zvišali in se ponekod spremenili v prave dvorane.

Pod Vhodnim breznom je nastala okrog 60 m visoka Vhodna dvorana. Nastala je na mestu, kjer se stikajo Južna dvorana, Vzhodni rov, Zahodni rov in 186 m globoko Vhodno brezno. Dno dvorane pokriva grušč. Med njim so tudi posamezne večje skale, vendar pa ni večjih blokov. V zahodnem in vzhodnem delu dvorane je dno uravnano, proti jugu pa se dno kot melišče spušča v Južno dvorano. Melišče v spodnjem delu prekriva drobno plavje, predvsem

peščena siva ilovica, kakršno najdemo v gornjih delih jame. Grušč v dnu dvorane kaže na počasno enakomerno odpadanje. Težko je oceniti, koliko gruščča izvira iz sten dvorane in koliko iz 186 m globokega brezna. Težko je oceniti tudi delež antropogenega gruščča.

Dno dvorane prečka od SV proti J do 8 m globok jarek, ki je razčlenil nekoč enotno ravno dno pod vhodnim breznom. Jarek je očitno vrezala voda, ki občasno priteka iz Vzhodnega rova v Južno dvorano. Stene dvorane so oblikovane vzdolž večjih prelomnih ploskev in razpok razpoklinske cone, ki potekajo v smeri S–J. Razpoklinska cona je izražena tudi na površju, severno od vhoda v jamo do Bukovnika.

Podiranje na območju Kalvarije je ustvarilo največji prostor v jami. Tla rova so v dolžini 150 m pokrita s podornimi skalami. Podorni bloki se pojavijo nad Kapniškim prehodom (v nadmorski višini 260 m) in segajo do Kalvarije.



Slika 51: Vzdolžni prerez dela Vzhodnega rova. Sedimenti kažejo na občasno poplavljanje tega dela jame do nadmorske višine okrog 280 m.

Figure 51: Section of the part of Vzhodni rov passage. Sediments are indicating the flooding of this part of the cave to the level of 280 m a.s.l.

V Kapniškem prehodu rastejo na skalah veliki stalagmiti. Rov se nato razširi na 30 m, na najširšem mestu celo na 50 m in zviša na približno 40 m. Dno rova se dvigne tik za prehodom za okrog 10 m, nato še za 26 m na 296 m nadmorske višine, potem pa se spusti onstran vrha Kalvarije za 50 m na nadmorsko višino 245 m.

Podorno kamenje, ki leži na dnu rova, je veliko, med njim so skale metrskih dimenzij. Stene kažejo velike gladke odlomne ploskve, ki so nastale ob razpokah razpoklinske cone. Ta cona poteka v smeri 20–200°. V tem delu jame so na več mestih močna kapljanja sigotvorne vode, vendar na podoru ni velikih kapnikov. Kapljanja je za Kalvarijo manj. Kljub temu pa je tu na ilovici zrastle nekaj velikih stalagmitov.

Vrhnji del podora Kalvarije je pokrit z debelo plastjo ilovnatih peskov, na peskih pa se je odložila tudi velika sigova kopa. Strmo vzhodno pobočje

Kalvarije pokrivata v celoti flišni pesek in ilovica, jugozahodno pobočje pa podorni bloki.

Alohtone peske in ilovico so na najvišjem delu podora odložile poplave. Na tem mestu bi pravzaprav lahko pričakovali najintenzivnejše in najmlajše odpadanje skal s stropa. Sigova kopa, ki raste na peskih in ilovicah, pa dokazuje visoko starost teh naplavin. Čeprav bi alohtone sedimente pričakovali po celem podoru, jih najdemo le na njegovem vrhu in na vzhodnem delu podora.

Takšne razporeditve sedimentov na podorih lahko opazujemo v spodnjih delih Kačne jame, kjer je na pritočnih straneh podorov odloženo drobnejše plavje, odtočne strani pa so sprane (Mihevc, 1984). Podorni kup Kalvarije predstavlja tako oviro poplavni vodi. Dvig vode v rovu vzhodno od Kalvarije nam izpričujejo aktivne fasete v nadmorski višini 259 m. Voda pa lahko priteka tudi iz Hojkerjeve dvorane, ki leži pod Kalvarijo. Na osnovi razporeditve drobnega plavja lahko sklepamo, da voda pred Kalvarijo naraste do nadmorske višine približno 280 m in se čez podor, ki je višji, ne prelije. Voda se preceja skozi podor ter na zahodni strani podora izvira in teče proti Vhodni dvorani. Na občasni tok vode, ki teče od Kalvarije proti Vhodni dvorani, kažejo tudi struge v dnu rova in Vhodni dvorani, obsežne ravnice naplavljenega kremenčevega peska na položnejših delih rova, ali mesta, kjer voda ponika v boku rova, na primer pri Kapniškem prehodu.



Slika 52: Pogled na podor Kalvarije v Vzhodnem rovu.

Figure 52: View to the Kalvarija, heap of collapse boulders in the passage Vzhodni rov.

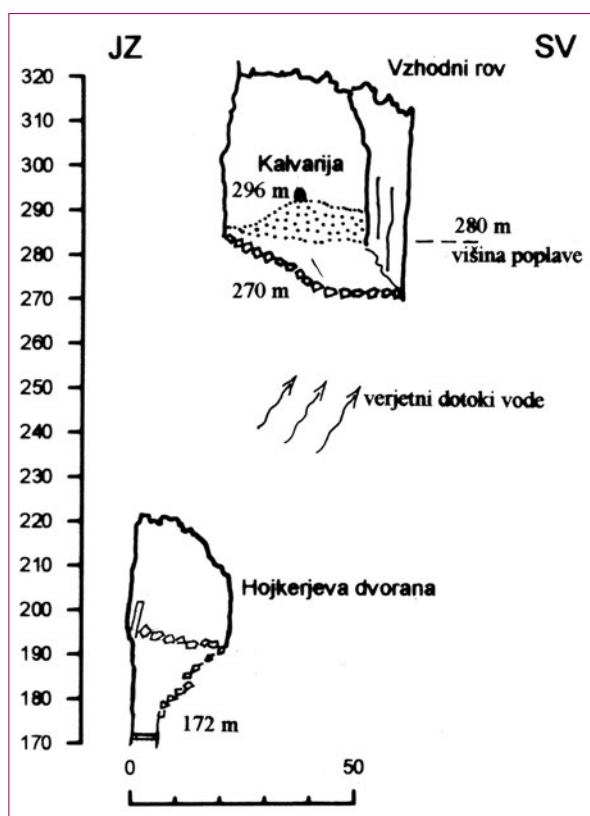
Pod Kalvarijo leži v Hojkerjevo dvorano razširjeni del Spodnjega rova. Spodnji rov je širok le nekaj metrov. V Hojkerjevi dvorani, katere dno je v nadmorski višini 196 m, pa se razširi do 25 m. Celotni rov in dvorana sta nastala

ob isti razpoklinski coni kot Kalvarija. Stene dvorane so premočrtne, oblikovane ob razpokah razpoklinske cone.

Dno dvorane v celoti pokriva podor. Iz dvorane vodi nekaj krajših rovov vzdolž razpok, vzporedno z glavnim prostorom dvorane. V končnem delu dvorane, ki je v tlorisu pod najbolj spranim delom rova zahodno od Kalvarije, pa je odtočni sifon v nadmorski višini 172 m. Ta del jame še redno poplavlja Reka, zato so v njem odloženi tudi kosi lesa, drobnejše plavje pa je sprano.

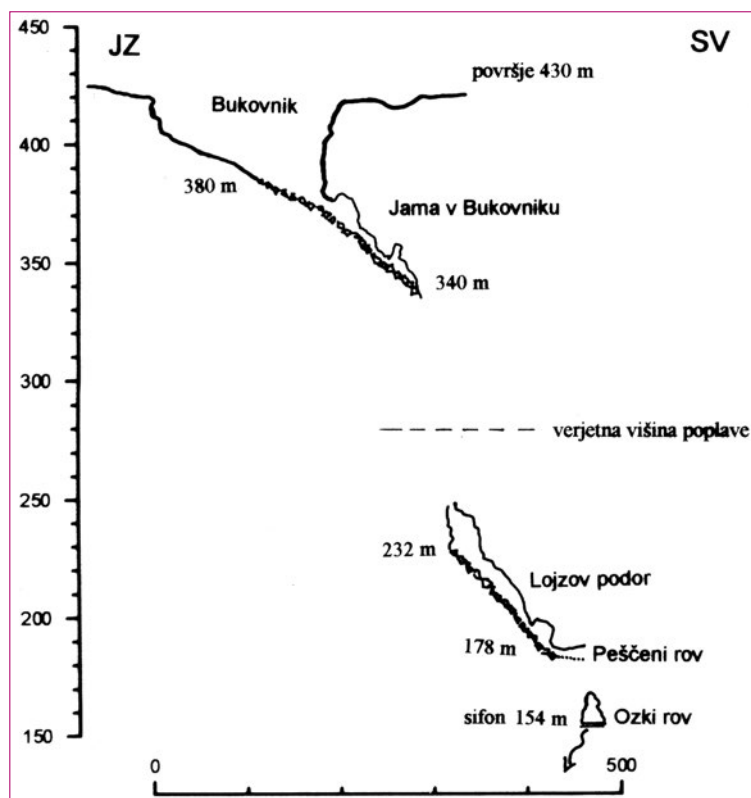
Če primerjamo obe dvorani, vidimo, da se podirata ob istih tektonskih strukturah, vejetno na sečišču dveh razpoklinskih con. Na površju nad jamo so opazne razpoklinske cone v smeri 220–40°, to je v smeri, v kateri poteka Peščeni rov, pa tudi v smeri 270–90°, ob kateri se je oblikovala vzhodna stena rova pred Kalvarijo. Verjetna je tudi hidrološka povezava med obema podornima dvoranama, tedaj voda priteka skozi podor iz rovov, ki leži SV od podora Kalvarije.

Drugo veliko podiranje rovov v jami je nastalo na območju Lojzovega podora in Bukovnika. Podorno območje predstavlja Lojzov podor v Ozkem rovu v nadmorski višini 154 m, podor v Peščenem rovu med nadmorskima višinama 181 in 235 m, udornica Bukovnik, z dnom je v nadmorski višini 384 m, in podor v Jami v Bukovniku, katere dno je v nadmorski višini 338 m. V podorih in jamah so močni prepahi, kar dokazuje da gre za isti podor.



Slika 53: Prečni prerez Vzhodnega rova v območju Kalvarije in Hojkerjeve dvorane.

Figure 53: Cross section over the Vzhodni rov in the region of Kalvarija and Hojkerjeva dvorana chamber.



Slika 54: Prečni prerez dola Bukovnik in jame v Bukovniku. Pod njim je prečni prerez Peščenega in Ozkega rova, kjer je najnižja točka jame pri odtočnem sifonu Reke.

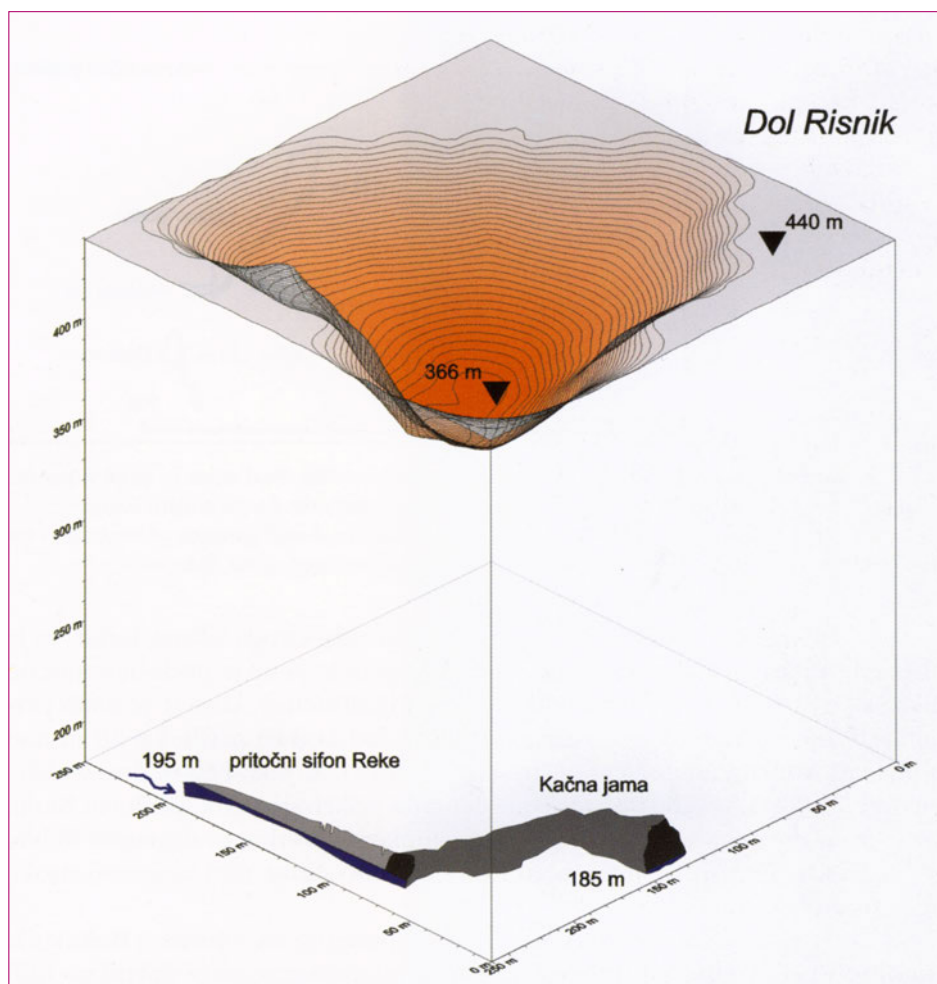
Figure 54: Cross section over collapse dolina Bukovnik, cave in it and passages of the Peščeni rov and Ozki rov, which is the lowest point of the cave and outflow sump of the Reka river.

V Ozkem rovu dosežemo podor v bližini odtočnega sifona Reke, ki je obenem tudi najnižja točka jame. Podor v tem delu jame je podoben močno tektonsko pretrtemu apnencu z bloki metrskih dimenzij, ki so se le malo premaknili, tako da lahko celo rekonstruiramo, od kod so prišli. Le 30 m nad njim je na koncu Peščenega rova nastala Lojzova dvorana, katere dno se dvigne do nadmorske višine 235 m. Dno dvorane pokrivajo veliki podorni bloki. Voda med njimi odteka, ujame se le večje plavje, predvsem drevesna debla. Dvorana se dviguje proti jugu, konča pa se s strmo steno, nad katero so visoki, nedostopni kamini.

Nad Lojzovo dvorano leži v smeri S–J razpotegnjena udornica Bukovnik. Njeni severni in zahodni pobočji sta navpični, mestoma pa je navpično tudi južno pobočje. Stene pobočij dola so se oblikovale ob prelomni coni S–J in ob prečnem prelomu, ki poteka v smeri V–Z. Dno Bukovnika je uravnano v nadmorski višini okrog 384 m. Na severnem koncu se dno poglobi in spusti pod severno, navpično steno udornice v Jamo v Bukovniku.

Jama v Bukovniku je ostanek nekdanjega večjega prostora. Ob SZ steni se lahko spustimo med podorom in steno 46 m globoko, do kote okrog 338 m. Vse skozi je v jami zaznati močan prepih.

Čeprav dosežemo podore na treh točkah v nadmorskih višinah 156 m, 181–235 m in na površju med 340 m in 425 m, ne moremo trditi, da gre za podiranje enega prostora. Ker kažejo oblike podornih blokov izrazite tektonske odlomne ploskve, je očitno, da je tektonska pretrtost glavni dejavnik, ki povzroča podiranje. Zato je bolj smiselno govoriti o coni podiranja. Prostorsko je to območje dolgo na površju vsaj 250 m, široko pa 120 m. Vsi jamski rovi, ki potekajo skozenj, se podirajo.



Slika 55: Udornica Risnik in del rorov Kačne jame. V tem delu jame ni sledov podiranja, ki bi bili povezani z udornico Risnik.

Figure 55: Collapse doline Risnik and part of the galleries of the Kačna jama below it. There is no traces of collapse in this part of the cave.

Novo odkriti deli Kačne jame dosežejo območje udarne doline Risnik. Jama poteka tu v nadmorski višini med 185 in 205 m, medtem ko je dno Risnika v nadmorski višini 364 m. V Kačni jami ni sledov podiranja, čeprav je jama v neposredni bližini udornice in seka iste prelomne cone, ki so v jami morfološko izražene kot pragovi v strugi Reke. Ob njih se znani rovi ne podirajo. Sklepamo lahko, da se udornica Risnik podira v neko drugo votlino, ki pa je verjetno še v območju nihanja gladine vode.

ZNAČILNOSTI ROVOV KAČNE JAME

Za opredelitev procesov, ki oblikujejo rove, so najpomembnejši znaki prečni in vzdolžni prerez rova ter smer rova. Če primerjamo vse tri karakteristike rova, lahko dobimo splošne zakonitosti oblikovanja rovov, pa tudi celotnega jamskega sistema.

Aktivni vodni rovi jame, to je rovi, po katerih teče Reka ob normalnem ali nekoliko višjem vodostaju, se med seboj močno razlikujejo. Morfološko lahko opredelimo dva tipa aktivnih vodnih rovov, ki se razlikujeta po dimenzijah, prečnih prerezih in smeri.

V prvi tip aktivnih rovov uvrstimo rove, ki imajo pravokotni profil in potekajo pretežno v smeri JV–SZ oziroma v smeri slemenitve skladov. V ta tip rovov lahko uvrstimo del pritočnega rova Reke, Škocjanski kanal, Rov desetih



Slika 56: Aktivni vodni rov pri Brzicah v nadmorski višini 177 m.
Figure 56: Active water gallery at Brzice in elevation of 177 m a.s.l.

jezer, del Petkovškovega rova in Cimermanov rov. Rovi potekajo v smeri plasti, redkeje prečno, v smeri ali proti smeri vpada skladov.

Zaradi velikih presekov je hitrost toka v teh rovih majhna, zato na stenah in stropu ni opaznih erozijskih oblik ali faset. Te se pojavijo le na mestih, kjer se rovi zožijo ali zavijajo. Več jih je pri tleh rovov, saj je Reka prodonosna tudi ob nižjih vodostajih. Največ erozijskih oblik je v območju Labirinta in Petkovškovega rova. Zlasti v slednjem je zaradi več zožitev tok Reke tako močan, da erodira stene in sige tudi 4 m od tal rova. Poleg erozijskih oblik na udarnih mestih toka pa lahko najdemo tudi fasete na tistih mestih, kamor stržen toka, ki nosi prod, ne udarja. Stene rovov so na mestih, kjer ni sledov erozije, močno razčlenjene. Izstopajo korozijske zajede ob lezikah in razpokah.

Druga značilnost rovov s pravokotnim profilom je usmerjenost proti SZ in zelo majhen strmec. Višinska razlika med sifonom v Škocjanskem kanalu in sifonom v Cimermanovi dvorani je le 2 m, zračna razdalja med njima pa 1350 m. Ti rovi so dobro prevodni, o čemer pričajo plavje, prod in hlodi, ki v njih praviloma ne zastajajo. Oblikovanost rovov s pravokotnim profilom, predvsem pa majhen strmec, kaže na prilagojenost regionalnemu gradientu ter smeri slemenitve plasti. V njihovem dnu, predvsem v Petkovškovem in v Rovu desetih jezer, so na prodih, ki pokrivajo tla, nastale velike sigove kope. Kope so lahko nastale v obdobju, ko po teh rovih Reka ni tekla. Danes so izpostavljene močni eroziji in so po večini že uničene. Datacije sig iz teh kop so pokazale starost preko 350 Ka.



Slika 57: Stranski Spodnji rov pri Brzicah.

Figure 57: Side passage Spodnji rov joins the main at Brzice.

Morfološko povsem drugačni so aktivni rovi, ki potekajo prečno na rove s pravokotnim profilom. So ožji, a visoki, potekajo približno v smeri S–J, prečno na plastovitost. Vsi rovi tega tipa so nastali ob razpoklinskih conah. Takšni so Spodnji rov, Ozki rov in Peščeni rov, sem pa lahko prištejemo tudi del Petkovškovega rova, ki poteka v razpoklinski coni. Enake oblike je tudi del pritočnega rova, ki priteka v smeri VZ.

Za razliko od prejšnjih imajo ti rovi lečast profil. Spodnji deli rovov so pogosto zasuti s sedimenti ali zaliti z vodo. Njihove stene so manj razčlenjene. V njih pogosto ne opazimo plastovitosti. Čeprav so krajši, imajo v vzdolžnih profilih večje strmce. Tako se Ozki rov v dolžini 550 m spusti za okrog 15 m, dno 450 m dolgega Spodnjega rova se dvigne za skoraj 20 m in potem spusti za 25m. Ti rovi prevajajo normalno in nizko vodo, pa tudi visoke vode proti jugu. Vendar je njihova prevodnost manjša, kar se kaže v bolj drobnih sedimentih v njih, v veliki količini plavnega lesa, vejevja in listja. Čeprav so bolj strmi v njih ne najdemo proda, prav tako pa tudi ne erozijskih oblik na stenah. Izjema je del pritočnega rova v smeri V–Z. Ta rov je širok le nekaj metrov in se v Slapu spusti za okrog 15 m, kar predstavlja največji strmec v jami.

Čeprav so rovi z lečastim profilom ožji kot rovi s pravokotnim profilom, pa se pogosteje končujejo s podori. Vzrok moramo iskati v dejstvu, da so podori in rovi tega tipa nastali ob istih geoloških strukturah. Peščeni in Ozki rov se tako končata v podorni coni Lojzovega podora, Spodnji rov pa v območju Hojkerjeve dvorane.

Strukture, ob katerih so nastali rovi z lečastim profilom, potekajo prečno na plastovitost. Omogočajo freatične skoke oziroma tok vode iz kanalov, ki so oblikovani ob določenih lezikah, v kanale, ki ležijo v stratigrafsko višjih ali nižjih lezikah. Območje freatičnega dviga vode je na primer povezava Spodnjega rova z Logaškim rovom. Razporeditev in potek ozkih lečastih rovov kažeta na oblikovanje v freatičnih pogojih. Njihov kasnejši razvoj pa je bil odvisen od zniževanja piezometrične gladine vode v krasu in usmerjenosti gradienta.

Logaški rov imenujemo splet rovov med Marušičevo pasažo in Spodnjim rovom. Morfološko so temu rovu podobni še deli Vzhodnega rova za Kalvarijo in novo odkriti deli jame, ki vodijo iz Logaškega rova proti jugu. Vsi ti rovi ležijo v nadmorski višini med 215 in 260 m. Njihova skupna značilnost je velika različnost profilov, smeri, strmcev in dimenzij. Rovi so občasno poplavljeni ter imajo podobne peščene recentne sedimente in ostanke starih sigovih kop.

Morfološko teh rovov ne moremo povsem natančno opredeliti. Nekateri odseki so nastali ob razpoklinskih conah, drugi ob plasteh. Njihovi strmci so neuravnani, dimenzije in oblike profilov rovov pa se spreminjajo na kratke razdalje. Večina oblik na stenah rovov kaže na nastanek v freatičnih pogojih in na kasnejše minimalno vadozno preoblikovanje. Ker ležijo le 30–90 m nad Reko, so še pogosto aktivni.

Poplavne vode v tem delu jame odlagajo droban kremenčev pesek in veliko organskega plavja. Morfološke sledove poplav pa najdemo le v nekaterih zoženih delih v obliki faset. Recentne fasete kažejo na zelo hitre tokove, ki

nastanejo pri poplavih in hitrem dvigovanju gladine vode. Te poplave v sedanjih pogojih le malo preoblikujejo splet rogov. Pomembne so zato, ker prenašajo pesek in drugo plavje.

Vhodno brezno predstavlja 186 m globok vhod v jamo. Začenja se v dnu vrtače v nadmorski višini 435 m. Nastalo je v razpoklinski coni, ki poteka v smeri S–J. V njem je opazna tudi plastovitost, ki pa na samo obliko brezna ne vpliva. Brezno se začne kot trojno brezno z vmesnimi pretini, ki so le nekaj metrov debeli in do 50 m visoki. V globini od 60 do 80 m se brezna združijo v enoten jašek, ki pa se nato ponovno razdeli v tri brezna. Dve od njih se združita, temu breznu pa se pridruži novo vzporedno brezno. Vsa tri brezna se dokončno odprejo v stropu Vhodne dvorane, ki je približno 60 m nad tlemi.

Vzporedna brezna ter vmesni pretini med njimi kažejo, da so brezna nastala ločeno, ter da je do združevanja prišlo kasneje, ko je nastala pod njimi dvorana. Iz oblike brezen ne moremo zagotovo ugotoviti, ali so brezna nastala v vadozni ali v freatični coni, verjetno so nastala v freatičnih pogojih ter bila kasneje nekoliko vadozno preoblikovana.

Vzhodni rov je sestavljen iz dveh morfološko različnih delov. Dolg je 838 m. Med Vhodno dvorano in Kalvarijo se rov na dolžini 400 m dviguje, nato se strmo spusti za 50 m. Dno je pokrito z ilovico in naplavljenim peskom. Sige in kapnikov je malo. Rov je širok do 15 m in je enakomerno visok. V peščeni naplavinini tleh rova so jarkaste struge in daljši ravni odseki peščenih tal. Največji je dolg 50 m in širok okrog 35 m. Tik za njim se rov zoži v Kapniški prehod.



Slika 58: Dno Vzhodnega rova pokrivajo alohtoni peski in posamezni kapniki.

Figure 58: The bottom of the Vzhodni rov passage are covered with sand and a few stalagmites.

Za Kapniškim prehodom se rov razširi do 40 m ter dosega višine do 50 m. Na stenah rova so vidne odlomne površine, ki sledijo razpoklinski coni, tla pa pokrivajo podorni bloki. V prečnem prerezu je podor na zahodni strani rova kakih 10 m višje kot na vzhodni strani. Nižji del je prečno in vzdolžno raven ter se navzgor zaključí s strmim pobočjem, ki pripelje do vrha Kalvarije v nadmorski višini 296 m. Podor je spran. Pesek se pojavi šele nad nadmorsko višino 280 m. Za Kalvarijo pa je celotno pobočje podora pokrito s peskom in ilovico. Iz podora štrlijo velike skale, ki so obložene s peskom in ilovico tako kot stene rova. Na stenah pred Kalvarijo takih oblog ni.

Za Kalvarijo se rov zmanjša in močno spremeni. Na stenah najdemo freatične, zaobljene oblike. Na nekaj mestih so natoki masivne sige. Podiranje v rovu ni več. Rov se konča v Marušičevi pasaži, kjer je masivna siga skoraj popolnoma zaprla rov v nadmorski višini 215 m. V rovu so na več mestih vidni sledovi vodnega toka, ki občasno zaliva ta del jame. Na dveh mestih so nastale in še nastajajo fasete. Opazili smo tudi v špranje zagozdeno plavje. Na osnovi recentnih sledov in razporeditve plavja lahko sklepamo na pogosto pojavljanje vode v Vzhodnem rovu za Kalvarijo, na naraščanje vode do nadmorske višine 280 m, na precejanje vode skozi podor in na občasni tok vode skozi rov do Vhodne dvorane.

Zahodni rov se začne v Vhodni dvorani v nadmorski višini 250 m. Vodi proti JZ. Po okrog 250 m se konča v nadmorski višini 190 m. Rov poteka sprva vodoravno, potem pa se začne strmo spuščati proti zahodu. V strmejšem delu je manjše brezno, ki se v dnu konča s stalnim jezerom. Posebnost rova, zlasti še brezna, so oblike, ki pričajo, da je rov nastal v freatičnih pogojih. To potrjujejo tudi naplavine, fine rdeče ilovice, kakršnih v ostalih delih jame ni.

Južna dvorana je nadaljevanje Vhodne dvorane proti jugu. Dno dvorane pokriva grušč, odpadel s sten dvorane in vhodnega brezna, ter večje skale, ki izvirajo s površja. V nadmorski višini okrog 235 m se začnejo na tleh rova pojavljati alohtone naplavine. V spodnjem delu dvorane je ta sediment debel že več metrov. Med sedimentom in južno steno jame je odprtina, skozi katero lahko pridemo med podornimi bloki v 150 m dolg Rov človeških ribic. V rovu je majhen potok, v katerem so bile večkrat opažene človeške ribice. Voda priteka iz sifonskega jezera. Teče proti severu, kjer se izgubi v podor, ki leži v tlorisu pod Vhodno dvorano.

Ob poplavah priteka skozi ta rov voda v Južno dvorano. To povzroča v podoru in pri izhodu v dvorano močno erozijo, o čemer pričajo apnenčasti prodniki in erodirane skalne površine. Južno dvorano še vedno poplavlja visoke vode. O tem pričajo pesek, ilovica ter drobci listja, vejic in drugega organskega plavja. Visoko vodo v tem delu jame je leta 1896 videl G. Žiberna (Marinitich, 1896). Voda je segala do Vhodne dvorane, vendar povsem točna višina tedanje poplave ni znana. Prav tako ni znano ali je takrat voda tekla od Kalvarije skozi Vzhodni rov do Južne dvorane. V tem stoletju ob visokih vodah jame ni obiskal nihče.

Novi deli jame, okrog 3,5 km rogov, so bili odkriti leta 1997 za sifonom v Ogabnem jezeru. Novi deli so morfološko, genetsko in hidrološko različni. Največji in višje ležeči rovi so po morfologiji, plavju ter nadmorski višini podobni Logaškemu rovu in Vzhodnemu rovu za Kalvarijo. V glavnem potekajo od do sedaj znanih delov jame proti JV.

Skrajni JV del novih delov jame pa se spusti za okrog 40 m in doseže aktivni tok Reke v nadmorski višini med 180 in 195 m. Reka je na tem mestu izdelala nekaj metrov širok in približno 30 m visok rov, ki se na razdalji 30 m dvigne za 15 m. Skozenj teče Reka v slapu in brzicah. Nad brzicami se rov ponovno obrne v smer S-J in se nadaljuje v pritočni sifon. Od tu do končnega sifona v Škocjanskih jamah je še okrog 900 m razdalje in manj kot 10 m višinske razlike.

HIDROLOŠKE RAZMERE V JAMI

Kljub stoletnemu raziskovanju jame, so hidrološke razmere v Kačni jami le slabo znane. Vzrok za to je težka dostopnost spodnjih delov jame, predvsem pa izredna nihanja vodne gladine v njej. Prvi raziskovalci so opazovali vodo v jami pri številnih curkih in vodokaznem breznu v Zahodnem rovu. Zaradi slabega načrta jame, napačne globine jame in napačnih naklonov rogov je bilo razumevanje pretočnih razmer v Kačni jami pomanjkljivo.

Pomembnejša opazovanja vode v jami so bila opravljena leta 1896, ko je ob poplavih Reke narasla tudi voda pod vhodnim breznom in dosegla koto 240 m (Marinitsch, 1896). Pravo nadmorsko višino in položaj Reke v jami so dale šele meritve Kačne jame (Kenda, 1984; Mihevc, 1984) ter meritve Škocjanskih jam (Mihevc, 1995; Drole, 1997).

V jami je bilo opravljenih malo hidroloških meritev. Izmerili smo višino in temperaturo vode v posameznih delih jame, predvsem pa smo na osnovi razporeditve proda in peska, finejšega plavja in plavnega lesa ter plastike poskušali rekonstruirati pogoje pretakanja Reke v jami ter oceniti hidrološko vlogo posameznih rogov jame ob višjih vodostajih Reke. Čeprav so opazovanja zelo groba, nudijo dovolj natančno sliko za razumevanje osnovnega pretakanja vode v Kačni jami. Ti podatki so pomembni, saj lahko na njihovi osnovi sklepamo na način pretakanja vode tudi v ostalem delu Krasa in proti izviru Timava.

PRENIKAJOČE VODE V KAČNI JAMI

Prenikajoča voda priteka v rove Kačne jame na številnih mestih. Njena količina, režim in kemijske lastnosti nam lahko nudijo pomembne informacije o vadozni coni nad jamo (Kogovšek & Kranjc & Šebela, 1992). Poleg same vode so pomemben indikator pretakanja skozi strop tudi sigove kope in kapniki.

Njihova razporeditev kaže na strukturne razmere v jami, oblike natokov pa na nekdanje ali sedanje lastnosti prenikajoče vode v jami. Prenikajočo vodo lahko delimo na razpršeno kapljanje v večjih conah in na koncentrirane curke ali dotoke vode.

Razpršena kapljanja se običajno pojavljajo v večjem delu rova. Skupna količina vode, ki tako prenika, je manjša. Večje cone razpršenega kapljanja so predvsem v zgornjih delih jame. Odražajo se v rasti kapnikov ali sigovih skorij. Največje cone razpršenega kapljanja so v srednjem delu Zahodnega rova, v delih Vzhodnega rova ter v delih Logaškega rova, v spodnjem delu jame pa le na nekaj mestih v Petkovškovem rovu.

Curki so koncentrirani dotoki vode v jamo, kar pomeni, da imajo večje zaledje. Od razpršenega kapljanja se ločijo po pretoku, hitrosti reagiranja na padavine in po količini ter obliki sige, ki jo odlagajo. Nekateri dotoki vode v boku rova kažejo podobne lastnosti, in jih lahko prištevamo k takemu tipu pretakanja vode. Značilnost curkov je hitro odzivanje na zunanje padavine. V Logaškem rovu, ki leži v globini okrog 200 m pod površjem, so se pretoki curkov običajno povečali približno tri ure po začetku padavin.

Curke in bočne dotoke najdemo predvsem v spodnjih delih jame. To so koncentrirani dotoki vode s pretoki od nekaj desetink litra do več litrov v sekundi. Curki so običajno močno sigotvorni ter so odložili in še odlagajo velike količine sige. Največji curki so v Cimermanovi dvorani in v Petkovškavem rovu. Nekateri od njih so odložili do 1000 m³ sige v obliki masivnih kop, kope s ponvicami in baldahine. V Petkovškovem rovu in v Rovu desetih jezer so na prodnata tla odložene stare sige rov skoraj povsem zaprle. Zaradi nestabilnih tal in erozije so te kope ponekod razpadle oziroma so bile kasneje erodirane, ostanki na stenah pa kažejo njihov nekdanji obseg.

V višjih delih jame, v Logaškem rovu in končnem delu Vzhodnega rova, so po dimenzijah enake kope zaprle nadaljevanje rovvov. Podobnih natokov sige ali vodnih curkov pa v Vzhodnem in v Zahodnem rovu ne poznamo. Večina najmočnejših curkov je nastala v ozkih in visokih lečastih rovih, na mestih, kjer rove sekajo pomembne razpoklinske strukture ali kjer rovi spremenijo smer.

Če primerjamo razporeditev con močnejšega razpršenega kapljanja in curkov, vidimo, da se curki praviloma pojavljajo v spodnjem delu jame, kjer je tudi manj razpršenega kapljanja. Razpršeno kapljanje je običajno za večje jamske prostore ali dele rovvov, ki so močnejše tektonsko pretrti. Kljub pretrtosti pa ni izrazitega razpršenega kapljanja v razširjenem Vzhodnem rovu pri Kalvariji, pač pa pred njim in za njim, kjer se rov razširi oziroma zoži.

REKA V KAČNI JAMI

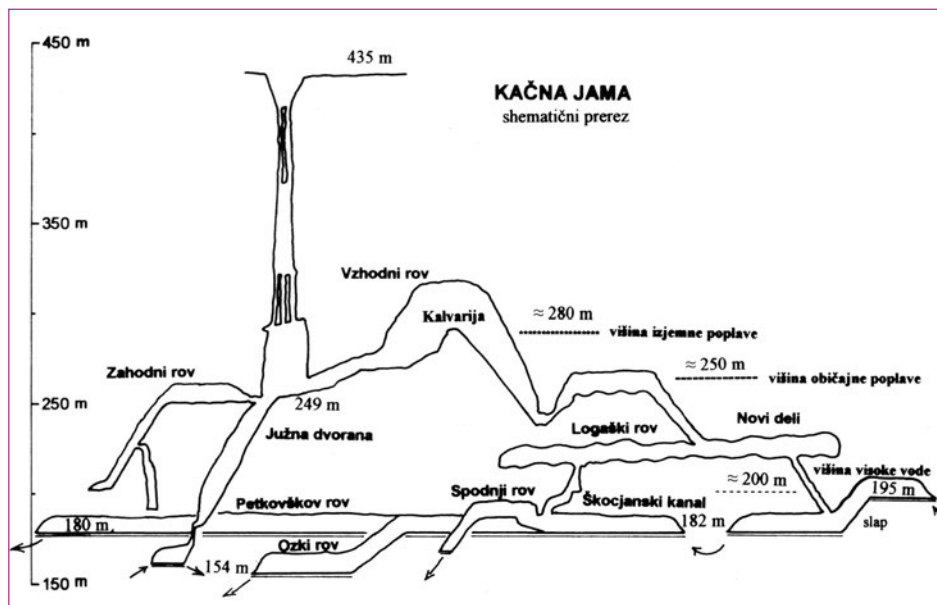
V Kačni jami poznamo okrog 2500 m rovvov, po katerih teče Reka ob normalnem vodostaju s prosto gladino, in 8000 m rovvov, ki prevajajo višje vode.

Reka se pojavi v pritočnem sifonu v nadmorski višini okrog 200 m. Po kratkem toku se njena do 10 m široka struga zoži v ozka, le 3 m široka korita, v katerih se voda spusti za okrog 15 m. Nato teče po širokem rovu s prodnatim dnom v nadmorski višini okrog 185 m in izgine v sifon. V rovu je zataknjenega veliko plavnega lesa in plastike. Te je veliko tudi v višjih delih jame, ki jih visoke vode še vedno redno letno poplavljuje do nadmorske višine okrog 240 m.

Po 200 m neznanega toka se Reka ponovno pojavi v Škočjanskem kanalu v nadmorski višini 182 m. Nato teče do Brzic, kjer se med velikimi skalnimi bloki spusti v Penasto jezero. Jezero se konča s sifonom v Slepčiču. Reka se znova pojavi v Ozkem rovu, po katerem teče do odtočnega sifona, ki leži 17 m nižje, kot je Penasto jezero v nadmorski višini 154 m. Od odtočnega sifona v Kačni jami do izvirov Timava pri Štivanu je še 30 km zračne črte.

V tem delu je Reka dostopna ob normalnem vodostaju, ob malenkostnem povečanju pretoka pa je ta del jame že nedostopen. Naraščajoča voda začne verjetno zastajati v Slepčiču. Ko naraste za 3 do 4 m, se iz Penastega jezera prelije in poplavi Rov desetih jezer. Od tu odteka v Ozki rov, dokler slednji še lahko prevaja povečano količino vode. Ko se gladina vode dvigne za približno 12 m, začne požirati vodo tudi Peščeni rov, na koncu katerega so med poplavnimi bloki številni požiralniki, ki pa imajo le majhno kapaciteto. Pri nadaljnjem dvigu vode se le-ta prelije preko 15 m visokega praga proti sifonu v Spodnjem rovu. Istočasno se podaljša tok vode skozi Petkovškov rov do Cimermanovega rova.

Ko se gladina vode dvigne za okrog 30 m, zalije tudi nadaljevanje Sponje-



Slika 59: Shematični prerez Kačne jame.

Figure 59: Schematic cross section on trough Kačna jama.

ga rova. V višjih rovih se voda pretaka počasneje, vendar pa je tudi ob poplavih v jami precejšen gradient, o čemer pričajo fasete ali v špranje zabiti kosi lesa. Močnim tokovom vode sledimo v ozkem breznu, ki povezuje Spodnji rov z Logaškimi rovom. Tu so v sigi, ki še raste nastale fasete, ki kažejo na močan tok navzgor. Nad njimi je med skalami zagozden 35 cm debel in 3 m dolg hlod. Fasete so nastale tudi na več mestih v končnem delu Vzhodnega rova. Kažejo na smer toka proti jugu.

Izjemno visoke vode sežejo do okrog 240 m nadmorske višine in zalijejo še dele Vzhodnega rova, Južno dvorano in dno Vhodnega brezna. Voda v tem delu jame verjetno priteka iz Rova človeških ribic v najnižjem delu Južne dvorane. Dotok je tako močan, da je stena obrušena s prodom, ki ga dvigujejo poplavne vode.

O prevodnosti posameznih rovov lahko sklepamo na osnovi plavja, ki ga za seboj puščajo poplavne vode. Prodne in peščene sipine kažejo smer toka, iz velikosti pa lahko sklepamo na hitrost toka. Listje in drobne vejice se odlagajo na pritočni strani podorov ali dvigajočih se delov rova. Na pritočni strani ovir so stene zablatene, na odtočni strani pa so sprane. Blatne stene so nekakšen pokazatelj recesije poplav v rovih.

Večji kosi lesa, do 8 m dolgi hlodi ali debela dreves s koreninami se kopičijo pred pomembnimi zožitvami in podori, ki zapirajo rove. V večjih rovih se les le slučajno zatakne in ohrani. Pomemben indikator višine poplave je tudi plastika, predvsem plastične steklenice in embalaža čistilnih sredstev. Najdemo jo v vseh aktivnih, pa tudi v najbolj pogosto poplavljenih rovih.

Po plavju sodeč, so najbolj prevodni rovi, ki vodijo proti SZ. Takšni so Rov desetih jezer, Petkovškov in Cimermanov rov. Zanje so značilne velike prodne sipine, erodirane stene rovov in odsotnost drobnejšega plavja. V teh rovih najdemo zataknjene hlode, kamionske pnevmatike, ni pa listja ali drobnih vejic. Sifon na koncu Cimermanovega rova torej vodi ne predstavlja večje ovire, zato plavje tu ne zastaja.

Drugače je v Ozkem in v Peščenem rovu. Na koncu obeh rovov je obilo plavnega lesa, zataknjene ali odloženega v razširjenih delih rova. Poleg tega v teh rovih zastaja še blato, listje in drobne vejice. Enako plavje ima tudi Spodnji rov. Vsi ti rovi vodijo proti jugu.

Tudi pritočni deli jame kažejo na poplave, vendar v rovih, ki so do 40 m nad Reko, ostaja le drobno organsko plavje. Večji kosi lesa, na primer drevesnodeblo, ki je dolgo 5 m in kaže sledove rezanja z motorno žago, je v jamo prišlo z eno od višjih voda v zadnjih letih.

O pogostnosti, trajanju in višini poplav nimamo dovolj podatkov. Verjetno pa Reka naraste za 10 do 15 m po vsakem močnejšem dežju. 50 m visoka poplava, ki zalije še Logaški rov, se po sledovih sodeč, pojavlja skoraj vsako leto. Izjemno visoko vodo je 21. oktobra 1896 v jami videl Žiberna (Marinit-sch, 1896). Tedaj je voda zalila tudi del dvorane pod vhodom, do višine 240 m. Najvišje vode pa verjetno zalijejo del Vzhodnega rova za Kalvarija, do nadmorske višine 280 m.

Poleg sledov visokih voda so v jami opazovali tudi zelo nizke pretočne razmere, in sicer v času nastanka novega ponora Reke pri Zgornjih Vremah, med 23. in 26. septembrom 1982. Pretok vode v jami na Brzicah je znašal le okrog 50 l/sek, kar pomeni, da je skozi jamo tekla le odcedna voda, ki se steka v Škocjanski kanal. Voda je upadla za 1 m v Škocjanskem kanalu in v Penastem jezeru, v Ozkem rovu pa so se v strugi odprli okrog 7 m globoki ponori.

Na podlagi merjenja temperature Reke v Kačni jami sklepamo na hitrost pretakanja vode v podzemlju. Temperaturo vode v Škocjanskih jamah sem meril pozimi 1994. Temperatura vode je bila pred jamo okrog 0° C, slap v Veliki dolini je bil zaledenel, voda pod manjšimi curki je zmrzovala še v Müllerjevi dvorani in v Hankejevem kanalu do Petnajstega slapu. Temperatura vode v Martelovem jezeru je bila 1,5° C.

Ob podobnih vremenskih pogojih, 19. februarja 1982, je bila temperatura vode v Kačni jami na Brzicah 3,5° C. Najvišja izmerjena temperatura Reke v Kačni jami na istem mestu poleti, pa je bila 15° C. Izmerjene nizke ali visoke temperature Reke kažejo na zelo hitro povezavo Škocjanskih jam in Kačne jame ob nizkem vodostaju. Reka v tem delu očitno ne dobiva pomembnih pritokov vode, ki bi lahko bistveno vplivali na njeno temperaturo.

Še pomembnejši so sklepi, ki jih lahko naredimo na osnovi opazovanja toka vode ob različnih vodostajih. Ob najnižjem vodostaju se skozi jamo pretaka le okrog 50 l odcednih voda, Reka pa se jami povsem izogne. Ali teče zahodno od jame ali kje drugje, iz morfologije jame seveda ni moč razbrati.

Ob povečevanju pretoka Reke se vključuje v prevajanje vode vedno več višjih rogov Kačne jame. Ob tem pa se začne Reka raztekati v več smeri. Vsi rovi niso enako prevodni. Čeprav je različna prevodnost lahko posledica lokalnih ovir, pa je vendarle skupna značilnost lečastih rogov v spodnjih delih jame, ki vodijo proti jugu, večja zablatenost. To kaže na počasnejše tokove ali pa nakazuje bližino lokalne piezometrične gladine.

Ob poplavih se v zalitih delih jame pojavljajo močni tokovi, o čemer pričajo fasete ter plavje. To kaže na hudourniški značaj Reke ob poplavi, pa tudi na velike gradiente v jami oziroma raztekanje iz glavnih dotočnih rogov v stranske. Največji gradient verjetno nastane v jami ob stoletnih vodah, ko voda za Kalvarijo naraste približno do kote 280 m, se preceja skozi podor in teče po dnu rova do višine okrog 240 m. Ta tok lahko razberemo samo iz morfologije struge v dnu rova in seveda ne vemo, kako pogosto se pojavlja ter kako pomemben je v resnici.

V Kačni jami se tok visoke vode Reke razcepi v več smeri. Mimo jame pa teče tudi najnižja voda, ko Reka ponikne že pred Škocjanskimi jamami. Iz tega sledi, da se tudi že ob srednjih vodah pretaka po ločenih kanalih in ne kot ena reka.

SPELEOGENEZA KAČNE JAME

Kačna jama je 12 km dolg splet jamskih rogov, ki ležijo med nadmorskima višinama 154 in 290 m. Jamski rovi se razprostirajo na območju, ki meri 2000 m × 1300 m. Nad njimi so nastale tri udornice, v jami pa so štiri območja intenzivnejšega rušenja jamskih rogov.

Jamski rovi, po katerih teče Reka, ležijo med nadmorskima višinama 154 in 190 m. Ob visokih vodah je jama zalita do nadmorske višine 280 m. Tedaj je zalita skoraj cela jama, skozi Vzhodni rov pa teče močan tok. Vode ni le v Vhodnem breznu. Take izjemne vode so redke, a so v morfologiji rogov in razporeditvi plavja v njih še opazne. Redne vsakoletne poplave sežejo do nadmorske višine približno 240 m.

Rovi Kačne jame ležijo v dveh višinah: spodnji v nadmorski višini med 154 in 195 m, zgornji pa v nadmorski višini med 220 in 240 m.

Na podlagi hidroloških lastnosti ločimo jamo na tri dele. Aktivni rovi prevajajo srednje visoke vode v smeri proti zahodu. Od pritočnega do odtočnega sifona pade gladina vode v dolžini 2100 m za 41 m ali 19‰. Rovi so oblikovani delno ob lezikah, delno pa po prečnih razpoklinskih conah. Imajo gravitacijsko oblikovane profile. Aktivni rovi visoke vode podaljšujejo tok Reke proti SZ. Ti rovi imajo največjo prepustnost, ocenjeno na osnovi velikosti profilov in velikosti plavja, ki so ga sposobni prevajati. V njih je strmec veliko manjši – na razdalji 3200 m le 15 m ali 4‰. Ostali del jame obsega rove, ki prevajajo poplavne vode. Ti rovi ležijo v nadmorski višini med 180 in 280 m. Poplave dvignejo gladino vode v njih za 126 m. Ob takih visokih poplavah je gradient vode v delu jame, ki ni zalit, usmerjen protijugu.

Po morfoloških značilnostih ločimo v Kačni jami več tipov rogov. Rovi spodnjega dela jame s pravokotnimi profili so nastali v smeri slemenitve plasti. Ti rovi, katerih generalna smer je JV–SZ, so glavni prevodniki vode. Zanje je značilen majhen strmec. Rovi, ki so nastali ob razpoklinskih conah v smeri JZ–SV, so večinoma ozki in visoki ter imajo lečast profil. Njihov strmec je ponekod velik. Ob njih so nastali tudi vertikalni ali skoraj vertikalni odseki rogov, podori, brezna, pa tudi več sifonov. Rovi z različnimi profili, brez zveznega strmcu ali enotne usmeritve, so značilni za Logaški rov in za del pritočnega dela jame. Kažejo na nastanek v freatičnih razmerah. Podorni rovi in dvorane so s podiranjem preoblikovani rovi na mestih, kjer je kamnina tektonsko pretrta in korozijsko razrahljana.

Najstarejši od danes dostopnih rogov so prevajali vodo Reke proti JZ. Voda se je skozi pretakala sifonsko od Logaškega rova skozi Vzhodni rov proti Zahodnem rovu. V Vzhodnem rovu pa so se ohranili sledovi gravitacijskega pretakanja. Strmca teh delov rogov se ne da natančno ugotoviti, saj so tla kasneje prekrili podori in sedimenti.

V novejši fazi razvoja se je vzpostavil glavni tok vode proti SZ. Oblikovali so se gravitacijski rovi, ki sledijo slemenitvi plasti ali potekajo prečno nanje

ob razpoklinskih conah. Taki rovi so pritočni rovi, Škocjanski kanal, Penasto jezero, Rov desetih jezer in Petkovškov rov. Njihovi prvotni freatični profili se niso ohranili. Obdobje pretakanja proti SZ je bilo dolgotrajno, na kar kaže tudi majhen strmec teh rovov, ki lahko prevajajo velike količine vode ter plavja, peska in proda. V njihovem razvoju so bila tudi obdobja, ko skoznje ni tekla voda. V eni takih faz se je na prodnih tleh odložilo veliko sige, ki jo danes voda erodira in odnaša. Datacije sigove kope kažejo na starost višjo kot 350 Ka.

Najnovejši razvoj jame je povezan z nadaljnjim zniževanjem gladine kraške vode, kar v območju jame ponovno spreminja smer gradienta najnižje vode proti JZ.

Za razumevanje speleogeneze Kačne jame so pomembne ugotovitve o odnosu med jamo in tremi udornicami, ki leže nad njo. Dolina Krgunce je najplitvejša. Njeno dno leži v nadmorski višini 403 m nad Škocjanskim kanalom, ki je v nadmorski višini približno 180 m. V tem delu jame ni opaziti podiranja stropa ali povezave z dolino Krgunce. Dol Bukovnik je nastal ob istih strukturah kot podori v Ozkem in v Peščinem rovu, vendar pa podor, ki ga dosežemo v jami, ni isti podor kot podor v Bukovniku. Enako je z Risnikom – razpoklinske cone, ki so vidne v steni udornice, so jasno izražene tudi v jami, neposredne povezave udornice in jame pa nismo mogli ugotoviti.

Odprto pa ostaja vprašanje vzroka različnega vertikalnega razvoja Škocjanskih jam in razvoja rovov v Kačni jami. Škocjanske jame kažejo enoten, širok ovalen rov, ki vijuga in se cepi, vanj paje do 80 m globoko vrezan kanjon Reke. Kačna jama pa kaže dve višinski etaži, v katerih so nastali dostopni rovi.

Za proučevanje speleogeneze jam na celem Krasu je pomembno dejstvo, da se v Kačni jami tok Reke razcepi v splet rovov, ki zavzemajo 2 km dolgo, 1 km široko in ob poplavih do 120 m visoko cono kraškega podzemlja. Takšen je tok Reke do izvirov na robu Krasa. V nadaljevanju Kačne jame zato ni smiselno iskati enega glavnega kanala Reke, ampak roj kanalov, ki hkrati prevajajo vodo. Ti kanali so v bližini ponorov Reke precej divergentni. Konvergenco lahko pričakujemo šele blizu izvirov v spodnjem delu Krasa.

UDORNICE IN POVRŠJE DIVAŠKEGA KRASA

Udornice so po definiciji tiste reliefne oblike, ki nastanejo z udori stropov nad podzemnimi votlinami. V strokovni literaturi pa so obravnavane udornice zelo različno. Nekateri morfologi proučujejo udornice s stališča mehanike kamnin in z njo razlagajo mehanizme ter oblike, ki nastanejo pri podiranju. Drugi proučujejo predvsem nenadne udore, ki so pogosto povezani s človeško dejavnostjo, na primer rudarjenjem. V slovenski strokovni literaturi pod izrazom udornica običajno razumemo tisto vrtačo, ki je izjemna po svojih dimenzijah in ima strma ali navpična pobočja. Manjše udorne oblike pa pogosto zaradi pomanjkanja sledov procesa podiranja zanemarimo.

Na območju Divaškega krasa je več skupin udornic, ki jih domačini imenujejo dol ali dolina. Med seboj jih lahko ločimo ali primerjamo po nadmorski višini obodov, višini dna ali po njihovi obliki ter starosti. Pri tem se največkrat uporablja primerjava med kamnitimi deli in melišči ter dnom udornic. Na tej osnovi je bilo narejenih že več klasifikacij udornic (Gams, 1973, 1982; Šušteršič, 1971). Večina temelji na predpostavki, da imajo mlajše udornice več strmega, kamnitega oboda.

Podrobneje je opisal razporejenost največjih udornic, ki po prostornini močno presegajo prostornine največjih jamskih dvoran in njihovo odvisnosti od podzemnih tokov, Habič (1963, 1987). Njihov nastanek je mogoč le, če obstaja v globini pomemben vodni tok, ki učinkovito odstranjuje porušeno kamnino. Vpliv jamskih podorov na poplave podzemnih rek je opisal Gospodarič (1984, 1985), nastanek udornic z vidika mehanike kamnin in oblikovanja pa Šušteršič (1968, 1973, 1984).

Na osnovi razporeditve udornic, predvsem pa primerjave starosti udornic, je opredelil razvojne faze Škocjanskih jam Gams (1983). Prostornine velikih jamskih prostorov in udornic pri Škocjanskih jamah je primerjal Jakopin (1981). Meritve Škocjanskih jam, zlasti še uporaba elektronskih merilcev razdalj (Mihevc, 1996; Drole, 1997), pa so dale osnove za izračun prostornine večjih prostorov v jamah in njihovo primerjavo z volumni udornic.

Udornice na Divaškem krasu so pomembna kraška reliefna oblika in pomemben speleološki znak. V večini primerov ne moremo ugotoviti, nad kakšnimi votlinami so se oblikovale. Le pri Škocjanskih jamah in pri Kačni jami lahko opazujemo povezavo med jamo in udornico ter na ta način razumemo nekatera dogajanja v zvezi z njihovim nastajanjem in razporeditvijo.

Na 31 km² površine Divaškega krasa sem primerjal površino vrtač, udornic in nerazčlenjenega kraškega površja. Divaški ravniki so geomorfologi razlagali

prvenstveno kot ostanek doline, ki jo je oblikovala po površju tekoča Reka (Marussi, 1941; Radinja, 1967). Dolino naj bi kasnejši procesi v drobnem močno razčlenili, v grobem pa je ohranila svoje značilnosti. Na robovih naj bi se ohranili tudi nizi teras in ramen. Habič (1983) je opozoril na očitno strukturno pogojenost ravnika in tudi drugih reliefnih enot na Krasu. Vsaka od enot je imela zaradi vertikalnih neotektonskih premikov in sprememb višine gradienta nekoliko drugačen razvoj, kar se je odrazilo tudi v drobni oblikovanosti reliefa.

Poglavitni morfološki proces na Divaškem krasu naj bi bil korozijsko zniževanje površja in nastanek vrtač. Proces je odvisen le od padavinske vode, saj se Reka in druge ponikalnice pretakajo globoko pod površjem in na njegovo oblikovanje neposredno ne morejo vplivati. Padavinska voda večji del svojega potenciala izkoristi v epikraški coni (Gams, 1974), zaradi delnega horizontalnega pretakanja proti lokalnim znižanjem gladine vode v epikraški coni pa naj bi na teh mestih nastale vrtače (Williams, 1985; Klimchouk, 1995).

Proučitve denudiranih jam (Mihevc, 1996) in sedimentov v njih pa kažejo (Bosak & al. 1998, 1999), da je bil razvoj površja bolj zapleten. Od predkraškega pretakanja je minilo veliko časa, v katerem je denudacija odstranila nekaj 100 m kamnine, tako da o ostankih uravnanega predkraškega reliefa ne moremo več govoriti. Prodniki v brezstropih jamah kažejo na zapleten relief, večji delež flišnih kamnin na površju, precejšen gradient in ločeno ponikanje več vodotokov.

Ostanki denudiranih jam opozarjajo na velik delež podzemnih votlin, ki so se spremenile v površinske reliefne oblike. Te reliefne oblike so pogosto podobne vrtačam, od površinskih oblik pa jih lahko ločimo le po značilnih jamskih sedimentih (Mihevc & Zupan, 1986).

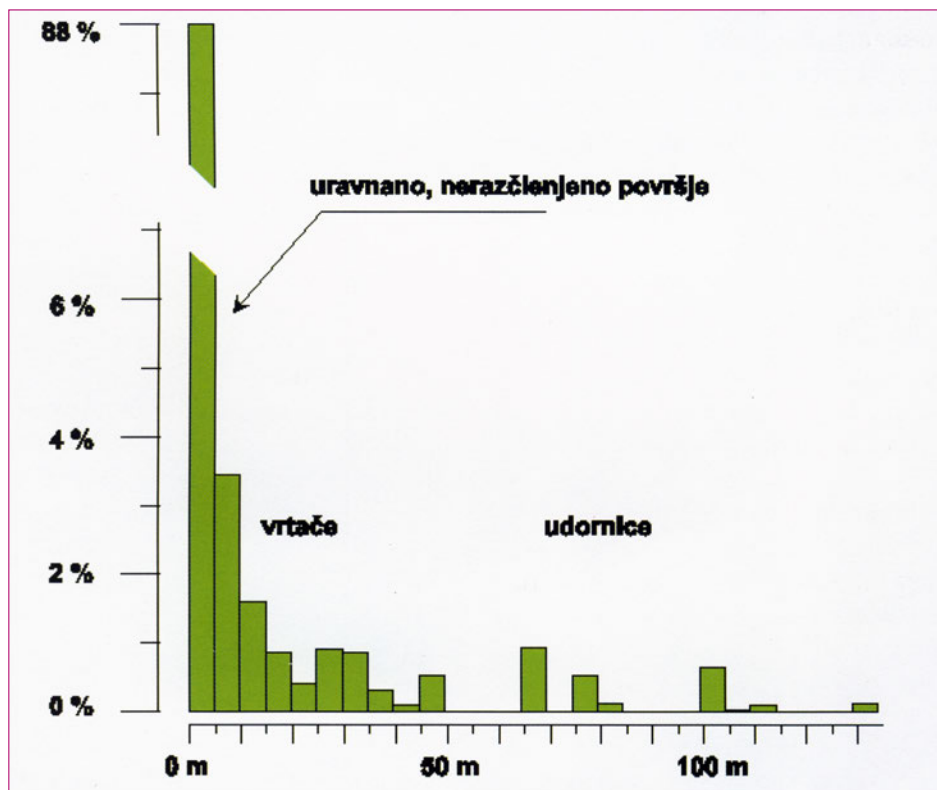
Na izbranem področju Divaškega krasa sem poskušal ločiti vrtače od udornic in od reliefnih oblik, ki so nastale iz denudiranih jam, in na ta način opredeliti speleološke elemente v sedanjem reliefu. Na kartah velikega merila sem označil obrise vrtač in udornic. Kot udornice sem označil tiste depresije, ki so izjemne po dimenzijah, saj je natančnejša genetska klasifikacija težka ali nemogoča. Pri tem sem verjetno izpustil večje število manjših udornic, ki sem jih prištel med vrtače. Poleg tega sem s podrobnim kartiranjem na terenu ugotovil in označil obrise več denudiranih jam. Določil sem lahko le tiste, ki so morfološko izrazite in so v njih ostanki sedimentov ohranjeni na površju in dovolj očitni. Izračunal sem delež površin vrtač, ostankov denudiranih jam na površju in udornic ter ga primerjal z obsegom nerazčlenjenih površin.

Površje Divaškega krasa leži v nadmorski višini med 420 in 450 m. Površje je uravnano, razčlenjujejo pa ga številne vrtače in udornice, ki so poglavitna površinska reliefna oblika. Značilna je verjetno strukturno pogojena razporeditev večine udornic v dva vzporedna niza, ki ležita v dinarski smeri. Prvi, SV niz, se začne pri Sapendolu, sledi dol Jablanc, Lesen dol, Lazni dol in Rebidnik ter dvojni dol Krgunce. Jugozahodno od tega niza leži drugi niz udornic – Sekelak, Globočak, Veliki dol, dva manjša dola ter Divaški in Gojenjski Radvanj.

Za oba niza je značilno, da poteka daljša os dolov v smeri niza, kažejo pa se tudi druge skupne značilnosti. Za severni niz med doloma Jablanc in Krgunce so značilne plitvejše udornice z dnom v nadmorski višini med 410 in 430 m. Pobočja dolov niso kamnita, redko presegajo naklon 30°, značilna zanje pa so široka ravna dna z obilo kraške ilovice, v kateri najdemo tudi kremenove prodnike.

Udornice niza med Sekelakom in Radvanjem so globlje kot doli prvega niza in nimajo izrazitega ravnega dna. Izjema je le Sekelak. Dna dolov so v nadmorski višini 350 in 353 m v Sekelaku in Globočaku, Radvanj pa ima dno v nadmorski višini 363 m. V istem nizu ležijo še tri manjše, a plitvejše udornice. Pobočja dolov tega niza so strma, tudi preko 30°, skalna pa le pri Sekelaku.

Za nekaj udornic je značilno, da so izrazito podaljšane v smeri S–J. Takšni so doli Sekelak, Velika in Mala dolina, ter dvojni dol Lisična-Sapendol. To je očitno posledica v tej smeri potekajočih razpoklinskih con, ki jih lahko vidimo zlasti v Veliki in Mali dolini. Značilnost teh udornic je velika skalnatost oboda. To je delno posledica masivnih, odpornih apnencev in mladosti teh



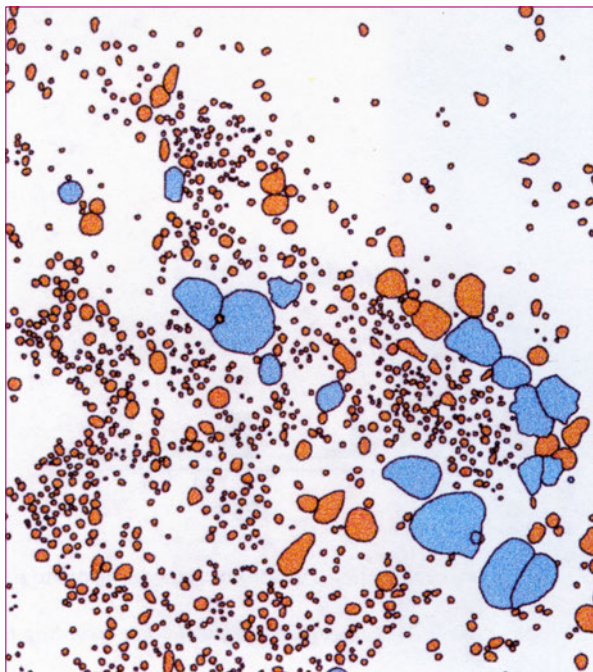
Slika 60: Deleži površine nerazčlenjenega površja, različno globokih vrtač in udornic na Divaškem krasu.

Figure 60: Percentage of levelled surface and surfaces of dolines and collapsed dolines according to depth.

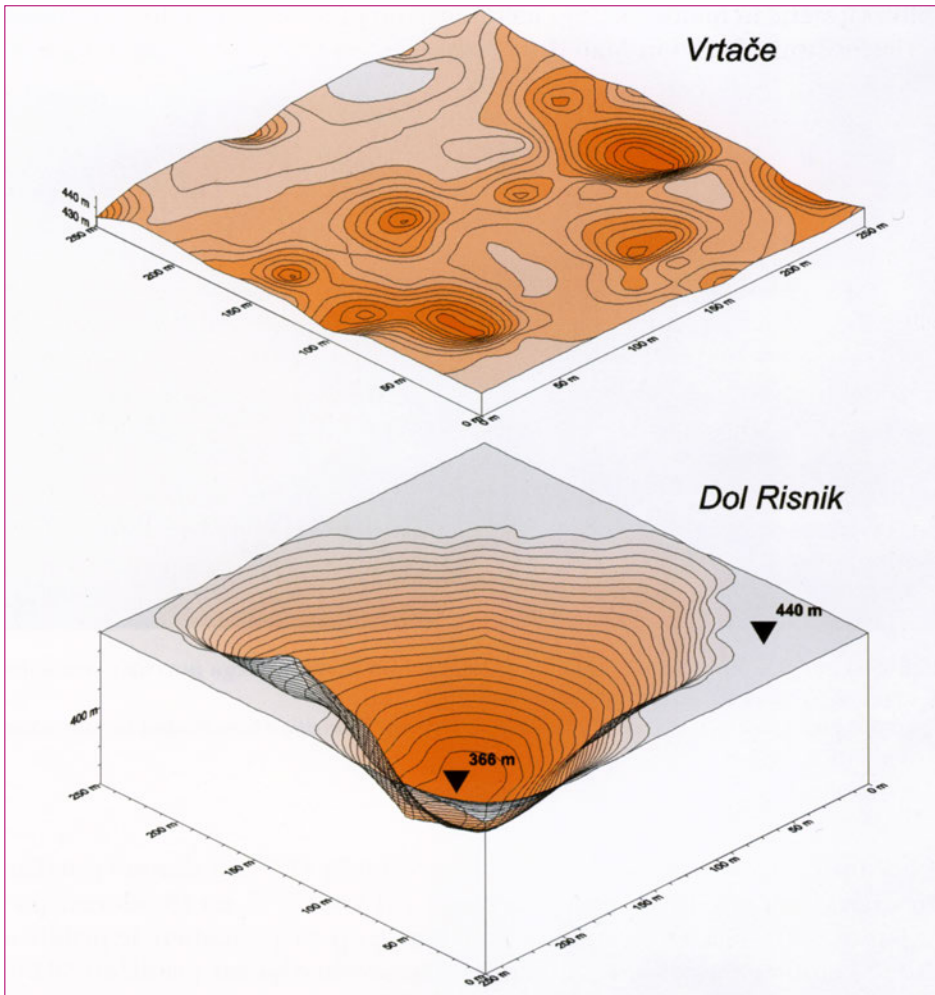
oblik, saj stene in melišča kažejo na intenzivne procese rasti dolov. Ti procesi so zlasti očitni v Veliki in Mali dolini, skozi kateri teče Reka, dolini pa imata daljšo os prečno na tok Reke. Ostale udornice so ob normalnem vodostaju Reke izven aktivnega toka.

Izven nizov udornic ležita udornici Bukovnik in Risnik. Dol Bukovnik je udornica z dnom v nadmorski višini 384 m, pod njim se končujeta dva aktivna rova Kačne jame. To sta Peščeni rov, ki leži v nadmorski višini 180 m, ter 26 m pod njim Ozki rov, v katerem je v nadmorski višini 154 m odtočni sifon Reke. V tlorisu le nekaj deset metrov stran od Risnika, katerega dno je v nadmorski višini 363 m, pa potekajo deli Kačne jame v nadmorski višini 195 m, vendar v njih ni sledov podora. Po majhnem deležu karbonatnega proda v Kačni jami in velikih hlodih, ki jih Reka prenaša vanjo, udornica Risnik ne predstavlja posebne ovire vodnemu toku Reke. Večjo oviro predstavlja končni del Ozkega rova, ki leži v podorni coni Bukovnika.

Za 15 najglobljih udornic sem izračunal prostornine na osnovi podatkov iz kart v merilu 1 : 5000. Prostornine udornic sem nato primerjal s prostorninami vrtač. Tega sem izračunal s pomočjo izračunanih prostornin vrtač različnih velikostnih razredov. Prostornina vrtače, ki je globoka približno 10 m ter ima premer okrog 40 m, znaša od 5.000 do 7.000 m³, odvisno od njene oblike. Izračunane prostornine vrtač niso zelo natančne. Vprašljiva je tudi meja med vrtačami in udornicami, ki sem jo postavil na osnovi globine kotanje in ne na osnovi geneze. Kljub tem pomanjkljivostim so podatki reprezentativni. Nudijo nam velikostni red posameznega pojava in razmerja med njimi.



Slika 61: Razporeditev ter obseg vrtač in udornic na Divaškem krasu. Območje, prikazano na karti, zajema 5 × 6,2 km.
Figure 61: Dolines and collapsed dolines of the Divača karst. Area on the map covers 5 × 6.2 km.



Slika 62: Digitalni model reliefa z vrtačami razčlenjenega Divaškega krasa nad zahodnim delom Škočjanskih jam in digitalni model reliefa udornice Risnik. Podatki za model reliefa so povzeti po karti v merilu 1 : 5000. Površje zajema območje 250 × 250 m; izohipse so na 3 m.

Figure 62: Digital elevation model of the surface with dolines above the Škočjanske jame and surface of equal size (250 × 250 m) with a single collapse dolina Risnik. Data for the both were taken from the 1 : 5000 topographic map, contour lines are on 3 m.

Na izbranem površju (31 km²) sem označil 761 vrtač in 15 udornic. Mejo med vrtačami in udornicami sem postavil povsem umetno, z globino 30 m. V povprečju je 25 depresij na km² površja. Na nekaterih delih obravnavanega površja, na paleogenskih apnencih in pobočjih, je njihova gostota zelo majhna. Večje zgostitve vrtač so na krednih apnencih, kjer je gostota do 240 vrtač na km².



Slika 63: Pogled na udornico Risnik z vzhoda. Prehod iz uravnanega površja v vertikalne ali strme stene je oster. Pogled proti zahodu.

Figure 63: View of the collapsed doline Risnik from the east. Transition from levelled surface to steep or even vertical walls is abrupt.

Skupna površina vrtač ter udornic predstavlja 11% od skupne površine obravnavanega terena. Pri tem odpade na 761 vrtač 7%, na 15 udornic pa 4% skupnega površja. Delež denudiranih jam je v površju majhen, le približno 0,16% celotnega površja. Kljub temu pa to predstavlja kar približno 50.000 m² površine. Veliko večino površja, kar 88% zavzemajo nerazčlenjene, uravnane površine.

Drugače pa je z razmerjem med prostorninami depresijskih oblik. Skupna prostornina izbranih 15 udornic znaša 38.000.000 m³, skupna prostornina vrtač pa 6.000.000 do 10.000.000 m³.

V Škocjanskih jamah in v Kačni jami, ki imata skupaj preko 18 km rogov, smo identificirali mesta, kjer prihaja do podiranja oziroma nastajajo dvorane. Največja dvorana je Martelova dvorana, ki ima prostornino 2.100.000 m³ (Mihevc, 1997). Nekaj manjši sta Müllerjeva in Svetinova dvorana, ki skupaj merita približno 873.000 m³. Druge dvorane v Škocjanskih jamah ali v Kačni jami so veliko manjše, njihove prostornine dosega jo le nekaj 10.000 m³.

Drugače je s prostorninami udornih dolin. Ti so za red velikosti večji kot so prostornine največjih dvoran. Največja udornica na tem območju je dvojna udornica Radvanj, ki meri 9.000.000 m³. Sledi 122 m globoki dol SeKelak z 8.500.000 m³. Velika in Mala dolina obsegata skupaj s Sapendolom

ter dolom Lisična 6.200.00 m³. Sledijo Globočak (4.600.000 m³), Bukovnik (1.500.000 m³), Risnik (1.500.000 m³) in druge.

Ker na Krasu ne poznamo tako velikih dvoran, moramo predpostaviti (Habič, 1963), da je pri nastanku tako velikih udornih dolin pomembno tudi sprotno odnašanje kamenine, saj bi se v nasprotnem primeru dvorane hitro zapolnile s podornim kamenjem, ter bi lahko na površju nastale le udornice, ki bi imele veliko manjšo prostornino kot prvotna votlina.

Opazovanja raztekanja vode v območju Kačne jame (Mihevc, 1984) in nihanja gladine kraške vode nam omogočajo razumeti razporeditev udornic. Udornice lahko nastajajo hkrati, ploskovno razporejene po površju in ne nujno nanizane vzdolž dominantnega toka. Zaradi velikega nihanja podtalnice so glavna žarišča rušenja lahko tudi v različnih višinah.

Primerjava deleža površin nerazčlenjenega površja s površino vrtač in udornic nam pokaže, da je uravnavanje površja na obravnavanem delu Krasa prevladujoč geomorfološki proces. Nizek delež površine vrtač nekoliko prese- neča, saj je ta del Krasa dovolj časa izpostavljen vertikalnemu prenikanju in razčlenjevanju.

Uravnavanje površja ter nastajanje vrtač je posledica različno intenzivne korozije in načina pretakanja vode v epikraški coni krasa. Udornice in denudirane jame pa so reliefne oblike, pri katerih je bila kamnina odnesena s speleološkimi procesi. V primerjavi s površinami vrtač pa je zelo velik del površin, ki so se oblikovale kot speleološki objekti. Sem moramo šteti udornice, denudirane jame in tudi vhode v jame. Delež teh površin je geomorfološko pomemben element Divaškega krasa.

Še pomembnejši pa je delež speleoloških elementov v kraškem površju, če primerjamo prostornine vrtač in udornic. Čeprav so površine vrtač le dvakrat večje od površin udornic, je volumen udornic kar petkrat večji.

DATIRANJE SIGE

Starost sedimentov lahko opredeljujemo relativno, v primerjavi z drugimi sedimenti in dogodki, ali absolutno, kadar starosti primerjamo z nizom sekvenc enake dolžine, na primer z leti. Najprimernejši sediment za datiranje na krasu je sekundarno odlošeni kalcit, ki tvori različne sedimentacijske oblike, za katere uporabljamo skupno ime siga. Siga je značilen jamski sediment, najdemo pa jo tudi kot vezivo med gruščmi na površju. Kljub primernosti za datiranje moramo biti pri interpretaciji rezultatov previdni. Upoštevati moramo način vzorčevanja sige in možne napake, ki izvirajo iz fizikalne narave meritev, posebnosti rasti sige ali njene onesnaženosti (Smart & Roberts, 1996).

Siga se izloča iz dotekajoče vode ob primernih kemijskih pogojih. Voda mora biti zasičena z raztopljenim CaCO_3 , ki se začne izločati, kadar je parcialni pritisk CO_2 v vodi, ki priteka v jamo, večji, kot je v jamski atmosferi.

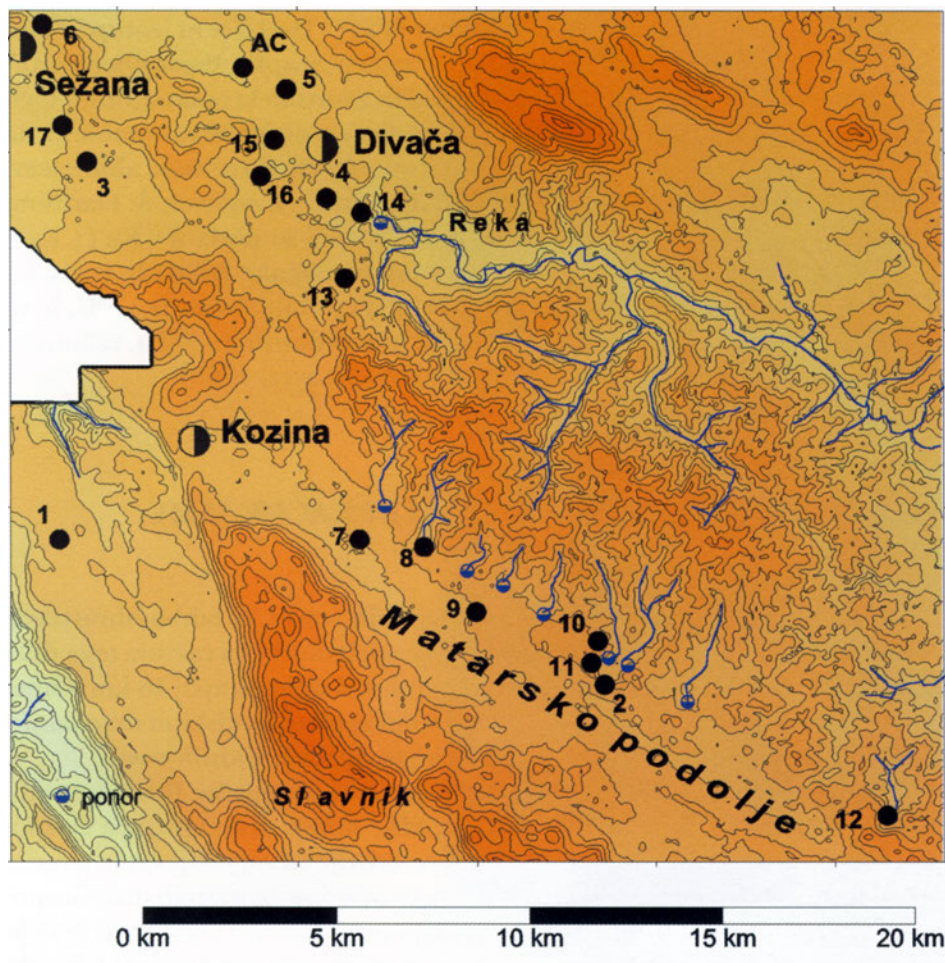
Delež CO_2 v prosti atmosferi se ne spreminja bistveno, medtem pa je delež tega plina v slabo prezračjenih razpokah v kamnini, kamor pride iz prsti, veliko večji. Ker izvira CO_2 po večini iz biološke aktivnosti v prsti, ta pa je povezana s klimatskimi pogoji, pogojuje izločanje sige predvsem klima (Jakucs, 1977). V sedanjih pogojih se v Sloveniji siga izloča v normalnih pogojih do nadmorske višine približno 1000 m, više pa le še izjemoma (Gams, 1962).

V svetu je bilo v zadnjem času izdelanih več primerjav med klimatskimi nihanji in odlaganjem sige (Baker & Smart, 1996; Winograd, 1992; Genty & Quinif, 1996; Lauritzen, 1996, Linge, 1999). Za tovrstno primerjavo je potrebno dovolj veliko število datacij in vzporedne analize stabilnih izotopov kisika.

Na Krasu – v Vilenici in v Škocjanskih jamah – je naredil prve absolutne datacije sige na osnovi metode ^{14}C H. Franke (Gospodarič, 1977, 1985). V Škocjanskih jamah so bile datirane sige v Tihi jami, v Vilenici pa v Fabrisovem rovu. Sledile so Th/U datacije kapnika iz Velike jame v Briščikih (Cucchi & Forti, 1989) in datacije kapnikov Škocjanskih jam, Lipiške jame, Vilenice in Mejam (Zupan, 1991), vendar skupaj le na osmih vzorcih. Več datacij sig je bilo narejenih v Postojnski jami (Gospodarič, 1977, Ikeya & Miki & Gospodarič, 1983; Zupan, 1991) in v Križni jami (Ford & Gospodarič, 1985, 1989).

Vzorčeval sem sigo iz različnih jamskih in površinskih lokacij na Krasu ter naredil skupaj 63 analiz vzorcev sige. Vzorčeval sem sigo, ki je bila povezana z določenimi procesi ali njegovimi prekinitvami v jamah ali na površju. Drugo izhodišče je bilo vzorčevanje po obliki podobnih kapnikov v različnih jamah. Kjer je le bilo mogoče, sem vzorčeval tako, da sem upošteval oba kriterija.

Za določanje starosti sige sem uporabljal metodo $^{234}\text{Th}/^{230}\text{U}$ s štetjem alfa delcev po standardni metodi (Ivanovich & Harmon, 1988). Datacijska metoda temelji na predpostavki, da je bil ob nastanku sige med kristale vgrajen ^{238}U , ne pa tudi drugi izotopi iz njegove razpadne vrste. Ti se pojavijo šele postopoma zaradi radioaktivnega razpadanja ^{238}U . Starost nastanka sige se izračuna



Slika 64: Pregledna karta z označenimi lokacijami pobranih vzorcev sige.

Legenda: AC Brezstropa jama pri Povirju, 1 kamnoloma Črnotiče in Črni kal, 2 slepa dolina Jezerina, 3 kamnolom Lipica, 4 cestni usek pri Divači, 5 cestni usek pri Povirju, 6 cestni usek pri Sežani, 7 Jazbina v Rovnjah, 8 Ponikve v Odolini, 9 Dimnice, 10 Pečina v Borštu, 11 Mitjina jama, 12 Račiške ponikve, 13 Mejame, 14 Škocjanske jame, 15 Kačna jama, 16 Divaška jama, 17 Lipiška jama.

Figure 64: Map of the sampling points of the flowstone.

Legend: AC Unroofed cave at Povir, 1 quarries Črni kal and Črnotiče, 2 blind valley jezerina, 3. Lipica quarry, 4 road cut at Divača, 5 road cut at Povir, 6 road cut at Sežana, 7 Jazbina v Rovnjah, 8 Ponikve v Odolini, 9 Dimnice, 10 Pečina v Borštu, 11 Mitjina jama, 12 Račiške ponikve, 13 Mejame, 14 Škocjanske jame, 15 Kačna jama, 16 Divaška jama, 17 Lipiška jama.

iz razmerja $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$. Analize so bile narejene na Department of Geology, University of Bergen v laboratoriju prof. dr. Stein-Erik Lauritzena.

Vzorke sige ali cele, predvsem vitke kapnike, sem vzorčeval na značilnih mestih v jamah. Kapnike sem prerezal vzdolž dolge osi in izrezal ploščico iz centralnega dela kapnika. Ta je bila uporabljena za datiranje, drugi deli kapnika pa za štetje prirastnih lamin in druge analize.

Vzorke sige sem raztopil v koncentrirani HNO_3 . Dodal sem izotop $^{228}\text{Th}/^{232}\text{U}$ kot notranji standard za kontrolo kemičnega postopka. Raztopljene vzorce sem nato očistil vseh primesi, koncentriral in z ionsko kromatografijo ločil U in Th nuklide. Po čiščenju sta bili obe frakciji z elektrolizo naneseni na jekleni ploščici, na njih pa izmerjene aktivnosti z meritvijo sevanja alfadelcev. Starosti so bile izračunane s standardnimi algoritmi (Ivanovich & Harmon, 1982, 1992; Lauritzen, 1990, 1991). Rezultati datacij so podani v Ka (1 Ka = 1000 let). Območje negotovosti oziroma velikost napake izhaja iz statistike štetja razpadov nuklidov oziroma alfa delcev. Pri vzorcih, bogatih z ^{238}U , je to majhno. Rezultati so bili pri vzorcih, ki so vsebovali detritični ^{230}Th , računsko popravljeni s korekcijskim faktorjem $B_0 = 1,5$ (Schwarcz, 1980).

DATACIJE SIG IZ ŠKOCJANSKIH JAM IN KAČNE JAME

Čeprav obe jami loči približno 1 km nepoznanih rovov, ju lahko obravnavamo kot enoten jamski sistem. Za razumevanje speleološkega razvoja tega dela Krasa, sta jami izredno pomembni, saj so njuni rovi dolgi skupaj 18 km. Omejil sem se na tiste sige, ki so povezane z zadnjimi speleogenetskimi dogajanjem v sistemu, to je s sigami, ki so se odložile v danes aktivnih vodnih rovih.

V obeh jamah so ohranjeni različni sedimenti. Recentne fluvialne sedimente je proučeval Kranjc (1986), starejše, višje ležeče sedimente pa Gospodarič (1984), ki je skušal tako opredeliti faze erozije in zapolnjevanja jame.

Z metodo ^{14}C je sige v Veliki dvorani in Dvorani ponvic analiziral Gospodarič (1977, 1984). V Veliki dvorani je vzorčeval porušen stalagmit, ki je se je prevrnil pred $11,3 \pm 0,1$ Ka ter stalagmit, ki je začel rasti pred $8,9 \pm 0,1$ Ka. 22 cm dolgi stalagmit v Dvorani ponvic je začel rasti pred $12,2 \pm 0,1$ Ka (Gospodarič, 1988). Vse opravljene datacije kažejo mlado, hitro rastočo sigo. Tudi če upoštevamo korekcije ^{14}C , kot jih predlaga Holmgren (1995), ne dobimo bistveno višjih starosti.

DATACIJE SIG IZ ŠKOCJANSKIH JAM

Hankejev kanal je približno 80 m visok erozijski rov. Stene kanjona so nerazčlenjene, brez večjih polic ali zajed. Na več mestih so na položnejših delih

stene močni dotoki odložili sige v obliki do več deset metrov visokih polstebrov z baldahini. Segajo do srednje gladine Reke, kjer se sedimentiranje sig izmenjuje z njeno erozijo.

Odlaganje sig je hitro, na nekaterih mestih do 3 mm na leto (Mihevc, 1995). Sige so rumenkastorjave, porozne ter vsebujejo ponekod poplavne ilovice in pesek. Zaradi tega je delež detritičnega ^{230}Th v njih velik, kar močno zmanjša zanesljivost datacij, saj lahko ilovice močno postarajo analizirani vzorec.

Hitra rast oblikuje velike in težke gmote sig, ki se podirajo ali pa jih v spodnjem delu erodira Reka. To je omogočilo vzorčevanje sig treh različnih sigovih kop 5 do 20 m nad gladino Reke.

Večino vzorcev sem vzel v Deževni jami: vzorce sig ob poti (1309), v umeznem tunelu skozi sigo (1310), v vrhnjem delu baldahina imenovanega, Slon, (1314), iz erodirane sige tik nad Trinajstim slapom (1262) in iz porušene kope, ki leži v strugi Reke pod Trinajstim slapom, (1307).

Analize so pokazale, da so v vseh vzorcih velike količine ^{230}Th , ki kljub korekciji vplivajo na zanesljivost rezultatov, zato jih moramo obravnavati z določeno mero previdnosti.



Slika 65: Prevrnjeni kapnik pri Swidovem razgledišču v Hankejevem kanalu. Datirani vzorec sige (1263) je bil vzet v jedru prevrnjenega kapnika. V ozadju je na steni sveže odložena svetlejša sigo.

Figure 65: Collapsed stalagmite from Swidovo razgledišče in Hanke channel. Sample (1263) was taken in the core of it. In the background there is already new flowstone deposited.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1306	SKKALVA	0,476	0,99	0,325	9,529	42,7 + 1,4 – 1,4	37 + 1,6 – 1,6
1310	TULE	0,118	1,136	0,544	2,3	83,5 + 9,3 – 8,6	37,2 + 13,7 – 13,2
1262	TRINAJST	0,079	1,071	0,573	2,001	91,2 + 5,0 – 4,8	31,2 + 7,9 – 7,8
1314	SLON	0,089	1,021	0,374	2,495	50,8 + 5,3 – 5,0	23,2 + 7,8 – 7,6
1309	HASKALA	0,15	0,966	0,248	1,111	31,0 + 3,0 – 2,9	13,3 + 7,5 – 7,6
1307	SKHK	0,213	1,03	0,109	5,076	12,5 + 1,3 – 1,3	8,9 + 1,7 – 1,7
1263	SWIDA	0,487	1,023	0,105	24,526	12,0 + 0,4 – 0,4	11,3 + 0,4 – 0,4

Tabela 1: Rezultati datacij vzorcev sig v Škocjanskih jamah.

Pri Swidovem razgledišču se je podrl v strugo Reke več kot 10 m dolg in več metrov debel polsteber. Vzorec porozne sige (1263) sem vzel iz stratigrafsko najstarejšega dela polstebra tam, kjer se je ta nekoč dotikal stene. Analiza sige je pokazala starost 11,3 Ka.



Slika 66: Fotografija sigove kope Goba, ki je bila odložena v nadmorski višini 314 m, na alohtone peske v spodnjem delu Podorne dvorane. Vzorec sige za analizo je bil vzet v spodnjem delu kope. (Foto J. Hajna).

Figure 66: Speleothem named Goba in elevation of 314 m a.s.l. is deposited on the allochthonous sands in the Podorna dvorana chamber. Sample was taken from the lower part of the dome. (Photo J. Hajna).

Podobna, porozna rjavkasta siga z laminami je bila odložena tudi na več mestih v Tihi jami. Analiziran je bil vzorec sige (1306) s spodnjega dela sigove kope Goba. Čeprav ta siga ni bila odložena v pogojih rednega poplavljanja, je bila vseeno močno kontaminirana z ilovico. Starost vzorca je bila $37 \pm 1,6$ Ka.

DATACIJE SIG IZ KAČNE JAME

V spodnjih rovih Kačne jame, kjer Reka poplavlja večkrat na leto, se nova siga odlaga le na nekaj mestih. V delih jame, ki so le občasni prevodniki Reke, pa je veliko ostankov velikih sigovih tvorb. Te so danes spodkopane in podrte ter močno erodirane. Vzel sem več vzorcev sig iz Cimermanovega in Spodnjega rova.

Cimermanov rov je skrajni SZ del Kačne jame. Njegovo dno leži v nadmorski višini 180 m. Rov je ob srednjem vodostaju Reke neaktiven, njegovo dno pokrivajo jezera in prodišča. Ob višjih vodostajih postane Cimermanov rov pomemben prevodnik vode, o čemer pričajo erozijski sledovi na stenah, zagozdena velika debla v rovu in odsotnost drobnega plavja. Prerez rova je do 100 m^2

Razmere v rovu so bile v preteklosti drugačne, o čemer pričajo ostanki velikih sigovih kop in posamezni stalagmiti v nekaterih, bolj zatišnih delih rova.

Obstoj velikih kop v dnu rova, ponvic in stalagmitov kaže na velike spremembe sedimentacijskih pogojev v istem rovu. Namen datacij je bil ugotoviti časovne okvire teh sprememb. Analiziral sem vzorce sige iz dveh stalagmitov in ostankov masivne erodirane sigove kope.

Vzorca sige dveh stalaktitov sta bila vzeta v skrajnem SZ delu Cimermanovega rova, blizu končnega sifona, v nadmorski višini približno 190 m. Stalaktita sta rasla na previsni steni manjše stranske dvorane, ki je bila zapolnjena s poplavno ilovico. Ilovica se razlikuje od drobnega plavja, ki ga najdemo v spodnjih delih jame. Spiranje sedimenta iz dvorane proti sifonu je razkrilo stalaktite, ki so nekoliko korodirani, ponekod pa se na njih izloča tudi nova siga. Vzorca (1258 in 1312) sem vzel iz morfološko podobnih stalaktitov. Oba sta imela nizek delež detritičnega ^{230}Th in sta se po starosti zelo razlikovala (74 Ka in 2 Ka).

V dnu Cimermanovega rova se je odložila velika sigova kopa, njena prostornina je več 10 m^3 . Kopa stoji na produ, ki ga v sedanjih hidroloških pogojih odnašajo običajne višje vode, zato sigova kopa luskasto razpada. Podobnih kop je še več v Petkovškovem rovu in v Rovu desetih jezer. Analiziral sem dva vzorca (1245 in 1313) iz spodnjega dela kope. Oba vzorca kompaktna, goste, rjave kristalaste sige sta starejša od 350 Ka.

V enaki nadmorski višini kot Cimermanov rov leži tudi Spodnji rov, ki pa ima drugačno vlogo v hidrologiji jame. Čeprav tudi ta rov prevaja visoke vode, je hitrost toka v njem precej nižja, saj se ob umiku poplave iz vode useda drobno plavje, ob višku poplave pa voda prenaša tudi pesek in prod.



Slika 67: Erodirane sigove kope v Petkovškovem rovu Kačne jame.

Figure 67: Eroded speleothems in passage Petkovškov rov in the Kačna jama.

V dnu rova je na razdalji približno 50 m razgaljena starejša siga. Odložila se je v obliki masivnih ponvic, ki pokrivajo celo širino rova. Danes to siga močno erodira poplavna voda. Vzorec (1256) iz roba ponvice je bil star 83 Ka, vendar s precejšnjo napako ter z veliko korekcijo zaradi kontaminacije.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1245	KACI3A	0,161	1,056	1,043	17,919	> 350	
1258	KACIM 1	0,255	1,622	0,516	65,32	74,7 + 3,2 – 3,1	
1256	KASP 1	0,045	1,188	0,614	6,276	100 + 11,8 – 10,7	83,6 + 13,1 – 2,1
1312	KACIM 2	0,138	1,245	0,02	10000	2,27 + 0,7 – 0,7	

Tabela 2: Rezultati datacije vzorcev sig v Kačni jami.

DATACIJE SIG IZ DIVAŠKE JAME

Vhod v 670 m dolgo Divaško jamo leži v nadmorski višini 426 m. Rovi Divaške jame potekajo v nadmorski višini med 350 in 410 m, površje nad jamo je v nadmorski višini 450 m. Vhod v jamo je nastal z zniževanjem površja in z njegovim približevanjem jamskemu rovu.

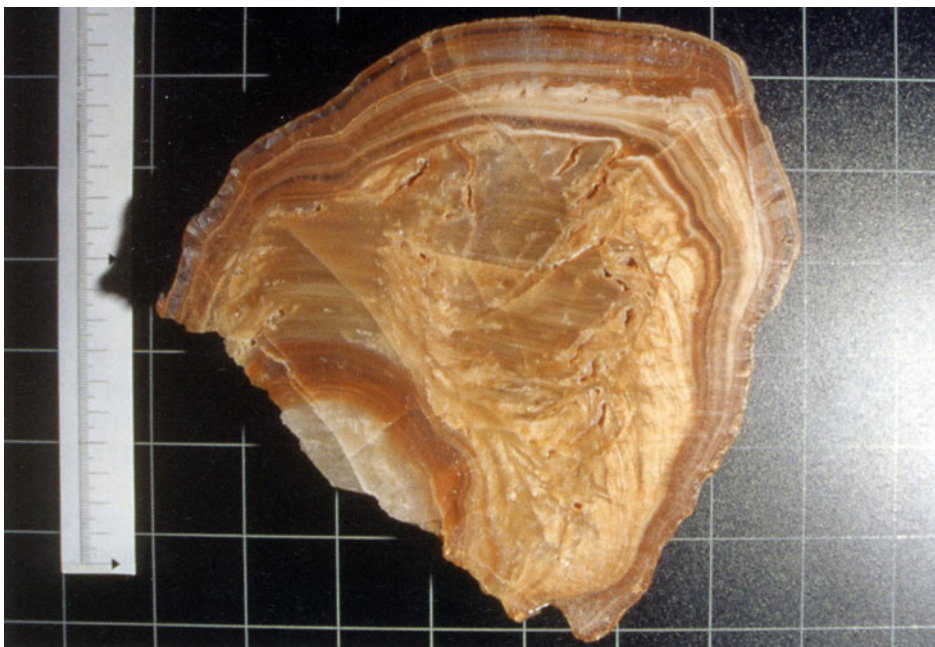
Že pri vhodu v jamo opazimo masivne sige, ki segajo danes prav do površja. V jami je v nadmorski višini 356 do 390 m odložena rumenorjava pasovita in rdeča ilovica, na to pa več generacij masivne sige. V jami je bila ilovica odložena v dveh fazah, ki ju je ločilo obdobje erozije in izločanja sige. Na osnovi zaporedja sedimentacije je Gospodarič (1985) sklepal, da se je rumenorjava ilovica odložila v mindelski ledeni dobi, rdeča ilovica pa naj bi bila s površja prinesena terra rossa, sprana v jamo kasneje, v topli mindel-riški medledeni dobi. Podobne sedimente najdemo tudi v Trhlovcu, tik nad JZ delom Divaške jame, v nadmorski višini med 404 in 420 m.

V Divaški jami so ponekod ostanki ilovic, ki kažejo, da je bila jama v celoti zapolnjena. Še sedaj pa je zapolnjeno nadaljevanje jame SV od vhoda. V tej smeri, 400 m od vhoda, je v nadmorski višini med 390 in 415 m pobočje dola Radvanja prerezala s sedimenti – z rumenorjavimi ilovicami in masivnimi sigarni zasut rov podobnih dimenzij, ki je verjetno nadaljevanje Divaške jame.

Datiral sem pet vzorcev s štirih mest v jami. Vhod v jamo je nastal z udorom stropa nad rovom. Vzel sem vzorec (1316) masivne sige iz kope, ki je nad vhomom v jamo. Analiza sige je pokazala starost $243 \pm 81 - 47$ Ka. V Rešaverjevi dvorani, v nadmorski višini 390 m leži na tleh velik, 12 m dolg in do 4 m debel kapnik Harambaša. Zaradi debeline so na kapniku rasli tudi manjši, parazitski stalagmiti. Ker je bilo prenehanje rasti oziroma podrtje kapnika morda povezano s spremembo pretakanja skozi strop jame in morda povečanim spiranjem sedimenta, sem analiziral vzorec (1375) s temena takega parazitskega kapnika. Starost tega kapnika oziroma starost, ko je prenehal rasti je $176 \pm 17 - 15$ Ka.

Žibernova dvorana je najbolj zahodni del jame. Dno dvorane pokrivajo poplavne ilovice, v katerih je kasnejše spiranje oblikovalo do 10 m reliefa. V spodnjem delu je odložena rumenorjava laminirana ilovica, preko nje pa rdečkasta ilovica. Med obema plastema ilovic so v daljšem obdobju, ko v jami ni bilo poplav, zrasli kapniki in sigove skorje. Med njima je zrasel tudi 39 cm dolg stalagmit. Datiral sem vzorec (1242) iz baze tega stalagmita. Analiza je pokazala, da je prestar za datacijsko metodo $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$, torej da je starejši od 350 Ka.

Podobni sedimenti so tudi v Pretnerjevi dvorani. Poplavne ilovice so erodirane, na njih pa je tanka plast kamenja. To kamenje, ki je očitno odpadlo s stropa, je prekrila temna skorja iz sige, na njej pa so zrasli debeli, a kratki kapniki. Analiziral sem bazo (1243) in teme kapnika (1244), ki se je prevrnil zaradi urejanja turistične poti. V bazi je starost sige 16 ± 1 Ka, v vrhnjem delu kapnika pa $7 \pm 0,8$ Ka.



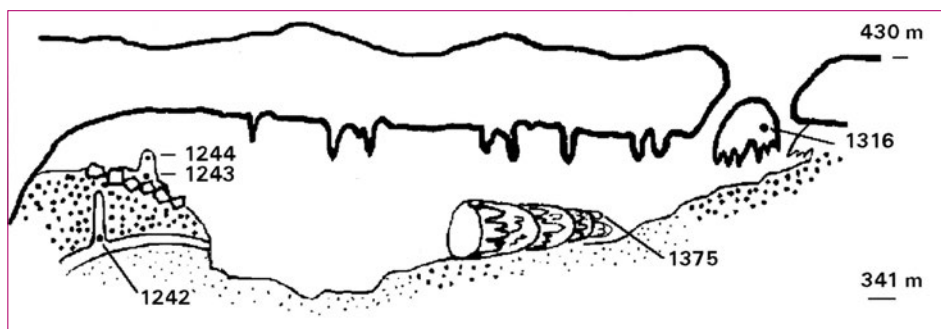
Slika 68: Vrh parazitskega stalagmita, ki je rasel na podrtem kapniku Harambaša. Datirana je bila rdečkasta vrhnja siga. Razmak med črtami je 3 cm.

Figure 68: Tip of the small parasitic stalagmite that was growing on the large, now collapsed stalagmite named Harambaša. The sample of the upper, reddish flowstone was analysed.



Slika 69: Sigova skorja in stalagmit med dvema plastema poplavnih sedimentov v Žibernovi dvorani sta starejša od 350 Ka.

Figure 69: Flowstone crust and stalagmite between two layers of flood loam from chamber Žibernova dvorana in the Divaška jama was older than 350 Ka.



Slika 70: Shematični prerez Divaške jame, z označenimi mesti pobranih vzorcev sig.
 Figure 70: Schematic cross section of the Divaška jama cave with the flowstone sampling points.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1242	DIVAILA	0.25	1,026	1,019	10000.0	> 350	
1244	DIVAPODB	0.206	0.988	0.066	10000.0	7,4 +0.8 -0.8	
1243	DIVAPODA	0.240	0.976	0.140	258,0	16,4 +1,2 -1 ,2	
1316	DIVAVHO	0.06	1,09	0.928	10.372	254 +79,7 -46,4	243,7 +81 -47
1375	ORJAK	0.243	1,0874	0.827	23,966	181 +17,1-14,8	176,3 +17 -15

Tabela 3: Rezultati datacij vzorcev sig v Divaški jami.

DATACIJE SIG IZ JAM V MATARSKEM PODOLJU

Vzdolž roba Brkinov ponika v Divaški kras in v Matarsko podolje večje število potokov. Oblikovali so jame, v katerih se je odložilo veliko fluvialnih sedimentov, pa tudi sig. Nekatere sige so se odložile na zadnjih fluvialnih zapolnitvah, druge pa so starejše, prekrite z mlajšimi sedimenti.

Ker so se ponikalnice in Reka enako odzivale na klimatske spremembe, je verjetno, da so sige v spodnjih rovih teh jam podobne starosti. Vzorčeval sem sige v še danes aktivnih vodnih rovih ponikalnic v Mejamah, Ponikvah v Odolini in v Račiških ponikvah, v dveh jamah v slepi dolini Jezerine ter v zaledju ponikalnic v Jazbini v Rovnjah.

DATACIJE SIG IZ MEJAM

Mejame so 171 m globoka in 300 m dolga ponorna jama, z 2 do 3 m širokimi rovi in brezni med njimi (Mihevc, 1989). V vodoravnih delih rovov in na širših



Slika 71: Erodirana siga v Mejamah.

Figure 71: Eroded flowstone in the cave Mejame.

mestih pokriva dno jame nekarbonatni prod. Ponikalnica ima hudourniški režim, erozija pa je pomemben oblikovalni proces v jami.

Sigo najdemo v jami v obliki kapnikov, odložila pa se je tudi na večji dolžini v dnu rova, na bolj strmih delih rova, pa tudi v brezni. V dnu rova je bila debela po več metrov, vendar jo je potok močno erodiral. V sigi smo našli odtise listov hrasta in gabra, kar priča tudi o tem, da je sigo odlagala voda ponikalnice.

Analiziral sem vzorec (1294) laminirane porozne rjave sige. Pokazal je starost 15 ± 7 Ka. Vzorec iz iste plasti je že bil datiran (Zupan, 1991), star naj bi bil 42 ± 28 Ka. Veliko razliko med obema rezultatoma analiz lahko pripišemo napaki zaradi kontaminacije z ^{230}Th .

DATACIJE SIG IZ PONIKVE V ODOLINI

Ponikve v Odolini so aktivna ponorna jama potoka Brsnica. Jama je globoka 120 m in dolga približno 200 m. Zasuta je bila s prodnim zasipom kot dno slepe doline; ponekod so ostanki zapolnitve še ohranjeni, na več mestih pa za-

pirajo nadaljevanje jame. Dolgotrajna zapolnitev je preprečila nastajanje sige v jami, vendar pa so ohranjene sige, ki so nastale pred zapolnitvijo. Največja taka siga, ki pa je močno erodirana, saj ponikalnica prenaša velike količine proda, je ohranjena tik pred sifonom v spodnjem delu jame.

Gosta kristalasta siga rjave barve je ostanek velike kope, ki je prekrila skale v dnu nekdanje struge jamske reke. Siga je ohranjena le na enem mestu, tik pred odtočnim sifonom. O intenzivnosti erozije in korozije v tem delu jame pričajo sledovi udarcev prodnikov na stenah jame in fasete. Hitrost korozijskega poglobljanja faset, 1 mm na 100 let, je bila izračunana s pomočjo napisa, ohranjenega na jamski steni (Mihevc, 1993).

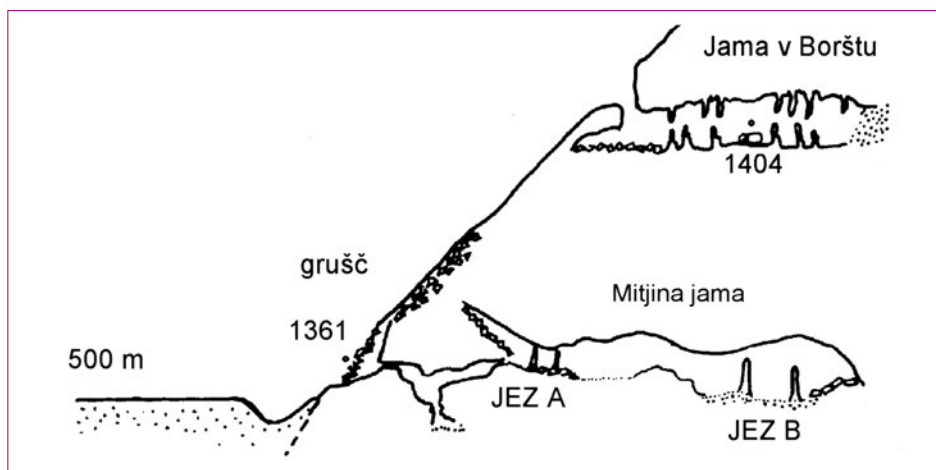
Vzorec sige sem vzel v spodnjem delu ostanka kope, ob stiku sige in skale. Vzorec (1257) je star več kot 350 Ka.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1294	ME JAME	0,209	1,086	0,361	2,038	48,3 +4,4 -4,3	15,0 +7,3 -7,2
1257	ODOLNA	0,037	1,158	1,038	4,857	> 350	

Tabela 4: Rezultati datacij vzorcev sig v Mejamah in Ponikvah v Odolini.

DATACIJE SIG IZ SLEPE DOLINE JEZERINE

Slepa dolina Jezerina je največja slepa dolina v Matarskem podolju. V slepo dolino pritekata dva potoka. Potok Perilo ponika v jami, ki je globoka 120 m,



Slika 72: Shematični prerez robnega dela slepe doline Jezerine z vrisanim položajem jam in označenimi mesti vzorčevanja.

Figure 72: Schematic cross section of the edge of the Jezerine blind valley with caves and sampling points of the flow stone.

drugi potok pa nima dostopne jame. Dno doline pokrivajo fluvialni nekarbo-natni sedimenti s fliša.

Poleg aktivne ponorne jame sta v slepi dolini še dve jami. Jama v Borštu se odpira v severnem boku, približno 50 m nad sedanjim dnom doline. Pred kratkim je bila ob vznožju zahodnem pobočja najdena še Mitjina jama, ki leži v višini dna. Vhod v jamo je zatrpan s podornim skalovjem in gruščem. Podoben grušč, ponekod cementiran v brečo, je razgaljen tudi v bližnjem pe-skokopu. Vzorce sig za datiranje sem vzel v Pečini v Borštu, v Mitjini jami pa tudi v peskokopu pri vhodu vanjo.

Pečina v Borštu je 244 m dolga in 21 m globoka. Njen vhod leži v pobočju slepe doline v nadmorski višini 570 m. Vhod je nastal zaradi udara stropa nad rovom, ki se je približal pobočju slepe doline. Jama poteka proti severu in se konča zasuta s kremenovim peskom. Stene jame kažejo freaticne oblike in delno preoblikovanje zaradi krušenja sten v bližini vhoda. Siga nastopa v obliki masivnih kop, čokatih stebrov in kristalastih, prekristaljenih stalagmitov in stalaktitov. V srednjem delu jame smo vzeli vzorec razbitega, 16 cm debelega stalagmita. Srednji del kapnika sestavlja laminirana prozorna ali bela siga, proti obodu pa prehaja v rdečkasto. Bela siga iz osrednjega dela kapnika je stara 211+20–17 Ka.



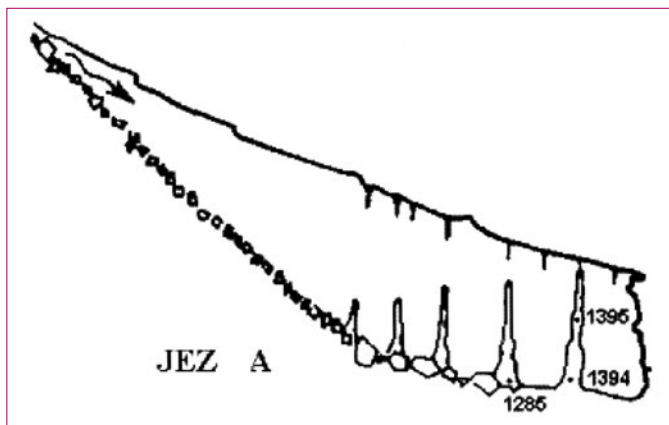
Slika 73: Fotografija prerezanega in poliranega kapnika iz Pečine v Borštu. Srednji del sestavlja laminirana prozorna in bela siga, proti obodu pa je siga obarvana rdeče.

Figure 73: Polished section of the stalagmite from cave Pečina v Borštu. Middle part of the stalagmite is of laminated translucent or white calcite, the rim has more impurities.

Vhod v Mitjino jamo leži v peskokopu v boku slepe doline. V vhodnem delu se spustimo v splet do 10 m širokih rogov. Vhod v jamo je v nadmorski višini 512 m, rovi pa so v nadmorski višini približno 50 m, to je v enaki nadmorski višini, kot je ravno naplavljeno dno slepe doline. Dno rogov večinoma prekrivajo peščeni ali ilovnati nanosi, podobni tistim v slepi dolini.

Slika 74: Vzorčevalno mesto JEZ A v Mitjini jami.

Figure 74: Sampling point JEZA in the cave Mitjina jama.



Manjšo dvorano v osrednjem delu jame skoraj zapira podorni nasip, ki je v rov nasut iz bočnega, danes nedostopnega, višjega rova ali dvorane. Med stropom in podornim kamenjem je močan prepah, vendar jamarjem tudi s kopanjem še ni uspelo doseči nadaljevanja za zožitvijo. Zasip sestavljajo grušč in tudi večji kamni, ki se jasno ločijo od avtohtonega, starejšega, od stropa odpadlega kamenja.

Zasip, ki se v obliki melišča spušča v dvorano, kaže s svojim naklonom, sortiranostjo grušč in večjih kamnov ter odsotnostjo drobnih delcev v njem na nekdanje intenzivno poljenje. Melišče se danes ne premika več, saj na spodnji strani na njem raste skupina paličastih stalagmitov. Pri raziskovanju jame se je po nesreči sprožila skala nad kapniki in jih več podrlo. Na tem mestu (JEZA) sem iz razbitin sestavil dva kapnika. Oba sem prerezal po podolžni osi in iz njih vzel serijo vzorcev. Ker so prerezani kapniki pokazali laminiranost, sem primerjal tudi število ravnih lamin z radiometrično določeno starostjo kapnika.

Oba kapnika sta iz porozne laminirane sige. Lamine sestavljajo pari gostejše in prosojne ter svetlejšje neprozorne sige, ponekod pa so vmes temne zgostitve lamin. Izrazita laminiranost kaže na menjavo obdobij, ko je bil ta del jame vlažen, in obdobij, ko je prihajalo do izsuševanja površine kapnikov. Takšni pojavi so možni le pri vdiranju zunanjšega zraka v jamo pozimi.

Kapnik s tega mesta sem (1285) datiral v njegovi bazi. Vzorec mlečno bele kristalaste porozne sige je pokazal starost $16,3 \pm 2$ Ka. Višji deli 124 cm visokega in le do 7 cm debelega kapnika zaradi poroznosti niso bili primerni za datiranje.

V 124,5 cm dolgem stalagmitu sem lahko pod lupo naštel 3855 parov lamin sige. Srednja debelina lamine je 0,3 mm, minimalna 0,08 mm, maksimalna pa 0,54 mm. Poleg parov lamin pa je bilo v kapniku tudi 26 temnejših prosojnejših plasti sige, kjer so bile lamine tako tanke, da jih med seboj nisem mogel ločevati. Gostejše lamine nedvomno označujejo čas zmanjšane pretoka vode (Genty & Quinif, 1996). Ob predpostavki, da par temne in svetle lamine izraža letni prirast kapnika v višino, so laminirani deli kapnika rasti 3855 let, v 26 zgostitvah pa je izraženih ostalih 12.500 let rasti kapnika. To pa seveda pomeni, da je v njih izražen večji časovni del rasti kapnika.

Drugi kapnik z istega mesta (1394 in 1395) je bil 151 cm visok steber, ki je nastal, ko se je stalagmit v višini 137 cm združil s cevčico, rastočo nad njim. Kapnik je kazal neenakomerno rast s številnimi hiatusi in spremembami debeline. Datiran je bil vzorec kapnika (1395), vendar zaradi kontaminiranosti



Slika 75: Prerez laminiranega kapnika (1285) iz lokacije JEZ A v Mitjini jami. Vidne so tanke rastne lamele sige, zgostitve lamel, hiatusi in obdobja korozije.

Figure 75: Polished stalagmite section from Mitjina jama, location JEZ A. Inner structure indicates changes in its growth.

ni dal uporabnega rezultata. Vzorec istega kapnika v višini 28 cm (1394), pa je imel boljše razmerje $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ in je pokazal starost $12,2 \pm 2,4$ Ka. Višji deli kapnika zaradi poroznosti niso bili primerni za datiranje, zanimivi pa so bili za primerjavo ravnih lamin in zastojev v rasti.

Analizirana kapnika sta rasla le približno 2 m oddaljena drug od drugega, zato sem pričakoval, da bo možno primerjati njuno obliko, starost ter notranjo strukturo. Razlika v starosti ni velika. Če upoštevamo statistično napako, sta začela rasti približno ob istem času. Kapnika sta si bila podobna tudi na zunaj. Spodaj sta debela, proti vrhu pa tanka. Mnogo bolj se razlikuje njuna notranja struktura, ki kaže na razlike v rasti.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1285	JEZ A 1	0.107	1,179	0.158	11,333	18,6+1,9–1,8	16,3+2,1–2,1
1395	JEZ A 2	0.129	1,216	0.196	1,963	23,5+3–2,9	6+5,2–5,2
1394	JEZ A 2	0.094	11805	0.1319	70,909	15+ –2	12,2+2,4–2,3

Tabela 5: Rezultati datacij vzorcev sig iz dveh kapnikov v Mitjini jami.

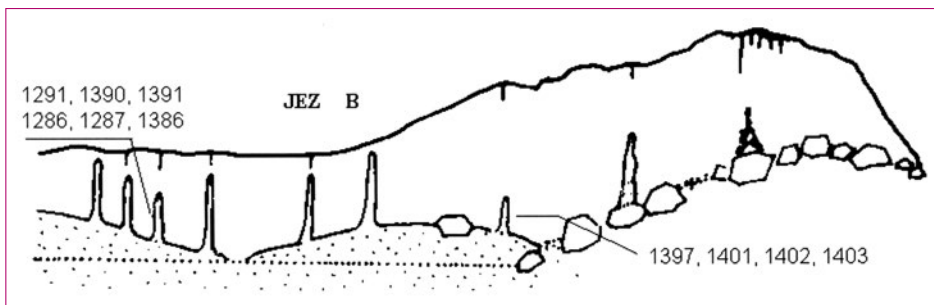
V končnem delu jame Mitjine jame se do 10 m širok rov konča s čelnim podorom. Pred njim je rov zasut s poplavnimi ilovicami in peski. Na fluvialnih sedimentih in podoru so zrasli številni paličasti stalagmiti.



Slika 76: Vrhnji del kapnika iz sklepnega dela Mitjine jame. V vrhnjem delu je siga kompaktna, v spodnjem pa je v njej vidnih več hiatusov in sledov poplav.

Figure 76: Upper part of the tall stalagmite from cave Mitjina jama, sampling point JEZ B. Lower part of the stalagmite shows interruptions in the growth and flood events.

Analizirali smo vzorce sige iz prevrnjenega, 126,5 cm dolgega stalagmita. Stalagmit je rasel na ilovici, nato pa se je prevrnil in razlomil. Vzdolžni prerez kaže dobro laminiranost. Med laminami je v spodnjem delu precej poplavne ilovice in peska.



Slika 77: Vzorčevalno mesto JEZ B v Mitjini jami.

Figure 77: Sampling point JEZ B in the cave Mitjina jama.

Iz stalagmita (JEZ B) sem analiziral šest vzorcev sige. Iz baze sta bila vzeta vzorca 1286 in 1390. Dala sta rezultat $10,4 \pm 1$ Ka in $12,6 \pm 1$ Ka. V tem delu kapnika je bila siga brez primesi, zato je rezultat zanesljiv. Iz srednjega



Slika 78: Vzorčevalno mesto JEZ B v končnem delu Mitjine jame. Vzorce sige smo vzeli iz kapnika, ki leži na tleh.

Figure 78: Sampling point JEZ B in the inner part of Mitjina jama. Samples were taken from the fallen stalagmite.

dela sta bila vzeta dva vzorca. Prvi (1291) je ležal pod močnim hiatusom z delci ilovice med sigo, drugi (I386) pa tik nad njim. Analiza prvega (1291) je pokazala starost 14 ± 1 Ka, analiza drugega (1386) pa 18 ± 1 Ka. Drugi vzorec je kazal preveliko starost verjetno zaradi kontaminacije z ilovico oziroma detritičnim ^{230}Th . Pravilno stratigrafsko starost sta pokazala naslednja vzorca. Siga v višini 117 cm (1391) je stara $7,8 \pm 1$ Ka, siga v višini 126 cm (1287) pa $7,3 \pm 0,8$ Ka (1403).

Drugi proučeni kapnik (JEZ B2) je bil dolg 85 cm, ko se je prevrnil. Kapnik je bil v spodnjem delu še večkrat poplavljen, kar se je odrazilo v menjavi lamin sige in ilovice. V višini 72 cm je izrazit hiatus, ki ga je spremljala odložitev tanke plasti sige in peska na vrhu kapnika.

Datiral sem štiri vzorce sige iz tega kapnika. Siga je bila primerna za analizo, zato so rezultati datacij natančni in zanesljivi. Vzorec 1397 iz baze kapnika je pokazal starost $12,4 \pm 2$ Ka, vzorec v višini 25 cm nad bazo kapnika (1401) pa starost $11,3 \pm 0,7$ Ka. V višini 71 cm, tik pod hiatusom, je datirani vzorec (1402) pokazal starost $6,9 \pm 0,4$ Ka, nad hiatusom v višini 75 cm pa $3,6 \pm 0,6$ Ka.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1286	JEZ B	0,225	1,260	0,099	17,416	$11,3 + 0,9 - 0,9$	$10,4 + 1,3 - 1$
1390	JEZ B	0,296	1,273	0,122	14	$14,1 + 0,9 - 0,9$	$12,6 + 1 - 0,9$
1386	JEZ B	0,210	12,119	0,1667	16,22	$19,6 + 1 - 1$	$18,0 + 1 - 1$
1291	JEZ B	0,211	1,221	0,132	30,222	$15,3 + 1,2 - 1,2$	$14,6 + 1 - 1$
1391	JEZ B	0,172	1,211	0,093	56,154	$10,5 + 1 - 1$	$7,8 + 1 - 1$
1287	JEZ B JEZ B 2	0,231	1,143	0,072	15,1	$8,1 + 0,7 - 0,7$	$7,3 + 0,8 - 0,8$
1397	JEZ B	0,22	1,248	0,171	3,661	$20,3 + 1,6 - 1,5$	$12,4 + 2,2 - 2,1$
1401	JEZ B	0,172	12181	0,0993	10000,0	$11,3 + 0,7 - 0,7$	
1402	JEZ B	0,213	12,181	0,0623	122,0	$6,9 + 0,4 - 0,4$	
1403	JEZ B	0,180	11,816	0,0330	10000,0	$3,6 + 0,6 - 0,6$	

Tabela 6: Rezultati datacije vzorcev sig iz dveh kapnikov v Mitjini jami, lokacija JEZ B.

Jugozahodno pobočje slepe doline Jezerine pokriva plast ostrorobatega grušča, ki je sortiran, vmes pa so tudi večje skale. Grušč je očitno zaprl nekdanji višji dostop v Mitjino jamo in ga lahko genetsko in morfološko povežemo z gruščem v jami pri vzorčevalnem mestu JEZ A. Grušč je ponekod sprjet v brečo. V praznih prostorih med kamni se je odložila čista do rdečkasto obarvana, več cm debela laminirana siga. Vzorec sige (1376), izrezan iz breče, je star $6,3 \pm 1$ Ka.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1376	BL V C	0.118	1,078	0.0673	8,909	7,5+0.8–0.8	6,3+1–1

Tabela 7: Rezultat datacije vzorca sige iz grušča v peskokopu slepe doline Jezerine.

DATACIJE SIGE IZ RAČIŠKE PONIKVE

Račiške ponikve so 470 m dolga in 9 m globoka vodna jama, ki leži v nadmorski višini 476 m, v dnu Račiške slepe doline. Sestavljata jo dva rova, ki ležita skoraj v enaki nadmorski višini. Spodnji ima stalni vodni tok, gornji, nekaj metrov višji, pa je zalit le še občasno. V tem rovu na nekaj mestih rastejo kapniki.

Kapnik, ki sem ga izbral za analizo, večkrat letno zalije voda in na njem pusti tanko sled blata. Kapnik, ki je bil dolg 60 cm in v bazi debel 15 cm, je iz plastovite, močno porazne sige. Analiza sige (1308) je pokazala, da zaradi močne kontaminiranosti sige s poplavno ilovico (razmerje $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ je bilo 1,4) datiranje ni mogoče.

DATACIJE SIG IZ DIMNIC

Dimnice so z dolžino 6020 m in globino 134 m največja jama v Matarskem podolju. Vhod v jamo je v nadmorski višini 567 m. Jama je iz dveh delov: starejših suhih rogov velikih dimenzij in ozkih, danes aktivnih rogov, po katerih teče ponikalnica iz Velikih Loč. V jami je zlasti v gornjem delu veliko sige, med katero so tudi kapniški stebri, ki sodijo med največje kapnike v Sloveniji. Sigo sem vzorčeval na dveh mestih. V severnem delu Paletne dvorane in v Podorni dvorani.

V severnem delu Paletne dvorane pokriva tla podor. Na njem rastejo posemzni stalagmiti. Na gornjem robu podora se pojavi v tleh starejša poplavna ilovica, iz dvorane pa se spusti kratek rov brez imena.

Na gornjem robu podora so zrasi številni kapniki, ki pa so danes polomljeni. Zbral sem dele izpuljenega in razbitega, 25 cm dolgega, v bazi 6 cm debelega kapnika. Kapnik je iz kompaktne, steklaste rjave sige. Datacija je pokazala starost 98 ± 8 Ka.

Pod vhomom v jamo je velika Podorna dvorana, ki se spušča proti spodnji vodni etaži jame. Tla dvorane tvorijo grušč, kamenje in nekaj izredno velikih podornih blokov. Na bloke kaplja s stropa voda, zato na njihovih previsnih straneh rastejo manjši stalaktiti. Zaradi polzenja blokov pa so nekateri stalaktiti premaknjeni iz navpične smeri.

Vzorec sige je bil vzet z bloka, velikega približno 5×5 m. Na bloku so bile tri skupine stalaktitov in zaves, vsaka orientirana v drugo smer, kar kaže tri

obdobja relativno dolgega mirovanja in seveda tri premike bloka. Vzel sem tri vzorce sige, vendar je analiza uspela le pri enem vzorcu (1315). Starost sige je bila 180+48–36 Ka.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1315	DI POD	0.058	1,193	0.903	4	219+44–32	180.65+48–36
1374	DIM TRIK B	0.123	0.920	0.589	631,0	98,25+8–7	

Tabela 8: Rezultati datacije vzorcev sig iz dveh kapnikov v jami Dimnice.

DATACIJE SIG IZ JAZBINE V ROVNJAH

Jazbina v Rovnjah je 2230 m dolga in 160 m globoka jama. Vhod leži v nadmorski višini 485 m, južno od slepe doline Brezovice. Dno jame je najnižja dosegljiva točka Matarskega podolja, saj leži v nadmorski višini 325 m

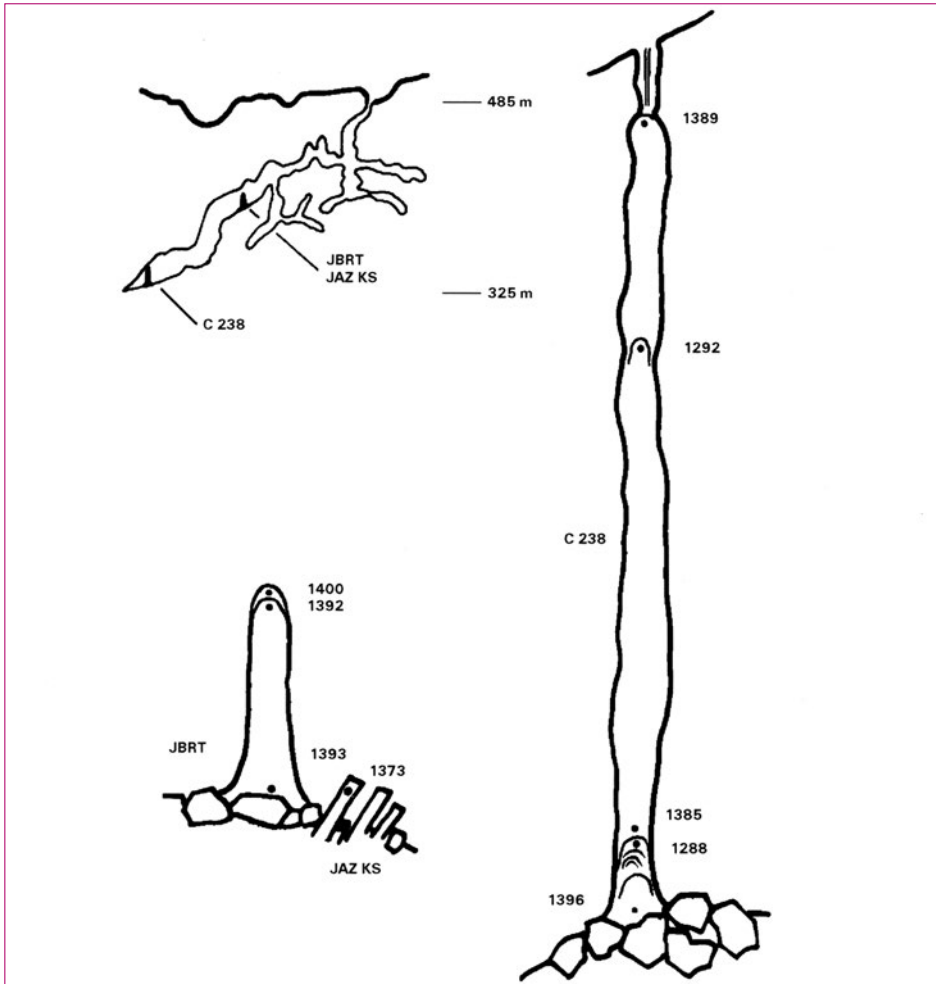
Analiziral sem vzorce sige iz dveh stalagmitov in iz kosov sigove skorje. V spodnjem delu rova jame, v globini približno 125 m, je rasel 238 cm dolg kapniški steber. Dno rova se tu spušča, potem pa izravna v majhni dvorani. Iz nje se nadaljuje 10 m dolg, nekaj metrov širok in visok rov. Dno rova sestavljajo kamni decimetrskih dimenzij, ki niso odpadli s stropa tega rova, pač pa so vanj pripolzeli iz prostora, ki leži za njim. Na tem kamenju raste še več paličastih kapnikov. Največji med njimi, kapnik C 238, se je zrušil ob neprevidnem dotiku obiskovalca. Izkazalo se je, da je bil že v bazi počen. Zbral sem dele polomljenega kapnika in iz njegove sredine izrezal po celi dolžini približno 2 cm debelo ploščo, iz nje pa še vzorce za analize.

Kapniški steber C 238 je 215 cm dolg stalagmit, ki se je v gornjem delu zrasel s cevčico, ki se je kasneje odebelila. Kapnik je iz kompaktne prosojne ali bele laminirane sige. V bazi je debel 7 cm, na najširšem mestu, v višini 70 cm, pa 11 cm. Zaradi visokega deleža ^{238}U in nizke kontaminacije z ^{232}Th so bili rezultati analiz vzorcev zelo zanesljivi.

Stalagmit je začel rasti pred $16\pm 0,6$ Ka (vzorec 1396). V spodnjem delu je bilo v rasti še nekaj motenj, ki so izražene v hiatusih in laminah obarvane sige. Morfološko pomemben je drugi hiatus v višini 17 cm, kjer sem vzel dva vzorca. Vzorca sta 3 cm narazen. Vzorec sige izpod hiatusa (1288) je pokazal starost $10\pm 0,2$ Ka, vzorec nad hiatusom (1385) pa $9\pm 0,2$ Ka.

Hiatus je jasen, izražen s tanko plastjo rdeče sige. Pod njim je siga zaradi zelo tankih lamin kompaktna, prosojna in bela, lamine pa debelejšje. Nad njim se debelina stalagmita poveča, kar pomeni povečan dotok vode. Rast je bila še večkrat motena, kar se kaže v zgoščitvah lamin, vendar je le pri 151 cm višine pravi hiatus obarvan s tankim slojem rdeče ilovice.

Vzorec sige pri 149 cm nad bazo (1292) je star $7,6\pm 0,2$ Ka, vzorec pri 211 cm (1398) pa $5\pm 0,2$ Ka. Siga se je na kapniku odlagala s hitrostjo 0,03 mm/leto.



Slika 79: Shematični prerez Jazbine v Rovnjah in obeh, iz jame analiziranih kapnikov. Na njih so označena mesta vzorčevanja.

Figure 79: Schematic cross section of the cave Jazbina v Rovnjah and two stalagmites that were analysed. Locations of subsamples from them are marked.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1396	FOOT A 0.7	1,56	2,642	0.139	1084	16,1+0.6-0.5	
1288	CM7	1,54	2,597	0.094	660.2	10.6+0.2-0.2	
1385	CM 11,5	1,60	2,48	0.083	10000	9.3 \pm 0.2-0.2	
1292	CM 139	1,8	2,418	0.068	10000	7,6+0.2-0.2 1	
1398	C 238	1,61	24,329	0.0502	10000.0	5,5+0.2-0.24	

9: Rezultati datacije vzorcev sige kapniškega stebra C 238 iz Jazbine v Rovnjah.



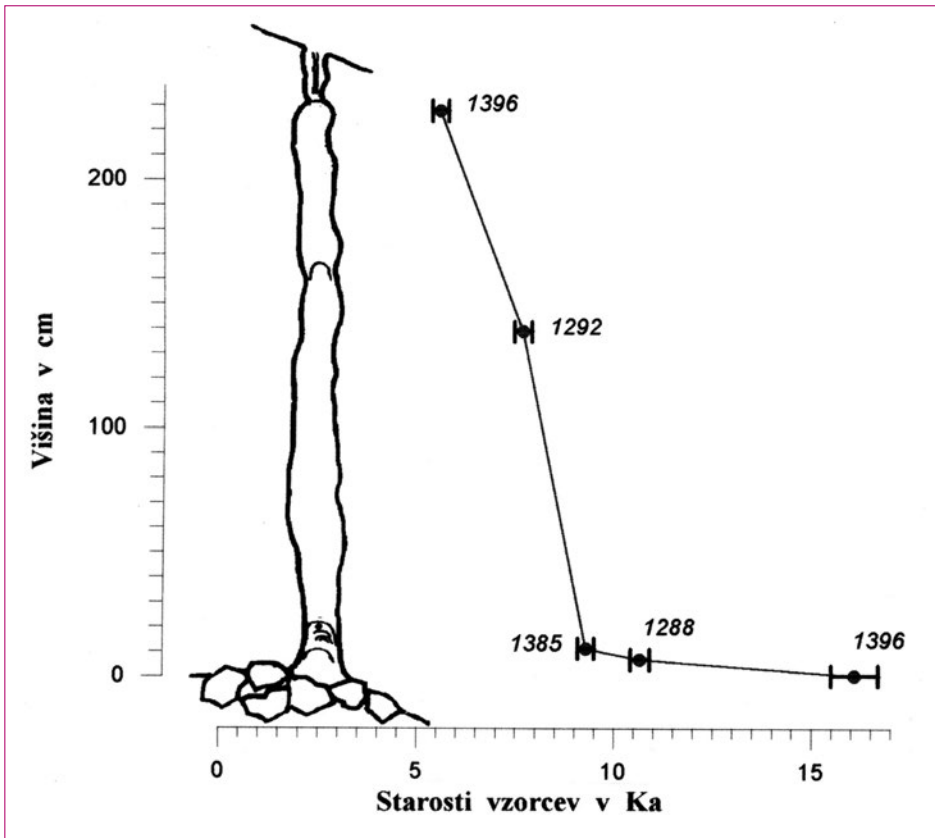
Slika 80: Jazbina v Rovnjah. Kapniki v spodnjem delu jame, od koder je bil vzet podrti kapnik C 238. Kapnik je zrasel na mestu, kjer stoji jamarka.

Figure 80: Lower part of the cave Jazbina v Rovnjah. The tall stalagmite C 238 was growing on the rubble where the caver is standing.



Slika 81: Baza kapnika C 238 v Jazbini v Rovnjah. Razločno so vidne spremembe v odloženi sigi in prekinitivne rasti. Mreža ima dimenzije 3×3 cm.

Figure 81: Photograph of the slice of the stalagmite C 238 base from Jazbina v Rovnjah. Changes in deposition and hiatuses are clearly seen. Grid size is 3×3 cm.



Slika 82: Razmerje med višino in starostjo vzorcev sige iz kapnika C 238. Naklon krivulje predstavlja hitrost rasti kapnika.

Figure 82: The position of the dated subsamples of the stalagmite C 238 plotted against the obtained ages. The line represents the growth rate.

Drugi stalagmit iz Jazbine v Rovnjah (JBRT) je rasel v globini 75 m pod vhodom, na kamenju in kosih razlomljenih sig. Kamenje je odpadlo od sten in stropa, nekaj pa ga je na to mesto pripolzel po rovu. Dokaz polzenja je sortiranost kamenja. Kosi sigovih skorij so postavljeni pokonci in urejeni v poligone nepravilnih oblik. To kaže na močne pojave krioturbacije v jami. Za analizo sem vzel dele polomljenega stalagmita (JBRT) in sigove skorje, na kateri je zrasel.

Vzorec sige (1373) sem izrezal iz srednjega dela skorje. Analiza je pokazala starost $240 \pm 40 - 30$ Ka, vendar pa rezultat ni zelo natančen zaradi velike kontaminacije z detritičnim Th.

Stalagmit, ki je rasel na poligonalnih tleh, je bil v bazi debel 8 cm, na vrhu v višini 51,5 cm pa 5 cm. Kapnik je iz temno rjave laminirane sige, ki 2 cm pod vrhom nad hiatusom preide v svetlo in prozorno sigo. Kristalasta



Slika 83: Jazbina v Rovnjah, iz katere je bil vzet 51 cm visok stalagmit JBRT. Kapnik je rasel na mestu, kjer je na tleh vrtna zavora. Vidne so krioturbatno premaknjene sigove plošče. *Figure 83: The position in the cave where 51 cm tall stalagmite JBRT was sampled. Stalagmite grew on the frost shattered and mowed flow stone in the front of the picture.*

kompaktna siga, tanke prirastne lamine in gladka površina kapnika kažejo na počasno in enakomerno rast.

Trije vzorci iz kapnika so dali zanesljive rezultate. Siga v bazi kapnika (1393) je stara 43 ± 2 Ka, v višini 20 cm (1399) pa $14 \pm 0,5$ Ka. Bela prozorna siga nad hiatusom v višini 49 cm (1400) je stara $4,9 \pm 0,4$ Ka. Stalagmit je rasel zelo počasi, s hitrostjo $0,016$ mm/leto od osnove do hiatusa. Nad njim se spremeni barva sige, stalagmit postane tanjši, spremeni se tudi hitrost rasti, ki znaša nad hiatusom le $0,0013$ mm/ leto.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1373	Skorja	0,36	1,43	0,931	14,08	$250 \pm 40 - 29$	$240 \pm 40 - 30$
1393	JBRT 1	0,26	1,289	0,3324	10000	$43,1 \pm 2,5 - 2,4$	
1399	JBRT 2	0,59	1,222	0,1253	10000,0	$14,4 \pm 0,5 - 0,5$	
1400	JBRT 4	0,58	12,918	0,0448	10000,0	$4,9 \pm 0,4 - 0,4$	

Tabela 10: Rezultati datacije vzorcev sige kapnika JBRT in sigove skorje iz Jazbine v Rovnjah.

DATACIJE SIG IZ LIPIŠKE JAME

Lipiška jama je 1194 m dolga in 230 m globoka jama. Vhodni deli in del jame do globine približno 100 m so bogato zakapani, v nižjih delih pa je sige manj. V jami je bil datiran stalaktit iz Kozinskega rova (Zupan, 1991), njegova starost pa je bila višja od 350 Ka.

V spodnjem delu starega rova, tik pred vstopom v Kozinski rov, sem vzel iz jame 15 cm debel in 52 cm dolg, v bazi odlomljeni stalagmit. Stalagmit sem izbral zato, ker je v prelomu kazal raznobarvne plasti. Približno 8 cm debelo jedro kapnika je iz bele kristalaste laminirane sige, ki gradi enakomerno debel kapnik. Čez to jedro se je odložila 3 cm debela plast rdečkaste in rumenorjave sige. Obarvana siga in debelejši kapnik (Dreybrodt, 1988) kažeta na povečan pretok skozi strop. Podobne prehode barve sem opazil pri številnih drugih prelomljenih kapnikih, pa tudi pri kapnikih iz drugih jam – na primer v Jami v Borštu, ki sem ga tudi datiral.

Kapnik sem prerezal na pol in iz njega izrezal tri vzorce sige. Vzorec bele sige (1384), vzet iz sredine kapnika v njegovi bazi, je pokazal starost večjo od 350 Ka. Drugi vzorec bele sige (1383) je bil vzet iz vrha belega jedra kapnika. Datacija je pokazala starost sige 336+197–67 Ka. Vzorec plasti rdeče sige, ki se je odložila na belo sigo, pa je bil datiran na 356+140–60 Ka. Ker se starosti obeh analiziranih vzorcev približujeta meji metode, sta napaki relativno veliki, s tem pa lahko razložimo tudi napako v dataciji, saj je rdeča siga mlajša kot bela.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1384	LIP BS3	0,09	0,952	10,512	10000,0		
1383	LIP BS1	0,10	10358	0,9659	10000,0		336+197–67
1382	LIP RS2	0,16	10275	0,9733	26,24	362+140–60	356+140–31

Tabela 11: Rezultati datacije vzorcev sige stalagmita iz Lipiške jame.

DATACIJE SIG IZ KAMNOLOMOV ČRNOTIČE IN ČRNI KAL

V kamnolomu Črnotiče so pri delih v zahodnem delu kamnoloma naleteli na veliko votlino. Njene stene so obložene s sigo, votlina, verjetno brezno, pa je bila popolnoma zasuto. V reliefu na površju te jame ni bila zaznavna. Jama je bila zapolnjena z ostrorobim sortiranim gruščem. Med njim so bile tudi posamezne večje skale in veliki kapniki, ki so se odtrgali s stropa ali sten. V breznu sem vzel vzorec sige, ki je cementirala grušč. Vzorec sige je bil v grušču 10 m pod sedanjim površjem. V enaki višini sem v grušču našel tudi paleontološke ostanke. Verjetno gre za spodnjo čeljust rosomaha (*Gulo Gulo*), vendar osteološki material še ni zadovoljivo obdelan. Starost sige (1260) je 211+55–38 Ka.

V Črnokalskem kamnolomu sem vzorčeval sigo, ki je cementirala podorne bloke in grušč v zapolnjenem breznu. Brezno je bilo zapolnjeno z rdečo ilovico, posameznimi večjimi skalami, odlomljenimi kapniki in gruščem. Med temi sedimenti je bilo veliko kosti velikih sesalcev. Vzorec sige (2042) je pokazal starost 143 ± 14 Ka.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
1293	BABO	0,22	1,07	1,003	100000		
1260	CKB	0,171	1,160	0,908	8,920	227,80+53,47-36,54	211,85+55,07-38,00

Tabela 12: Rezultati datacije vzorcev sige iz zapolnjenega brezna v kamnolomu Črnotiče.

DATACIJE SIG IZ KOROZIJSKO RAZŠIRJENIH RAZPOK

V cestnih usekih ali v kamnolomih na Krasu lahko na številnih mestih vidimo korozijsko razširjene razpoke, ki jih zapolnjuje siga. Razpoke in sige z njimi segajo pogosto do površja. Analiziral sem več takšnih zapolnitev v cestnem useku pri Divači, Povirju in pri Sežani ter v kamnolomu Lipica. Izbral sem sige, ki so ležale le nekaj metrov pod sedanjim površjem, v kamnolomu Lipica pa tudi sige, ki so bile približno 10 m pod površjem. Analize vzorcev so pokazale na precejšnjo starost teh sig.



Slika 84: Korozijsko razširjene razpoke z odloženimi sigami v kamnolomu Lipica.

Figure 84: Fissures widened by corrosion and the flowstone deposited in them.

Sige v cestnih usekih pri Divači, Povirju in Sežani so se odložile v do 30 cm širokih razpokah, ki jih je korozijsko oblikovala prenikajoča voda. Da bi ugotovil začetek odlaganja sige, sem vzel vzorce najstarejših plasti sige, ki so odložene na živoskalne stene razpok. Dve dataciji (2043 in 2507) sta pokazali končno starost približno 330 Ka. Ostala dva vzorca (2080 in 2044) pa sta starejša od 350 Ka, ki je meja te metode datacijske metode.

Le nekoliko mlajši so bili vzorci sige iz Lipiškega kamnoloma. Siga se je tu odložila v korozijsko razširjenih razpokah, ki pa še niso popolnoma zapolnjene s sigo ali pa je ta korodirana. Vzel sem vzorce iz globine 10 m (2080), 20 m (2078) in 25 m (2076) pod površjem. Starosti sige so bile 314+133–61 Ka, 245+42–31 Ka, 171+53–37 Ka, najstarejša siga pa je bila bliže površju, en vzorec (2075) pa je bil prestar ter je presegel mejo datacijske metode.

Št. vzorca	Šifra vzorca	U ppm	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Izračunana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)	Korigirana starost v Ka \pm napaka ($\pm\sigma$)
2043	DAC-P	0,04	1,06	0,971	10000	331+235–71	
2044	POV-AC	0,45	1,01	1,061	202,51	preko 350	
2075	LISTAJA 2	0,01	0,33	18.798	4,229	preko 350	
2076	LISTAJA 1	0,13	1,00	0,858	4,142	211+50–340	171+53–37
2078	LIN0-2	0,10	1,08	0,941	5,532	274+40–30	245+42–31
2079	LIN0-3	0,15	1,11	0,988	6,3665	339 +129–59	314 133–61
2080	PO-AC-SK	0,11	1,044	1,023	7,262	preko 350	
2507	SE TUNEL	0,17	1,097	0,986	25,03	343+109–55	337+110–55

Tabela 13: Rezultati datacije vzorcev sige iz zapolnjenih razpok.

PREGLED DATACIJ SIGE

Proces odlaganja sige v jamah je nasproten raztapljanju karbonatnih kamnin, zato z datacijo sig ne moremo datirati nastanka samih jam, lahko pa določimo starost nekaterih procesov znotraj posameznih jam. Analize vzorcev sige iz 20 različnih lokacij v jamah in na površju so pokazale tri starostne skupine vzorcev sig.

Več vzorcev je preseгло mejo datacijske metode, ki je 350 Ka. Med temi vzorci so bile siga iz Brezstrove jame pri Povirju in sige pod rdečimi poplavnimi ilovicami v Divaški jami, kjer je bila visoka starost pričakovana. Presenečajo visoke starosti erodirane sige iz spodnjega dela Kačne jame in siga iz Ponora v Odolini. Te sige so erozijski ostanki obsežnih sigovih kop, odloženih v najnižjih, torej tudi verjetno najmlajših dostopnih rovih ponikalnic. Presenečajo tudi velike starosti sige v zapolnjenih špranjah nekaj metrov pod površjem krasa.

Druga skupina vzorcev kaže starosti med 250 in 150 Ka. Te sige so se odložile v mindel-riški medledeni dobi oziroma v toplejši OIS 7 dobi po izotopski temperaturni krivulji. Med nje sodijo siga iz jame v Črnotiškem kamnolomu, kjer je siga vezivo ostrorobega grušča. Z njeno pomočjo je bilo mogoče časovno uvrstiti tudi kostne ostanke vrste *Gulo* v začetek riškega glaciala oziroma v OIS 6, siga iz kamnoloma ter siga iz kamnoloma v Črnem Kalu in sige iz cestnih usekov in Lipiškega kamnoloma.

Enake starosti (243 Ka) so tudi sige pri vhodu v Divaški jamo, kar kaže, da je bil takrat strop jame v vhodnem delu še ohranjen, jama pa zaprta. Vrh kapnika Harambaša je rasel do pred 176 Ka, torej je zrasel v mindel-riškem interglacialu. Potem pa se je v bazi odlomil. Ker se rast kapnika na odlomljenem mestu v bazi ni nadaljevala, to verjetno pomeni, da jo je zavrla hladna riška doba, obenem pa je tedaj verjetno nastopilo tudi močnejše spiranje sedimentov in s tem destabiliziranje podlage kapnika, ki se je zato prevrnil. Kasneje se rast na tem mestu ni več obnovila do enake mere. Vzrok lahko iščemo v stanjšanju samega stropa in z njim povezanimi spremembami v prenikanju vode ali v tanjšanju pedološkega pokrova.

Podobne starosti (241 K) so še sigova skorja iz Jazbine v Rovnjah, ki je bila pozneje krioturbatno premaknjena, srednji del stalagmita iz jame v Borštu (211 Ka) in siga na podornih blokih v Dimnicah.

Iz riško-würmske medledene dobe oziroma iz OIS 5 so samo trije vzorci. Majhno število vzorcev te starosti je lahko posledica vzorčevanja, verjetneje pa gre za dejansko manjšo rast sige, kar je morda posledica toplejše, a bolj suhe klime. V ta čas sodijo sige v spodnjem delu Kačne jame (1258 in 1256) ter kapnik (1374) v Dimnicah.

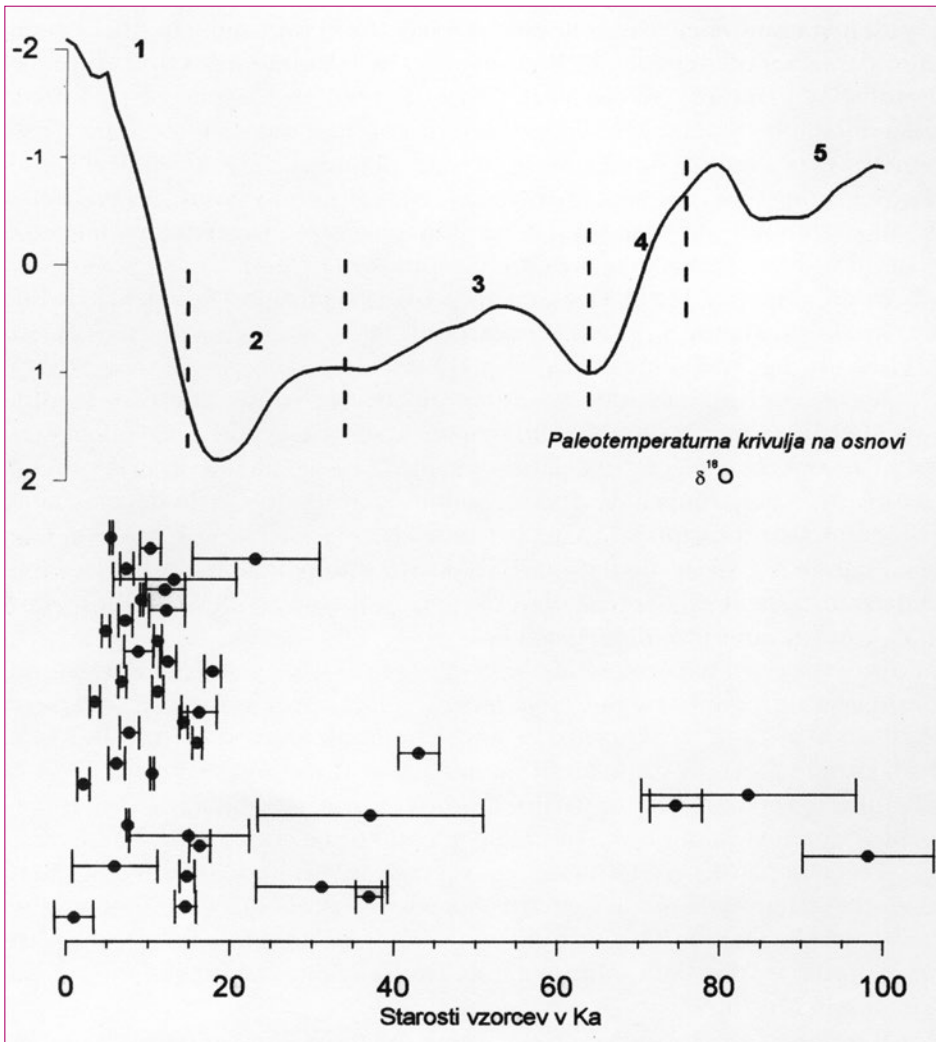
Majhno je tudi število datiranih vzorcev iz zadnje ledene dobe. Najstarejša datirana siga (1391) iz tega obdobja je baza kapnika JBRT v Jazbini v Rovnjah, z dokaj zanesljivo datacijo 43 Ka.

Bolj vprašljivi so rezultati analiz vrste sig iz Škocjanskih jam. Zaradi kontaminacije sig s poplavno ilovico je možna velika napaka. Analize sig (vzorci 1310, 1306 in 1262) iz Škocjanskih jam so pokazale starosti med 37 in 31 Ka. Tudi drugi vzorci, ki so pokazali manjšo starost, na primer vzorca 1314 in 1309, kažejo veliko kontaminacijo. Dvom v pravilnosti datacij – verjetno so analize zaradi kontaminacije pokazale preveliko starost – je upravičen.

Tretja in največja skupina vzorcev sig pa je mlajših od 20 Ka. Veliko število vzorcev v tem starostnem razredu je predvsem posledica vzorčevanja in ne kaže dejanske razporeditve rasti sig po različnih obdobjih. Vzorci teh sig izvirajo iz Jazbine v Rovnjah, Mitjine jame, Divaške jame, Kačne jame, Škocjanskih jam in Mejam.

V jamah v Jezerini in Jazbini v Rovnjah, pa tudi v Divaški jami se je začela nova sigotvorna faza pred približno 16 Ka. Hkrati z rastjo sige je prenehalo naplavljeni peščene ilovice v Mitjino jamo, na tem sedimentu pa so začeli rasti kapniki. Sprva v njihovi rasti vidimo več poplavnih faz. Kasneje so poplave prenehale, saj v sigi ni več tankih lamin sige s poplavnim peskom in ilovico.

Kapniki so pred 16 Ka začeli rasti tudi na podorih v Mitjini jami in v Divaški jami. Ker v Mitjini jami gradi podorni stožec kamenje, ki je v ta del jame pripolzel od drugod, to pomeni, da se od tedaj podor ne premika več. Ustaliitev melišča je nedvomno posledica klimatskih sprememb, vendar pa mehanizma, ki je vplival na stabilizacijo melišča, ni mogoče povsem natančno opredeliti. Prenehanje premikanja podornega konusa je lahko posledica toplejše klime in prenehanja zmrzovanja v tem delu jame. Enake učinke, stabilizacijo melišča, pa bi lahko imelo tudi močnejše izločanje sige, kar lahko



Slika 85: Razporeditev starosti vzorcev mlajših sig v primerjavi s Shackletonovo (1973) izotopsko paleotemperaturno krivuljo.

Figure 85: Distribution of the ages of analysed younger flowstone samples against the isotope paleotemperature curve (Shackleton, 1973).

tudi stabilizira podorni nasip. Podobno je v Jazbini v Rovnjah, kjer so začeli rasti vitki kapniki na podornem skalovju, ki ga pokriva poplavno blato.

V Divaški jami se je začela odlagati siga na tanke plasti grušča, ki je odpadel s sten in stropa. Nova sigotvorna faza je nedvomno posledica sprememb v kemičnih lastnostih prenikajoče vode, vzroke zanje pa moramo iskati v klimatskih spremembah na površju.

Poleg paličastih stalagmitov smo datirali tudi masivne sige, ki so povezane z dogajanjem v ponornih jamah. Takšne so sige iz Hankejevega kanala v Škocjanskih jamah in iz Mejam. Analizirani so bili vzorci čiste, skoraj bele sige porušenega polstebra pri Swidovem razgledišču in porušene sige pri Trinajstem slapu. Vzorca sta stara 11 Ka oziroma 8 Ka. Obe dataciji sta dokaj zanesljivi ter kažeta na intenzivno izločanje sige v tem obdobju, obenem pa dokazujeta, da je bil že tedaj Hankejev kanal, podobno kot danes, široko odprt poplavnim vodam Reke. V istem časovnem obdobju se je odložila tudi siga v Mejamah. Danes pa to sigo erodira ponikalnica, ki stalno ponika v jami.

Pomembne speleogenetske in geomorfološke procese lahko razberemo iz sige, ki se je odložila v korozijsko razširjene razpoke in jo danes najdemo plitvo pod površjem krasa, kjer se siga danes ne odlaga.

Korozijsko razširjene razpoke in v njih odložene sige pričajo o dveh različnih procesih. Prvi je korozijsko širjenje razpoke, drugi pa kasnejše odlaganje sige. Korozijsko širjenje razpok bi moralo imeti pomemben vpliv na oblikovanje površja krasa, erozijo prsti v kras in vertikalno razčlenjevanje krasa. Nasprotno pa bi lahko odlaganje sige plitvo pod površjem ta proces zavrlo in omogočilo uravnavanje površja.

Vzrok za spremembo procesa je lahko več. Povzroči jo lahko sprememba klime ali pa denudacijsko približevanje površja razpokam. Ko prično votline pod površjem komunicirati z atmosfero se v njih zmanjša parcialni pritisk CO_2 , korozijo pa nadomesti izločanje sige.

Datacije sig iz zapolnjenih razpok so pokazale na dolgotrajen proces odlaganja v razpokah, kar verjetno prispeva k veliki uravnosti površja Krasa.

POVZETEK

Proučevanje Divaškega krasa je pokazalo, da speleogeneze ne smemo omejiti le na podzemlje in da lahko kraško površje razložimo le s poznavanjem speleoloških oblik in pojavov. Ugotovitve, ki sem jih nanizal v posameznih poglavjih, so pridobljene na izbranih, morda tudi izjemnih primerih oziroma jamah. Izbrane so bile tudi jame izven območja Divaškega krasa, vendar lahko številna pridobljena spoznanja uporabimo na Divaškem krasu pa tudi drugod.

Pod speleogenezo moramo razumeti nastanek in razvoj jam od razvoja prvega kanala do popolnega izginotja jame, ki nastopi z denudacijskim uničenjem okoliške kamnine. V svojem delu sem se omejil predvsem na morfološko analizo jam, dinamiko nekaterih procesov, ki jih oblikujejo, in analizo fluvialnih jamskih sedimentov. Za razumevanje sem poskušal, predvsem z analizo sig datirati posamezne procese v jamah. Speleološka spoznanja sem uporabil tudi za razlaganje površinske morfologije Divaškega krasa, saj so številne reliefne oblike posledica interakcije podzemnih votlin in površja.

Divaški kras je že zelo star, o tem pričajo velike jame in velika podzemna Reka. Jame so nastajale v časovnem razponu nekaj milijonov let. Starosti najstarejših nisem mogel določiti s pomočjo datacijskih metod, pač pa z upoštevanjem denudacijskega zniževanja površja, ki je nad njimi odstranila znatno debelino kamnine in jame odprla na površje. Te, denudirane, poimenoval sem jih tudi brezstropne jame, leže na Divaškem krasu na površju v višini med 400 in 460 m. Ob predpostavki, da je bilo nad njimi, ko so nastale, okrog 100 m kamnine, in da so denudacijske vrednosti 2 do 6 mm na tisoč let, so te jame stare od 1 do 5 milijonov let. Te ugotovitve potrjujejo tudi paleomagnetne datacije sedimentov iz brezstropnih jam na Divaškem in Podgorskem krasu ter Matarskem podolju.

V enaki nadmorski višini pa ležita tudi Divaška jama in Trhlovca. Zaradi velike bližine, rovov podobnih dimenzij in podobnih sedimentov smemo zato tudi tema jamama pripisati enako starost.

Še starejša je jama Bestažovca. Leži v Taborskih gričih približno 100 m nad Lipiškim ravnikom. Če ni prišlo med ravnikom ter Taborskimi griči do vertikalnih tektonskih premikov, je ta jama še starejša od denudiranih jam na Divaškem.

V brezstropnih jamah analizirani alohtoni sedimenti nedvomno kažejo na odložitve v jamskem okolju. Sedimente so odložile ponikalnice v jamah, kjer se je istočasno odlagala siga, nekatere pa so se odložile v jamah brez siga, morda celo v freaticnih pogojih. V različnih jamah so se odložili različni

sedimenti. To dokazuje obstoj več manjših ločenih ponikalnic, ki so z nepropustnega obrobja ponikali v Kras. Sedimenti v približno enakih višinah pa nakazujejo na neko fazo v razvoju Krasa, ko je prišlo do hkratnega zatiranja večjega števila jam.

Tudi najstarejši del Škocjanskih jam je ohranjen kot brezstropa jama. 1800 m dolga denudiranajama v Lipovih dolinah je nastala ob istih geoloških strukturah kot nekateri deli sedanjih Škocjanskih jam.

Morfološko kartiranje in identifikacija reliefnih oblik, ki so nastale iz brezstropih jam, je pokazala, da so bili alohtoni sedimenti, ki jih danes najdemo na površju Divaškega krasa, odloženi v jamah. To so obenem tudi najstarejši, še v primarni legi ohranjeni fluvialni sedimenti na Krasu.

Drugo pomembno dejstvo je, da so brezstropne jame odprte na površje zaradi denudacijskega zniževanja površja in ne zaradi podiranja stropov, saj pri denudiranih jamah nisem mogel ugotoviti pomembnih sledov podiranja. To meče novo luč na razmišljanja, da so jame votline v kamnini, ki se počasi kot mehurček v gosti tekočini, pomikajo navzgor zaradi rušenja stropa. Iz morfologije denudiranih jam se da sklepati, da so se dostopne jame potem, ko jih je zapustil vodni tok, ki jih je oblikoval, le malo spremenile. Močno pa se je preoblikovala, predvsem znižalo, površje.

Ta ugotovitev velja tudi za vhodna brezna. Verjetno se pri večini brezen hitreje znižuje površje, kot se rušijo stene in strop brezna, in hitreje, kot se ustvarja lijakasta depresija okrog brezna. Verjetno pri tem pomaga tudi izločanje sige, ki lahko podiranje sten brezen popolnoma zavre.

Če predpostavimo, da so se nekatere od denudiranih jam zrušile, pa se moramo vprašati, v kakšno površinsko reliefno obliko se spremenijo jamski podori, ko jih doseže epikraška denudacijska fronta. To vprašanje ostaja odprto, saj na Divaškem krasu nisem našel dobro ohranjenih primerov takega razvoja.

V denudiranih jamah so se ohranili sedimenti, prodi, peski, pa tudi ilovice. Na Divaškem krasu je njihova prostornina znatna, ti sedimenti pa predstavljajo velik del na površju ohranjenih sedimentov oziroma osnove za nastanek prsti. Obstoj sedimentov na površju, kjer je danes gladina Reke približno 220 m pod površjem prav pod eno od takšnih jam, pa kaže, da je vertikalno spiranje v krasu bodisi zelo neenakomerno ali pa nepomembno. Delež denudiranih jam je v površju majhen, le približno 0,1% od celotnega površja. Kljub temu pa to pomeni kar približno 30.000 m² površine.

Kjer brezstropne jame prereže poševno površje, se jame normalno nadaljujejo s stropom. Prehodi iz brezstropih v navadno, s sedimenti zasuto ali pa tudi pravo, odprto jamo so hitri. Takšne jame so bile razgaljene pri gradbenih delih na avtocesti, nadaljevanje denudirane jame na površju pred jamskim vhodom pa lahko vidimo pri Divaški jami in jami Bestažovci. Tako so tudi nastanki jamskih vhodov povezani z denudacijskim zniževanjem površja, poznavanje takšnih primerov pa nam omogoča povezati številne kraške pojave in oblike v enotni kraški geomorfni sistem.

V jami Bestažovca lahko opazujemo zapolnitvene procese, zlasti pa izrazite pojave polzenja sedimenta v rovu, krioklastično krušenje sten in poligonalna tla. Te pojave je mogoče datirati s pomočjo neolitske keramike, ki jo najdemo na tleh v rovu. Tako lahko časovno in dimenzijsko opredelimo pomemben mlajši proces v jami.

Škocjanske jame in Kačno jamo je oblikovala ista reka, vendar pa se obe jami med seboj močno razlikujeta. Vzrok je v različni geološki zgradbi, predvsem pa v gradientu v podzemlju.

Nastanek in oblikovanje izjemnih oblik ter dimenzij Škocjanskih jam je omogočila posebna geološka struktura. Jama je nastala v neplastovitih apnencih, ki jih prekinjajo tektonizirane lezike. Paketi neplastovitih apnencev med lezikami so debeli do 30 m, glavni paket, v njem so nastale večje dvorane, pa je debel 125 m. Druga pomembna struktura so razpoklinske strukture v smeri S–J.

Za Škocjanske jame so značilni trije tipi votlin: freatični in paragenetski rovi, globoki kanjoni ter velike dvorane in udornice.

Prvi rovi so se razvili ob tektoniziranih lezikah in razpoklinskih conah. Pod vplivom gradienta, ki je bil usmerjen proti zahodu, je Reka prvotni splet majhnih rogov z obhodi, paragenezo in vrezovanji preoblikovala v sistem rogov z velikimi eliptičnimi profili v višini približno 320 m. Rove ob lezikah, ki leže v različni stratigrafski višini, so povezali bolj ali manj navpični rovi in brezna v prečnih razpoklinskih conah oziroma v conah freatičnih dvigov ali spustov. Sočasno so na teh mestih začele nastajati ogromne dvorane in udornice.

Kasnejše znižanje gladine vode v krasu nizvodno je sprožilo močno vrezovanje ter nastanek podzemnega kanjona. Morfološke značilnosti rogov, in tipi sedimentov v rovih in primerjava z višinami v Kačni jami potrjujejo tak razvoj jam. Ne moremo pa absolutno datirati posameznih razvojnih faz jame oziroma povezati le-teh s klimatskimi spremembami v pleistocenu.

Kačna jama kaže drugačen, za Kras bolj običajen razvoj. Za nastanek te jame je bilo na voljo več inicialnih struktur. Sedaj dostopna jama ima rove v treh višinah, jama pa je ob izjemnih poplavih skoraj v celoti zalita z vodo.

Reka se v jami razteka v različne smeri, glavni odtok je usmerjen proti severozahodu, nižje vode proti jugozahodu, najvišje pa celo proti jugu. Od Kačne jame navzdol zato ne smemo več pričakovati enotnega toka Reke, ampak široko cono z rovi v različnih višinah.

V jami je več območij intenzivnega podiranja. Na teh mestih so nastale velike dvorane, na površju nad jamo pa tri velike udornice. V vseh primerih se izkazuje, da je za podiranje pomembna tektonska pretrtost kamnine vzdolž razpoklinskih con v smeri S–J.

Z razvojem obeh jam je na Divaškem krasu povezana tudi izredna gostota velikih, očitno udornih dolin. Skupna površina vrtač in udornic predstavlja 11% skupne površine izbranega površja. Od tega zavzemajo vrtače 7%, udornice pa 4% skupnega površja. Veliko večino površja, kar 88% pa predstavljajo nerazčlenjene, uravnane površine.

Čeprav zavzemajo vrtače dvakrat več površja kot udornice, pa je prostornina udornic veliko večja kot prostornina vrtač. Največja udornica Radvanj ima 9.000.000 m³ prostornine, Martelova dvorana v Škocjanskih jamah pa le 2.100.000 m³. Skupna prostornina izbranih udornic znaša 38.000.000 m³, skupna prostornina vrtač pa le 6–10.000.000 m³.

Opazovanja raztekanja vode v območju Kačne jame ter nihanja gladine kraške vode v jamah za preko 100 m nam omogočajo razumeti tudi razporeditev in nastanek udornic. Raztekanje vode omogoča sočasno nastajanje udornic nad mrežasto razporejenimi aktivnimi kanali, ki leže v različnih višinah. Ker so prostornine udornic za red velikosti večje od prostornine največjih znanih dvoran, lahko predpostavimo, da udornice ne nastanejo z enostavnim udorom nad votlino, ampak rastejo ob sprotnem odstranjevanju podrte kamnine in z zraščanjem votlin. To so mesta, kjer je prihajalo ali pa še prihaja do dviganja vode in močne korozije ob razpoklinskih conah med rovi, ki leže v različnih višinah. Podiranje pospešuje tudi prenikajoča agresivna voda, sigatvorna pa lahko proces zavre ali ustavi. Nastajanje udornic je torej dinamičen speleološki proces, ne le zgolj rušenje kamnine, ki bi ga določale le mehanične lastnosti kamnine.

Primerjava deleža površin nerazčlenjenega površja in površino vrtač in udornic nam pokaže, da je uravnavanje površja v tem delu Krasa dominanten geomorfološki proces. Tako uravnavanje pa morda lahko povežemo s sigami, ki so se odložile v korozijsko razširjene razpoke plitvo pod površje in jih lahko vidimo v vseh cestnih usekih. Pomembni so speleološki procesi, ki omogočajo nastajanje velikih udornic. Poleg udornic pa so pomemben element v površinski morfologiji Krasa tudi denudirane jame in vhodi v jame.

Datiranje sig iz jam ter sig s površja z metodo ²³⁰Th/²³⁴U je pokazalo nekaj značilnosti rasti sige na Krasu, ki pa so predvsem odraz klimatskih sprememb in ne speleogenetskih dogajanj. Večji delež mladih sig med vzorci je posledica načina vzorčevanja in ne kaže dejanske razporeditve rasti sige po različnih obdobjih. Velik del analiziranih vzorcev sig je presegel mejo datacijske metode 350 Ka. Med temi vzorci so bile: siga iz denudirane jame pri Povirju, sige iz korozijsko razširjenih razpok plitvo pod površjem, pa tudi siga pod rdečimi ilovicami v Divaški jami. Enake starosti pa je bila tudi siga iz najnižjega dela Kačne jame, kjer se je lahko odložila le, če Reka skozi ta del jame ni tekla.

Vzorci druge skupine so stari med 250 in 150 Ka, in so bili odloženi v medledeni dobi M/R oziroma OIS 7. Te starosti so pokazali vzorci sige iz breče v Črnotiškem kamnolomu, v zapolnjenih razpokah v Lipiškem kamnolomu in sige pri vhodu v Divaško jamo. Enako star je bil vzorec sigove skorje iz Jazbine v Rovnjah, ki je bila kasneje krioturbatno premaknjena, stalagmit iz jame v Borštu in siga na podornih blokih v Dimnicah.

Iz medledene dobe R/W so le trije vzorci. Majhno število vzorcev te starosti je lahko posledica vzorčevanja, morda pa gre za dejansko manjšo rast sige.

Majhno število datiranih vzorcev je tudi iz zadnje ledene dobe. Sem sodi siga iz baze kapnika JBRT, s precej zanesljivo datacijo 43 Ka. Zaradi kontaminacije so bolj vprašljivi rezultati, dobljeni na sigah iz Škocjanskih jam.

Največja skupina vzorcev sige pa je mlajših od 20 Ka. Vzorci sige izvirajo iz Jazbine v Rovnjah, Mitjine jame, Divaške jame, Kačne jame, Škocjanskih jam in Mejam. Veliko število vzorcev v tem starostnem razredu je predvsem posledica vzorčevanja. Večina kapnikov, ki sem jih analiziral, je začela rasti pred približno 16 Ka. V jamah v Jezerini in Jazbini v Rovnah, pa tudi v Divaški jami je hkrati prenehalo naplavljeni peščene ilovice, prenehala pa so se premikati tudi nekatera melišča v jamah. To kaže na pomembne klimatske spremembe, verjetno povečanje vlažnosti in temperature na površju, v podzemlju pa na začetek holocenske sigotvorne faze.

THE SPELEOGENESIS OF THE DIVAČA KARST

SUMMARY

INTRODUCTION

The Divača Karst is the SE part of the Karst plateau of W Slovenia. At the edge of the Karst below Škocjan, the Reka falls into the Škocjanske caves, while the rest of the territory is without surface water flows. Collapse dolines and large caves in which it is possible to follow the underground course of the Reka are proof of a highly developed and old karst for over a century, provoking great interest among karst researchers and speleologists.

In this work I have attempted to define the speleological significance of the larger caves, denudation cave remnants, cave sediments and collapse dolines in this Karst. The caves accessible to man are merely fragments of various cave systems, and thus morphologically very diverse. I examined selected caves in The Divača Karst, and others in the vicinity. I selected only caves containing important information on the speleogenesis of the area under study.

I carried out field work and laboratory work at the Karst Research Institute at the Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts (ZRC SAZU) as part of doctoral research entitled »Speleogenesis of the Kras plateau« (1994–1998) supervised by Prof Ivan Gams. An important source of information was the analysis of cave sediments, especially the dating of flowstone, which I analysed at the Department of Geology at the University of Bergen as part of the SPEP project.

I would like to express my gratitude for the assistance given to me by my supervisor prof. Ivan Gams. I would also like to thank Prof Stein-Erik Lauritzen for help in dating flowstone. I thank all my colleagues at the Institute, as well as cavers for their expert advice and illuminating conversations.

SPELEOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL ANALYSES OF DENUDED CAVES

The lowering of relief in the Karst may expose caves that have formed deep beneath the surface. As such caves appear on the surface due to denudation, we may call their remains denuded caves. A cave ceiling will be the first to be removed by denudation, which is why they are also called unroofed caves. Such caves are frequently found in The Divača Karst, as elsewhere in the Karst, and area significant morphological element of karst relief.

Research into karst denudation (Gams, 1962; Jakucs, 1977; Ford & Williams, 1989) has shown that the greater part of the corrosion capability of percolated precipitation will be used in the upper karst zone. Real karst lowering has been demonstrated with the aid of amounts of carbonates removed from karst catchment areas by water flow (Gams, 1962), standard tablets (Gams 1985, 1996) or micrometer measurements (Cucchi & Forti, 1985; Cucchi & Forti & Marinetti, 1997). Karst denudation of The Divača Karst relief would thus be 20–60 m every million years.

It has been usual for researchers to explain flowstone on the relief by the collapse of caves. Underground caves would thus appear on the surface by collapse, meaning through a speleological process, while the cave area would travel upward until it reached the surface. Researchers have found sediments, allogenic rubble or sand on the surface of The Divača Karst. These sediments are thought to have been deposited by pre-karst surface flows (Marussi, 1941; Melik, 1961; Radinja, 1967, 1974, D'Ambrosi, 1965). They are preserved in karst hollows, widened cracks or shafts, but are thought to be resedimented to these locations at a later period.

Some quartz sand or allogenic sediment locations were later described as caves, but without speleological or geomorphologic investigation (Pleničar, 1954; Habič, 1987, 1993; Gospodarič, 1984).

We mapped the relief of The Divača Karst and searched for traces of unroofed caves. The criteria for the identification of unroofed caves were as follows: large masses of flowstone, stalactites and stalagmites, fluvial and autochthonous sediments, and some sediment structure and morphological characteristics of the relief. Of the various unroofed caves found, we describe three characteristic examples: an unroofed cave at Povir, the unroofed cave of Lipove doline and an unroofed cave from Radvanj.

UNROOFED CAVE AT POVIR

High way constructors found a 10 m wide and 320 m long area of lesser geomechanic characteristics in the vicinity of the village of Povir. As the top layer of soil and the sediments beneath it were removed, it became clear that an old cave tunnel 400 m above sea level, reached by the lowering of the relief through denudation, had been exposed. The tunnel has vertical walls, and even overhanging in some places. Traces of flowstone formations in the cave environment are preserved, while the ceiling is missing, prompting the name unroofed cave (Mihevc & Šebela, 1995; Mihevc, 1996).

Wall notches, more or less horizontal semi-circular cavities forming at the level of the water body surface, are the most notable of the cave features. Scallop shells are also preserved in some locations. The average scallop size was 2 to 3 cm. Scallops of this size develop beside water flows of approximately 1 ms^{-1} (Curl, 1966). The scallops indicate that the water flowed in a south-east direction.

Parts of the cave wall were covered by flowstone, while corrosion in the direct vicinity removed the more or less thick layer of rock. In locations such as this, it is possible to measure the amount of corrosion from the period when the cave was filled with sediment. Surface corrosion removed only a few centimetres of the surface layer of rock from the cave walls. The walls were damaged by corrosion to a higher degree only in the places where vertical percolation was more potent, and is revealed by the penetration of brown surface soil into cave sediment. The cave also revealed damage to its walls caused by the cave nearing the surface. This is noticeable in the higher density of fissures filled with red loam and widened by corrosion in the upper section of the cave walls.

The cave was completely filled with allochthonous sediment (Mihevc & Zupan-Hajna 1996). Brown soil on carbonate bedrock or redzina was on the surface, followed by a 0.5 m to 1 m thick layer of chromic cambisol (2.5 YR 3/3). These passed into clastic sediment, loam, sand and rubble with a characteris tie yellow-brown colour (10 YR 5/6).

Non-carbonate flysch sandstone rubble prevailed in the pebble fraction. The largest pebble had a 25 cm longer axis, although most stones were around 5 cm. Stones, even the largest ones, are located in flinty sand, most probably developing from the decomposition of some of the rubble.

Sand of a yellow-brown colour was found in the form of lens-like bodies or lamellae in loam, in the rubble, or separately. In the upper section of the cross-section, their colour shifted to red-brown (2.5 YR 4/8). The sand is composed mostly of silicate grains (97% or more); other minerals were found only in trace amounts. The loam in the cave is mixed with layers or lensshaped clusters of sand and also rubble. A special characteristic of the loam is the strongly wrapped sedimentation structures, indicating intensive kneading of plastic sediment following the deposition period.

Flowstone was preserved in the cave in the form of crusts, massive flowstone domes and solitary stalagmites; we also found some broken-off stalactites. The flowstone sample was dated using the $^{234}\text{Th}/^{230}\text{U}$ method but the age exceeded 350 Ka (the limit of this method). We identified some more denuded caves on aerial photographs in the infrared spectrum range dose to the unroofed cave. On the photo, the cave appears as an elongated lighter belt indicating thicker sediments and soil; there are also abundant bushes and trees on the surface.

A sinking river flow through the cave transported large pieces of rubble. Judging from their size and the high proportion of large sandstone rubble, water flow rate varied from a few tens of l/s to a few m³/s and the relief energy of the surface river and the karst was high. The sinking point of the river was nearby. Today the surface around the cave is levelled and such rock can no longer be found in the vicinity.

The development of stalactites and stalagmites was interrupted several of times by phases of erosion and filling. The cave was finally filled with fluvial

sediment. This prevented the further growth of flowstone, ceiling collapse and corrosion from reforming the walls. The cave ceiling became thinner above the filled cave, finally disintegrating into individual blocks.

The age of the unroofed cave at Povir can be determined by karst denudation. With the assumption that the cave developed at a depth of 50–100 m and the presupposed denudation rate, its age is 750,000 to 5 million years. This would agree with some paleomagnetic dating of sediments in Divaška jama cave, Trhlovca and the denuded cave near Divača (Bosak & al., 1998, 1999).

The age of the unroofed cave at Povir identifies the time when the water level in the Karst dropped. The Reka, which flows through Kačna jama cave 180 m above sea level, is located 1200 m from the unroofed cave, but is also located 220 m lower.

UNROOFED CAVE IN LIPOVE DOLINE

The largest unroofed cave in The Divača Karst is located on the surface northeast of Škocjanske caves, named after great number of dolines Lipove doline. The mapping of the surface showed a 1800 m long series of elongated, stretched out dolines 450 m above sea level and interconnected without higher thresholds. The bottoms of the dolines are 5 m to 10 m below the level of the rest of the surface; the depressions are 20 m to 30 m wide. Multi-coloured chert rubble, yellow-red sandy loam and massive flowstone were found at the bottom of the dolines. The denuded cave passage forks in a number of places. These side tunnels also contain flowstone and allochthonous fluvial sediments.

In the western part of this unroofed cave, in one of the Lipove doline, quartz sand was extracted, during which a large amount of flowstone and a large stalactite were exposed. The stalagmite and the sediments were described by Pleničar (1954), who also described the cave as being formerly small and located near the surface, with a collapsed roof.

The unroofed cave in Lipove doline is similar to Škocjanske caves in its dimensions, as the width of the tunnel was in some places likely to be more than 20 m. Judging by the massive stalagmite and flowstone, the ceiling was at least 10 m thick and at least 500 m above sea level during the time flowstone was deposited in the cave. Deposited flowstone was then covered by an allochthonous fluvial sediments. A rough estimate would be that there are still approximately 45,000 m³ of cave sediments preserved in the cave.

A larger part of the unroofed cave in Lipove doline lies north-east of Škocjan caves. This part even crosses above the northern part of Škocjan caves, where the Reka flows at 214 m above sea level. Despite this, there are no visible effects of lower-lying cave galleries on the surface. There are sediments in the denuded cave and there are no hollows indicating strong washing of the sediments into the parts of Škocjan caves below.

UNROOFED CAVE IN RADVANJ – THE CONTINUATION OF DIVAŠKA CAVE

The western slope of a large collapse doline Radvanj cuts through a cavefilled sediment at 390–450 m above sea level. The sediments are composed of yellow-brown loam, sand, multi-coloured chert rubble, and massive flowstone. Based on the slope of stretched-out fluvial sediment and flowstone, we can assume that a gallery at least 20 m wide and 15 m high was denuded. The dimensions, types of sediment and direction point to the cave likely being a continuation of the north-eastern extremity of Divaška jama cave.

Divaška cave is a 600 m long gallery lying 356–390 m above sea level. From the entrance and in a north-east direction, Divaška jama cave is filled with yellow-brown and red loam, and massive flowstone. In the same direction, 400 m north-east from the entrance, at the same level as the Radvanj slope, similar sediment is exposed. The proximity, similar tunnel dimensions and sediment type make it highly possible that the denuded cave in Radvanj is the continuation of Divaška jama cave.

Despite being a frequent and notable morphological occurrence in the Karst, denuded caves were previously overlooked in morphological and speleological Karst research. The appearance of denuded caves in the Karst means that Karst denudation is a faster process than cave passage disintegration.

Passage breakdown and consequent large collapse dolines are limited to only a few zones. Most caves will disintegrate only after they are reached by the denudation front of the surface.

Caves and unroofed caves can be found in the same location and at the same sea level; they are obviously of the same age. The levelling of the relief due to denudation or reformation of caves are speleological phenomena that may occur as three separate morphological categories of relief:

- as unroofed caves, formed due to relief denudation disintegrating the rock above the cave;
- as cave entrances, which are an intersection of the cave and the denudation surface;
- or as collapse dolines, for which the main reason for development is the collapse of the underground caves.

BESTAŽOVCA – AN EXAMPLE OF SPELEOGENESIS

West of The Divača Karst lie the Taborski griči hills. Within them area number of horizontal caves approximately 500 m above sea level. These caves are the highest-lying horizontal caves in the Karst. Bestažovca is the largest of them.

The cave formed 475 m above sea level in bedded and massive rudistic limestone. Bedding-planes are clearly visible and some were tectonised. East

of the cave lies a 70 m wide and up to 25 m deep collapse doline, with vertical 20 m high walls, at the foot of which lies the cave Perkov spodmol. On a gently inclined slope under the cave and approximately 40 m west of the cave entrance, is the edge of dolina Bestažovca, the bottom of which is located 426 m above sea level.

The cave itself is composed of two distinct morphological units: the entrance room and the inner main tunnel. The Entrance room has an almost circular floor plan; its bottom is a sediment cone. The rock in the sediment cone shows subcutaneous corrosion forms, proving that it was deposited there in recent centuries. The edges of floors in the room are covered by pieces of flowstone, especially broken-off pieces of stalagmites. Stalagmite pieces and flat flowstone in one part of a room indicate frost shattering, shifting and sorting. These processes did not act on the newer rock deposited in the cave.

The main part of the cave is a gallery more than 150 m in length, lying in an east-west direction and up to 5 m high. Primary tunnel walls formed in phreatic conditions are preserved to a height of 35 m in the middle section. The gallery is approximately 12 m wide and up to 4 m high in this section; a layer of sediment, thickness unknown, covers the floor. Wall niches and ceiling pockets are preserved in this section, pointing to either a formation in the phreatic zone or a later reformation with sediments. In some part of this section of the tunnel, rocks up to 15 cm in size have fallen. Disintegration surfaces, which are not structurally conditioned, can be clearly distinguished from the smooth phreatic surfaces and are probably the consequence of gelifraction.

Large blocks of rock have fallen from areas in both end sections of the tunnel, where rock is tectonically fractured. Breakdown blocks show structural disintegration surfaces such as bedding-planes or fissures.

Blocks of rocks, measuring over a metre, and more flowstone are on the floor in the western part. In this section, massive flowstone (thickness over 3 m) also forms part of the ceiling. The flowstone was obviously deposited on to sediment, which has now been removed.

In the eastern part, the main tunnel is blocked with rocks mixed with loam, soil, bones and Neolithic pottery. The floor plan of this section of the tunnel ends 5 m south and 9 m below the extreme point of the cave at Perkov cliff. There is no doubt that the sediment originated from Perkov spodmol cliff.

The main tunnel floor is wholly covered with clastic sediment of varying granulation and structure. A talus cone at the foot of Perkov cliff produces rock mixed with loam, soil and Neolithic archaeological remains. The angle of the sediment or tunnel floor is 20–30°. In some places on the talus cone, tall stalagmites have formed, the tallest one being approximately 50 cm high. The talus cone reaches into the tunnel, where the inclination of the floor falls rapidly to 5°. Sediment granulation also changes in this area. Loamy and sandy sediment prevails downwards in the top few centimetres of the upper

layer. Beneath it is mostly sharp-edged rubble. The main characteristic of the floor in this part of the tunnel is the high degree of traversal alignment to the tunnel and the even inclination of the floor alongside the tunnel. On the northern side of the tunnel, layers of charcoal and ash, probably Neolithic, are exposed in the archaeological probe profile. Sticklike stalagmites also grow on these sediments, the largest of them up to 180 cm high. There is also a polygonal floor in the tunnel. Due to the large limestone blocks, the polygons are of an irregular shape. One hundred and twenty metres east of the entrance into Bestažovca, on the southern side of the 70 m wide and approximately 25 m deep collapse doline, lies cave Perkov spodmol. The northern slope of the collapse doline is gentle, while the southern edge has vertical walls, at the foot of which is the 30 m long cave. Its ceiling is up to 10 m high, the walls are generally not disintegrated, and detailed inspection revealed disintegration and gelifraction forms.

The floor is covered with gravel. The lowest point is 476 m above sea level, or only 9 m above the extreme eastern part of Bestažovca.

Approximately 50 m west of the entrance into Bestažovca, the dip of the slope increases. Dolina Bestažovca is depressed into the steeper section of the slope. The dolina is elongated; the 150 m axis lies in an east-west direction and the 110 m axis in a north-south direction. The upper boundaries of the dolina are 470 m and the lower 429 m above sea level. The slope under the dolina is even and smooth, continuing evenly into a lower-lying plain approximately 370 m above sea level.

The slopes of the dolina are rocky, with the exception of the eastern slope, where massive blocks of crystallised and bedded flowstone and a belt of yellow-brown loam are exposed to the surface. This flowstone is the remnant of flowstone piles. They are still located where they formed. Laminated loam is undoubtedly cave sediment that covered the flowstone completely and filled the former cave up to the ceiling.

Based on widely diffused loam and flowstone in the dolina, we conclude that the sediment filled a cave passage more than 10 m wide, the continuation of Bestažovca cave, at 430–450 m above sea level.

SPELEOGENESIS OF BESTAŽOVCA CAVE

The morphology and position of individual cave sections explain only some, mostly younger, phenomena of speleogenesis in the development of Bestažovca and, indirectly, the morphogenesis of a part of the surrounding relief.

The entrance chamber into Bestažovca is connected to tectonically damaged rock, which underwent vertical movement in the vadose zone. The main cave tunnel, which is accessible from 445–460 m above sea level, could have formed when water in large quantities flowed through at this height, which is approximately 400 m above the present flow of the underground

river. The accessible section of the passage formed in tectonically undamaged bedded limestone. Fractures, fissures, caves of vertical development, collapsing and flowstone have occurred at both ends. The main gallery was, at the end of its development, probably completely, or at least mostly, filled with fluvial sediment. This sediment was later transported from the gallery downwards and through tectonically damaged limestone in the entrance zone of the eastern room, or else it slid downwards through the tunnel towards dolina Bestažovca. The main Bestažovca gallery continues in the same direction, dipping towards the west and into the slope of dolina Bestažovca, which is approximately 440 m above sea level. Here, on the dolina slope and at a height of 465 m, are flowstone and loamy sediments. In the eastern part of the cave, ending under the Perkov spodmol, the cave floor is a talus cone, obviously originating from Perkov spodmol.

The origin and age of the talus cone can be determined by pieces of Neolithic pottery. They point to the intensive sliding of gravel, which completely cut off connections between the two caves. Gravel sediment in the level bottom of the main tunnel also slid, as a polygonal floor developed on the level section.

The reason for the cooling of the cave was probably the circulation of cold air through Perkov spodmol and into the present entrance. Fire places were made in the cave in the Neolithic or another period, when the cave was accessible from cave Perkov spodmol. It is justified to assume that the floor of the main tunnel formed earlier, maybe at the end of the Pleistocene.

The circulation of cold air, and the cooling of the cave associated with it, ceased when gravel from Perkov cliff cut off the passage between the caves. The reason for gravel sliding to a greater degree may be found in the more humid climate. Cave floors have not moved since then; this is proved by the presence of thin stalagmites.

CAVE SYSTEM OF THE UNDERGROUND REKA RIVER

The Reka is the largest subterranean river in the Karst. Its mean flow rate is 8.95 m³/s (maximum 387 m³/s). The Reka can be observed underground after it disappears through a sump in the northern part of cave Škocjanske jame and re-appears after 900 m in the 12 km long cave Kačna jama. We limited the study along Reka's underground flow to the Škocjanske and Kačna jama. Because of their combined passage length of 18 km and depth of 270 m, both reflect the development of caves in this part of the Karst very well.

ŠKOCJANSKE JAME CAVES

Škocjanske caves developed in a contact area of cretaceous thick-bedded rudist limestone and Palaeocene thin-bedded dark limestone (Gospodarič, 1993). The following were important in the development of the caves: the structural characteristics of the rock; and the 15–125 m thick packets of undamaged rock between tectonised bedding-planes (Knez, 1996). Most primary tunnels developed along these, and this structure is also morphologically distinct on the surface. Small dolines, and occasionally denuded caves, formed in places where the tunnels emerged on the surface.

Fractures and distinct fracture zones are the other significant morphological elements. Fissure zones (north-south and northwest-southeast) are morphologically and speleologically significant (Gospodarič, 1983; Šebela, 1996). These zones can be up to a few dozen metres wide.

The Reka flows through most of the Škocjanske caves. The river enters the cave at an altitude of 317 m; in the Martelova dvorana room, it is 214 m above sea level (i.e. 103 m lower). The Reka's flow rate during the lowest water table level is around 50 l/s. An increase in flow rate will be reflected in the rise of the water table level after individual obstacles, mostly less than 10 m. Floods usually reach up to 30 m. The largest known flood in the previous century raised the water table level to 346 m above sea level (i.e. by 132 m in the Martel room).

Škocjanske caves are composed of phreatic tunnels, and gravitational or paragenetic reshaped galleries. The proto-channels developed in phreatic conditions, formed along tectonised bedding-planes. Between the two, water also followed other tectonic structures, vertical fractures in fissured zones running mostly north to south. The water flow demanded a high degree of phreatic rising and falling between individual bedding-planes which, in the area of the chambers Svetinova dvorana and Müllerjeva dvorana, is approximately 175 m. Thus, phreatic shafts developed next to the fissure zones and are preserved in the area of the Rudolfova and Müllerjeva dvorana. Large quantities of water could flow through all these tunnels. Meanwhile, rubble was transported through water table caves, today found higher, for instance in the denuded cave in Lipove doline at an altitude of around 450 m.

We can conclude from the shapes of cave tunnels that a long period followed when the piezometric water table was 340–300 m above sea level and the gradient was in a south-west direction. The Reka adapted to these conditions, forming new large tunnels by paragenesis, bypassing and entrenchment. The large tunnels of the area of Mahorčičeva and Mariničeva jama, the Tomičeva jama and the Schmidlova dvorana. The Tiha jama passage and the upper initial part of Hanke channel also developed at the same water level. The Reka's gradient in these tunnels is low, which is why the flow deposited sediment and levelled the ceiling above it by paragenesis.

In the further development of Škocjanske jame, potent cutting prevailed, the reason for it lying outside of the caves. Cutting occurred first in the chamber Martelova dvorana, then in the canyon Hankejev kanal, where it cut to 80 m; the other parts of the cave followed too. The least cutting took place in the eastern part of the cave. In some locations, the Reka formed bypasses and reshaped old phreatic tunnels.

Vast rooms are a special characteristic of Škocjanske jame. They probably developed when the Reka cut into the zone of phreatic lifts. This occurred in fissure zones, where water enlarged a number of parallel fractures. The largest are the Martelova dvorana, with a volume of 2,100,000 m³, and Šumeča jama (870,000 m³).

Understanding the development of the collapse dolines Velika and Mala dolina is difficult – only a few short tunnels are preserved in that area. But we can presume that there were at work conditions similar to those in which large rooms formed.

Investigation of the genesis of Škocjanske jame must take into account the remnants of denuded caves. To understand the development of the caves, it is necessary to study the 1800 m long denuded cave in Lipove doline north-east of Škocjanske caves. Evidence that this was a cave through which a large submerged river once flowed is provided by a trench formed of a series of dolines (clearly visible in relief and up to 20 m wide), flowstone and fluvial sediments. The denuded cave is located where the same tectonised bedding planes as in Škocjanske caves cross with the surface plane.

KAČNA JAMA CAVE

After the outflow sump from Škocjanske jame, the Reka appears in Kačna jama. Although the same river formed both caves, there is a big morphological difference between the two. Škocjanske jame show a unified series of wide and oval paragenetic galleries, which curves and forks and into which the canyon of the Reka has cut to a depth of 80 m. Kačna jama is a network of tunnels on at least two levels and the Reka flows in various directions in the cave.

Kačna jama lies in bedded cretaceous limestone. Fissure zones in a north-south direction are most noticeable in the morphology of the cave and its tunnels. Large rooms, connections between levels and an entrance shaft all formed along the fissure zones.

The upper parts of the cave are composed of non-active or occasionally flooded tunnels, while the Reka flows through the lower parts. By observing the distribution of rubble and sand, finer flotsam and wood, it is possible to reconstruct the conditions in which the Reka flowed into the cave and to evaluate the hydrological role of individual tunnels in the cave during higher water levels.

The Reka appears in the inflow sump around 200 m above sea level and flows to a sump at the end of the narrow tunnel 154 m above sea level. In this section, the Reka is accessible only during low water. The Reka's water level in the cave galleries increases by 10–15 m after each heavier rainfall. Judging by traces, flooding occurs almost every year, increasing the water level by 50 m. An exceptionally high water level occurred in 1896 (Marinitsch, 1896). The water filled nearly all the cave up to a level of 240 m and reached the room below the entrance.

Judging by the flotsam, tunnels leading in a north-east direction are the most penetrable. They contain large amounts of rubble. The tunnels leading southwards contain a lot of flotsam wood, mud, leaves and small twigs. When the Reka's flow rate increases, many of the higher passages in Kačna jama are included in the flow, and the Reka forks out in other directions. Since there is a network of channels at various levels that conduct water simultaneously, there is no point in searching for one main channel of the Reka's flow in the continuation of Kačna jama.

There are few types of galleries in Kačna jama, differing in their morphological characteristics. The right-angled tunnels of the lower part of the cave have formed in the direction of the dip of the beds. Tunnels along the fissure zone in a southwest-northeast direction are mostly narrow and high, and have a lens-shaped cross-section. Their gradient is high everywhere. Vertical and nearly vertical tunnel sections, cave-ins, shafts, and a number of sumps formed next to them. In some places in the sumps, scallops have formed, indicating heavy upward streaming. The scallops obviously develop when floodwaters occur.

Breakdowns are an important element in the morphology of Kačna jama. Because the galleries are spread out horizontally and vertically, we can observe and monitor conditions and factors directing the collapse. Cave-ins are most pronounced in the area of the Bukovnik collapse doline, where it is possible to access cave-ins at 156 m, 181 m and, on the surface, 340 m and 425 m above sea level. They are spread across an area at least 250 m long and 120 m wide. All cave tunnels running under them are caving in. Because the forms of caved-in blocks indicate distinct tectonic surfaces of breaking, it is obvious that tectonic damage is the main factor in the occurrence of cave-ins.

COLLAPSE DO LINES AND THE DIVAČA KARST RELIEF

The surface of the Divača Karst lies 420–450 m above sea level. The relief is levelled with numerous dolines and collapse dolines as the dominant surface relief form. Geomorphologists have explained the levelled surface primarily as the remnant of a pre-karstification valley formed by the Reka flowing across the surface (Marussi, 1941; Radinja, 1967). The small structures in the valley were, according to this explanation, formed by later processes, but the valley itself preserved its characteristics.

I have compared the area of dolines, collapse dolines and smooth Karst relief in an area covering 31 km². I identified and separated solution dolines from collapse dolines and forms of relief originating from denuded caves in the selected area of the Divača Karst. In this way we identified speleological elements in the present relief.

As genetic classification is difficult (or even impossible) to achieve, collapse dolines were defined as those dolines exceptional in their dimensions, primarily deeper than 30 m. We calculated the proportion of the area covered by dolines, remnants of denuded caves on the surface and collapse dolines, and compared them to the area of smooth relief.

Collapse dolines are, by definition, relief forms which occur when ceilings above underground caves collapse. Slovenian expert literature understands collapse dolines as caves with exceptional dimensions, and steep or vertical walls. Smaller collapse forms are for that reason frequently left aside because of lack of clear signs of collapse processes.

Collapse dolines in the Divača Karst are an important Karst relief form and speleological sign. For most cases it is not possible to discover what kind of caves they developed above. The connection between a cave and collapse doline has been established only for Škočjanske and Kačna jama, allowing us to understand some processes in connection with their formation and distribution. A distinct north-south elongation is characteristic of some collapse dolines. Such collapse dolines has a characteristically rocky boundary. This can partly be ascribed to massive, resistant limestone and the newness of these forms, as walls and talus cones indicate intensive recent processes of dolina development. These processes are especially evident in the Velika and Mala dolines through which the Reka flows. The longer axis of both dolines traverses the flow of the Reka.

In Kačna jama, we can gain access below Bukovnik and Risnik collapse dolines. Bukovnik dolina, is a collapse doline with its bottom 384 m above sea level. Two active galleries in Kačna jama end beneath it. The tunnels are Sandy Tunnel (180 m above sea level) and Narrow Tunnel (254 m). Parts of Kačna jama near Risnik, its bottom 363 m above sea level, are 195 m above sea level.

In the galleries and in the dolina itself collapse processes are evidently connected to the same type of fracturisation and are connected with percolating water or oscillation of karst water.

We calculated the volumes of the 15 deepest collapse dolines and compared them to the volumes of the dolines. The volume of an ordinary doline, 10 m deep with a diameter of around 40 m, would be 5,000–7,000 m³. We marked 761 dolines in the selected area and 15 collapse dolines. The distinction between dolines and collapse dolines was drawn artificially at a depth of 30 m. In some parts of the area under study, on Paleogene limestone and slopes, their density is low. Higher densities, up to 240 dolines per km² and with an average of 25 dolines per km², occur on cretaceous limestone.

The total area covered by dolines and collapse dolines represents 11% of the total area: 761 dolines make up 7% and 15 collapse dolines make up 4% of the total area. The proportion of denuded caves is small in area (only approximately 0.16% of the total area, although this is approximately 50,000 m³). Most of them (88%) are levelled and smooth.

The ratio between the volumes of depression forms presents a different picture. The total volume of the selected 15 collapse caves is 38,000,000 m³, while the total volume of dolines is 6–10 million m³.

We identified locations in Škočjanske and Kačna jama in which collapsing or room formation is taking place. Together they have a total of 18 km of passages. The largest room is the Martelova dvorana, with a volume of over 2.1 million m³ (Mihevc, 1997). The somewhat smaller Müllerjeva dvorana and Svetinova dvorana have a total volume of 873,000 m³. Other rooms in Škočjanske or Kačna jama are much smaller, with volumes up to a few 10,000 m³.

The volumes of collapse dolines is different to that of the rooms. Collapse dolines are one stage larger than the largest rooms. The largest collapse doline in the area is the Radvanj double collapse doline (volume 9 million m³). It is followed by the 122 m deep Sekelak, the volume of which is 8.5 million m³ and Lisična dolina (6.2 million m³). Then there are: Globočak (4.6 million m³), Bukovnik (1.5 million m³), Risnik (1.5 million m³) and others. As rooms that big are not usual in the Karst, we must assume (Habič, 1963) that collapse dolines this large could develop only with simultaneous rock removal. If this were not the case, the room would fill up with caved-in rock and only collapse dolines much smaller than the primary cave would appear on the surface.

Observations of water flowing in various directions in Kačna jama and of variations in the karstic water table level offer an explanation of the distribution of collapse dolines. Collapse dolines can form at the same time, and their shape is elongated on the surface and not necessarily a series alongside the dominant flow. The main focal points of caving-in can be at various levels due to great variation in the water table level.

A comparison of the proportion of area of smooth relief and the area covered with dolines and collapse dolines shows that levelling is a dominant geomorphologic process in this part of the Karst. Relief levelling and the development of dolines is the consequence of varying corrosion intensities and the manner of water movement in the epikarstic zone of the Karst. The proportional area of dolines is low, despite the great vertical gradient in karst. Collapse dolines and denuded caves are relief forms in which rock was transported away by speleologic processes and are a sign of the mechanisms of denudation lowering of the relief.

In comparison with doline surfaces, the speleological element (dolines, unroofed caves and cave entrances) are an important part of the relief. Even more important is the proportion of speleological elements in karstic relief if we compare volumes of ordinary dolines and collapse dolines. Even though

the areas of the dolines are only twice those of collapse dolines, the volumes of collapse dolines are five times larger than those of collapse dolines.

FLOWSTONE DATING

The process of flowstone deposition in caves is the opposite of carbonate rock dissolution. This is the reason we cannot date the formation of the cave by the flowstone in it, but we can determine the age of some processes inside individual caves. Analyses of samples from 20 different locations in caves and on the surface showed three age groups of samples.

A number of samples exceeded the dating method limits of 350 Ka. Among these were flowstone samples from the unroofed cave at Povir and flowstone from under the red flood loam in the Divaška jama cave, for which a higher age was expected. Too old were also eroded flowstone for the lower part of Kačna jama and flowstone from Ponor in Odolina. This flowstone is an erosion remnant of large flowstone piles deposited in the lowest (i.e. probably newest) accessible tunnels of submerged water flaws. The high age of flowstone in filled cracks a few metres below the surface is also surprising.

The other group of samples indicated an age of between 250 and 350 Ka. This flowstone was deposited in the Mindel-Riss interglacial stage – that is, in warm period 7 according to the isotope temperature curve. Flowstone for the cave at Črnotiče quarry is the adhesive between the sharp-edged gravel and is also from this period. With its assistance it was possible to place in time the remains of bones of the *Gulo Gulo* to the beginning of the Riss glacial period – that is, in period 6 of the isotope temperature curve, as well as flowstone for the rock pit in Črni Kal and flowstone for construction pits for roads and Lipica quarry.

The flowstone from the entrance into Divaška jama is the same age (243 Ka). This indicates that the cave's ceiling on the eastern side was still preserved and the cave was closed. The top of the Harambaša stalagmite grew until 176 Ka ago, meaning that it grew in the Mindel-Riss interglacial period. Then it broke at its base. As the growth of the stalagmite did not continue after it broke off, this probably means that it was stopped by the cold Riss period and, at the same time, there was a heavier washing of sediment, and thus the destabilisation of the base of the stalagmite, causing it to topple over. The growth could not return in the same degree later on. The reason may be sought in the thinning of the ceiling and alteration in water percolation related to that, or to the thinning of the soil cover. Of a similar age (241 Ka) are the flowstone crust in Jazbina in Rovnjah, which was later displaced by processes of cryroturbation, the middle section of the stalagmite from the cave at Boršt (211 Ka), and the flowstone on the collapsed block at Dimnice.

There were only three samples dating from the Riss-Würm interglacial age (OIS 5). The low number of such samples may be the consequence of

sampling, although it is more likely that flowstone growth was slower, possibly due to a warmer and drier climate. Flowstone from the lower part of Kačna jama (1258 and 1256) and a stalagmite at Dimnice (1347) are from this period. The oldest dated flowstone (1391) from this period is the base of the JBRT stalagmite at Jazbina in Rovinj, the dating relatively reliable at 43 K.

The results of analyses of a number of flowstone samples from Škočjanske jame are more questionable. Due to flowstone contamination with loam, large error is possible. Flowstone analyses (samples 1310, 1306, 1262) for Škočjanske jame indicated ages of between 37 and 31 Ka. Other samples, indicating a lower age (for example, samples 1314 and 1309), indicate high contamination. Doubts in the dating process are justified, as analyses indicated an high age due to contamination.

The third and largest group of samples is younger than 20 Ka. The high number of samples in this age group is primarily the consequence of sample-taking and does not represent the real distribution of flowstone growth in various periods. The samples are from Jazbina in Rovnjah, Jezerine, Divaška jama, Kačna jama, Škočjanske jame and Mejame.

In the caves at Jezerina and Jazbina v Rovnjah, and also in Divaška jama, a new flowstone-producing phase began approximately 16 Ka ago. At the same time as flowstone began to form on the allochthonous sediment of the sinking river in Mitjina jama. A number of flood phases are visible at the beginning of the growth. The flooding ceased later, as thin laminae of flowstone with flood sand and loam are no longer visible in the flowstone.

Stalagmites began to grow on collapsed boulders and scree in Mitjina jama and Divaška jama 16 Ka ago. The talus cone in Mitjina jama is made of rock that slid in from elsewhere, meaning that the collapsing and sliding of the scree was still from then. The cessation of the movement of the scree cone can be the consequence of a warmer climate and cessation of freezing in this cave. The same effect, talus cone stabilisation, would be rendered by heavier flowstone deposition in the ceiling fractures cementing them or flowstone stabilising the collapsed material. A similar situation is present in cave Jazbina in Rovnjah, where tall stalagmites began to grow on scree rock covered with flood mud.

Flowstone in Divaška jama began to be deposited on a thin layer of gravel that fell from the walls and the ceiling. A new flowstone formation phase is undoubtedly the consequence of changes in the chemical characteristics of percolating water. The reason for this must be sought in climate changes on the surface. Beside sticklike stalagmites, we dated massive flowstone connected to sinking rivers from the Hanke channel in Škočjanske jame, and Mejame. We analysed samples of pure, flowstone of a broken half-column in Hanke channel. The samples showed ages of 11 Ka and 8 KA. The dating is relatively reliable and indicated intensive flowstone deposition in this period and at the same time that Hanke channel was wide open to flood water from the Reka, as it stili is today. Flowstone in Mejame was deposited in the same period. Today it is eroded by a regular sinking river flow in the cave.

Important speleogenic and geomorphologic processes may be understood by observing flowstone deposited in corrosion-widened fissures and found today near the surface, where flowstone is no longer deposited.

Fissures widened by corrosion and the flowstone deposited in them point to two different processes. The first is corrosion and fissure-widening; the second is later flowstone deposition. The corrosion-widening of fissures could have an important effect on vertical karst disintegration, while flowstone deposition near the surface should slow this process and enable the levelling of relief. There are a number of reasons for the alteration of the process. Climate change or the denudation levelling of relief may cause it. Dating of the flowstone of filled-in fissures indicates a long-term process of deposition in fissures, which may contribute to the greatly levelled relief in the Divača karst.

LITERATURA IN VIRI

- Bahun, S., 1969: On the formation of karst dolinas. *Geološki vesnik* 22 (1986), 25–32, Zagreb.
- Baker, A. & P. Smart & R. Edwards, 1996: Mass spectrometric dating of flowstone from Stump Cross Caverns and Lancaster Hole, Yorkshire: paleoclimate implications. *Journal of Quaternary Science*, 11, 107–114.
- Boegan, E., 1938: Il Timavo. *Studio sull'idrografia carsica subaerea e sotterranea*. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, II, 1–251, Trieste.
- Bosak, P. & A. Mihevc & P. Pruner & K. Melka & D. Venhodova & A. Langrova, 1999: Cave fill in the Črnotiče quarry, SW Slovenia: palaeomagnetic, mineralogical and geochemical study. *Acta carsologica* 28/2, 15–39, Ljubljana.
- Bosak, P. & P. Pruner & N. Zupan-Hajna, 1998: Paleomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia. *Acta carsologica* 27/2, 151–179, Ljubljana.
- Bosak, P. & P. Pruner & N. Zupan-Hajna, 1998: Paleomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia. *Rokopis, Arhiv IZRK*, 1–96, Praha – Postojna.
- Brenčič, M., 1993: Košelevc. *Naše jame*, 34, 41–51, Ljubljana.
- Civita, M. & F. Cucchi & A. Eusebio & S. Garavoglia & F. Maranzana & B. Vigna, 1995: The Timavo Hydrogeologic System: An Important Reservoir of Supplementary Water Resources to be Reclaimed and Protected. *Acta carsologica* 24, 169–186, Ljubljana.
- Cucchi, F. & F. Forti & A. Marinetti, 1997: Surface degradation of carbonate rocks in the karst of Trieste (Classical Karst, Italy). *Fieldtrip guide, Meeting M3, Fourth International Conference on Geomorphology*, 3–8, Trieste.
- Cucchi, F. & F. Forti, 1985: Mesures de degradation de roches carbonatées et d'accroissement de stalagmites. *Spelunca mémoires*, N° 14, 87–91, Paris.
- Cucchi, F. & P. Forti, 1989: The first absolute datation of a speleothem from Trieste Karst. *Acta carsologica* 18, 53–64, Ljubljana.
- Curl, R. L., 1966: Scallops and flutes. *The Transaction of Cave Research Group of GB*, 7/2, 121–160, Nottingham.
- Čar, J. & S. Šebela, 1997: Strukturna lega vertikalnih kraških objektov na Postojnski Gmajni. *Acta carsologica*, 26/ 2, 295–304, Ljubljana.
- D'Ambrosi, C. & F. Legnani, 1965: Sul problema delle sabbie silicee del carso di Trieste. *Boli. della Società Adriatica di Scienze*. LIII, 3, Trieste.
- Dreybrodt, W., 1988: *Processes in Karst Systems*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Dreybrodt, W., 1998: Early evolution of karst aquifers in limestone: Models on

- two-dimensional percolation clusters. Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, 2, La Chaux-de-Fonds.
- Drole, F., 1997: New survey of Škocjanske jame. Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, 6, (v tisku), La Chaux-de-Fonds.
- Dular, A., 1991: Geofizikalne meritve na trasi bodoče avtoceste Čebulovica Divača. Geološki zavod, Ljubljana.
- Ewers, R.O. 1982: Cavern development in the dimensions of length and breadth. PhD. thesis, McMaster University.
- Ford, D. & P. Williams, 1989: Karst Geomorphology and Hydrology. Hyman and Unwin, 1–601, London.
- Ford, D. & R. Ewers, 1978: The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. Can. J. Earth Sci. 15, 1783–1798, Hamilton.
- Ford, D.C. & R. Gospodarič, 1989: U series dating studies of Ursus Spelaeus deposits in Križna jama, Slovenia. Acta carsologica, 18, 39–51, Ljubljana.
- Ford, D.C., 1965: The origin of the limestone caverns: a model from the central Mendip Hills, England. Bull. Nat. Spel. Soc. Am., 27, 109–132, Alexandria, Virginia.
- Gams, I., 1962: Jama pod Babjim zobom. Proteus, 25, 1, 23–27. Ljubljana.
- Gams, I., 1962: Meritve korozijske intenzitete v Sloveniji in njihov pomen za geomorfologijo. Geografski vestnik, 34, 3–20, Ljubljana.
- Gams, I., 1962: Slepe doline v Sloveniji. Geografski zbornik, 7, 263–306, Ljubljana.
- Gams, I., 1963: Logarček. Acta Carsologica, 3, 7–84, Ljubljana.
- Gams, I., 1965: Types of Accelerated Corrosion. Problems of Speleological Research. Proceedings Inter. Spel. Confer. Brno 1964, Brno.
- Gams, I., 1966: Poročilo o barvanju v Dimnicah in v Triglavskem breznu v letu 1964. Acta carsologica, 4, 151–156, Ljubljana.
- Gams, I., 1968: Tiha jama v sistemu Škocjanskih jam. Proteus, 30, 6, 146–150, Ljubljana.
- Gams, I., 1972: Prispevek k klimatogeografski delitvi Slovenije. Geogr. obzornik 19, 1, 1–9. Ljubljana.
- Gams, I., 1973: Slovenska kraška terminologija, 1973, Ljubljana.
- Gams, I., 1974: Kras. Slovenska matica, Ljubljana.
- Gams, I., 1983: Škocjanski kras kot vzorec kontaktnega krasa. Mednarodni simp. »Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam«, (Lipica 1982), 22–26, Sežana.
- Gams, I., 1986: Kontaktni fluviokras. Acta carsologica, 14–15(1985), 72–86, Ljubljana.
- Gams, I., 1992: Sistemi prilagoditve primorskega dinarskega krasa za kmetijsko rabo tal (Systems of Adapting the Littoral Dinaric Karst to Agrarian Land Use). Geografski zbornik, 31, 5–106, Ljubljana.
- Gams, I., 1994: Sigove ponvice s posebnim ozirom na Škocjanske jame. Naše jame, 36, 86–93, Ljubljana.

- Gams, I., 1996: Meritve korozije v jamah s pomočjo apnenčevih ploščic. Naše jame, 38, 101–105, Ljubljana.
- Gemitti, F., 1981: Nuove esplorazioni e indagini idrochimiche alle risorgive del Timavo. Att. Del 5° Convegno Regionale di Speleologia del Friuli – Venezia Giulia, 161–176, Trieste.
- Genty, D. & Y. Quinif, 1996: Annually laminated sequences in the internal structure of some Belgian stalagmites – importance for paleoclimatology. *Journal of Sedimentary Research*, A 66, 275–288.
- Gospodarič, R., 1977: Generacije sig v nekaterih kraških jamah. *Geografija krasa*. Poročila 1977, 1–31, IZRK ZRC SAZU Postojna.
- Gospodarič, R., 1983: O geologiji in speleogenezi Škocjanskih jam. *Geološki zbornik*, 4, 163–172. Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1984: Jamski sedimenti in speleogeneza Škocjanskih jam. *Acta carsologica*, 12, 1983, 27–48, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1985: Age and development of collapse dolines above the cave systems. The examples from classical karst of Slovenia (NW Yugoslavia). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 108, 113–116, Liege.
- Gospodarič, R., 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovcu. *Acta carsologica* 13, 1984, 5–34, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1987: Geochronology of Quaternary Karst Processes in the Karst of NW Yugoslavia. *INQUA 87*, Programme with abstracts, p.176.
- Gospodarič, R., 1988: Paleoclimatic record of cave sediments from Postojna karst. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 111/1, 91–97, Liege.
- Habe, F., 1966: Katastrofalne poplave pred našimi turističnimi jamami. *Naše jame*, 8, 45–54, Ljubljana.
- Habe, F., 1973: Stopetdeset let turističnega razvoja Škocjanskih jam. *Naše jame*, 15, 23–48. Ljubljana.
- Habič, P. & M., Knez & Kogovšek, J. & Kranjc, A. & Mihevc, A. & Slabe, T. & Šebela, S. & Zupan, N., 1989: Škocjanske Jame *Speleological Revue. Int. J. Speleol.* 18, 1–2, pp.1–42.
- Habič, P., 1963: Udarne vrtače koliševke in podzemski tokovi. *Tretji jugoslovanski speleološki kongres*, 125–129, Sarajevo.
- Habič, P., 1982: Kraški relief in tektonika. *Acta carsologica*, 10, 23–43, Ljubljana.
- Habič, P., 1982: Vodna gladina v Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije. *Acta carsologica*, 10, 37–75, Ljubljana.
- Habič, P., 1985: Razpadanje in uničevanje kapnikov pod vplivom naravnih dogajanj in človekovega poseganja v kras. *Naš krš*, 11, 18–19, 21–31, Sarajevo.
- Habič, P., 1987: Renčelica Doline near Sežana. *Man's Impact in Dinaric Karst (Guide-book)*, 115–117. Ljubljana.
- Habič, P., 1992: Les phenomenes paléokarstiques du karst Alpin et Dinarique en Slovénie. V: *Karst et évolutions climatiques*, 411–428, Bordeaux.
- Holmgren, K. & S-E. Lauritzen & G. Possnert, 1994: $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ and ^{14}C Dating

- of late pleistocene stalagmite in Lobatse II cave Botswana. *Quaternary Geochronology* 13, 11–119.
- Ikeya, M. & T., Miki & R., Gospodarič, 1983: ESR dating of Postojna cave Stalactite. *Acta carsologica*, 11 (1982), 117–130, Ljubljana.
- Ivanovich, M. & R. S., Harmon, 1992: Uranium series Disequilibrium. Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences. Clarendon Press, Oxford, 1–910.
- Jakucs, L., 1977: Morphogenetics of karst region. Akademiai Kiado, Budapest.
- Jurkošek, B. & M., Toman & B., Ogorelec & L., Šriбар & K., Drobne & M., Poljak & L., Šriбар, 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-Komenske planote, 1 : 50.000., p. 143, Ljubljana.
- Kenda, I. & Petkovšek, J., 1974: Odkritje toka Notranjske Reke v Kačni jami pri Divači. *Naše jame*, 15, 41–46, Ljubljana.
- Kenda, I., 1984: Višinska izmera Kačne jame. 9. jugoslavenski speleološki kongres, 411–417, Zagreb.
- Klimchouk, A., 1995: Karst morphogenesis in the epikarstic zone. *Cave and Karst Science*, vol. 21/2, 45–50.
- Knez, M. & Kranjc, A. & Mihevc, A. & Petrič, M., 1997: The Caves of Škocjanske Jame and Kras. *Acta carsologica*, 26/1, Supplementum, 8–35, Ljubljana.
- Knez, M., 1991: Sedimentological and Stratigraphical Properties of Limestones from the Škocjanske jame area. The second International Symposium on the Adriatic Carbonate Platform, 105, Zagreb. ZRC 14, p. 186, Ljubljana.
- Knez, M., 1996: Vpliv lezik na razvoj kraških jam. Založba ZRC, 14, p. 186, Ljubljana.
- Kogovšek, J. & Luzar, M., 1983: Vertikalno prenikanje na območju Škocjanskih jam. *Medn. simp. zaščita krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam*, 60–64, Sežana.
- Kogovšek, J., 1984: Vertikalno prenikanje v Škocjanskih jamah in Dimnicah. *Acta carsologica*, 12 (1983), 49–65, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1984: Vertikalno prenikanje vode na matičnem Krasu v primerjavi s prenikanjem v Planinski jami. 9. jugoslovanski speleološki kongres, 323–328, Zagreb.
- Kogovšek, J., 1992: Flowstone deposition in the Slovenian caves. *Acta carsologica*, 21, 169–173, Ljubljana.
- Kranjc, A. & J., Kogovšek & S., Šebela, 1992: Les concrétionnements de la grotte de Skocjanske (Slovénie) et les changements climatiques. *Karst et evolutions climatiques*, 355–361, Bordeaux.
- Kranjc, A. (ed.), 1997: Slovene Classical Karst – Kras. Založba ZRC, p. 254, Ljubljana.
- Kranjc, A., & A., Mihevc, 1988: Poplavni svet ob Notranjski Reki. *Geografski zbornik* 28/5, 195–218, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1983: Dinamika od padanja sige v Golobji luknji, Predjama. *Acta carsologica*, 11 (1982), 103–116, Ljubljana.

- Kranjc, A., 1983: Recentni fluvialni sedimenti v Škocjanskih jamah. Mednarodni simpozij »Zaščita Krasa ob 160-letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam«, SOZD Timav, 27–31, Sežana.
- Kranjc, A., 1986: Transport rečnih sedimentov skozi kraško podzemlje. *Acta carsologica*, 14/15, (1985–86), 109–115, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1986: Transport rečnih sedimentov skozi kraško podzemlje na primeru Škocjanskih jam. *Acta carsologica*, 14–15, 109–116, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1989: Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis. *Opera* 4. razreda, SAZU, ZRC, Inštitut za raziskovanje krasa, 27, 1, 1–167, Ljubljana.
- Kraus, F., 1894: Höhlenkunde. 1–103, Wien.
- Krivic, P. & M., Bricelj & M., Zupan, 1989: Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre. *Acta carsologica*, 18, 265–284, Ljubljana.
- Krivic, P. & M., Bricelj & N., Trišič & M., Zupan, 1987: Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane. *Acta carsologica*, 16, 83–104, Ljubljana.
- Krivic, P., 1982: Naravna nihanja gladine podtalnice kraškega vodonosnika. *Geologija*, 25/1, 129–150. Ljubljana.
- Lauritzen, S.E. & R., Lovlie & D., Moe & E., Ostbie, 1990: Paleoclimate Deduced from a Multidisciplinary Study of a Half-Million-Year-Old Stalagmite from Rana, northern Norway. *Quaternary Research*, 34, 306–316. Washington.
- Lauritzen, S.E., 1991: »Age4U2U«Program for Reading ADCAM energy ²³⁴Uranium ages. Turbo Pascal Code, 5000 lines.
- Lauritzen, S.E., 1996: High-resolution paleotemperature proxy record for the last interglaciation based on Norwegian speleothems. *Quaternary Research* 43, 133–146. Washington.
- Linge, H., 1999: Isotopic studies of some northern Norwegian speleothems and calcareous algae from Svalbard. Doctor scientarium thesis. Department of Geology, University of Bergen, 1–83, Bergen.
- Marinitsch, J., 1896: La Kačna jama (Gouffre des serpents) en Istrie. *Mém. Soc. de Spéleologie* I no 3.
- Marinitsch, J., 1896: Les hautes eaux dans la Kačna jama. *Spelunca* II, 148, Paris.
- Marinitsch, J., 1897: Les absorptions de la Recca à Saint Canzian (Istrie). *Bulletin de la Société de Spéléologie*, 37–43. Rennes.
- Marinitsch, J., 1904: La Grotte des Surprises à Saint Canzian. *Spelunca*, 5/37, 97–100, Paris:
- Martel, E.A., 1894: Les Abîmes. Charles Delagrave, Paris.
- Marussi, A., 1941: Il Paleotimavo e l'antica idrografia subaerea del Carso Triestino. *Boll. Soc. Adr. Se. Nat.*, 38, 104–126. Trieste.
- Melik, A., 1951: Pliocenska Pivka. *Geografski vestnik*, 13, 17–39, Ljubljana.
- Melik, A., 1955: Kraška polja Slovenije v pleistocenu. *Dela Inštituta za geografijo SAZU*, 3, 1–163, Ljubljana.

- Melik, A., 1960: Primorska Slovenija. Slovenska matica, Ljubljana.
- Mihevc, A. & Lauritzen, S.E., 1997: Absolute datations of speleothems and its speleomorphological significance from Divaška jama and Jazbina caves; Kras plateau, Slovenia. Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, 1, Symposium 7: Physical Speleology, 57–59, La Chaux-de-Fonds.
- Mihevc, A. & N. Zupan-Hajna, 1996: Clastic sediments from dolines and caves on the route of highway at Divača. Acta Carsologica 25, 169–191, Ljubljana.
- Mihevc, A. & S., Šebela, 1995: The problems of constructions on karst – the examples from Slovenia. Karst Geohazards, Engineering and Environmental Problems in Karst Terrane, 475–479, Beck, Balkema, Rotterdam.
- Mihevc, A., 1984: Kačna jama. – 9. jugoslovanski speleološki kongres, 417–422, Zagreb.
- Mihevc, A., 1985: Nova spoznanja o Kačni jami. Naše jame, 26, 11–20, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1986: Tehnike obvladovanja vhodnega brezna Kačne jame. Naš krš, 12, 45–50, Sarajevo.
- Mihevc, A., 1989: Kontaktni kras pri Kačičah in ponor Mejame. Acta carsologica, 18, 173–195, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1989: Ostanke orodij prvih raziskovalcev Škocjanskih jam in Kačne jame. Naše jame, 31, 27–33, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1991: Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa v Sloveniji. Geografski vestnik, 63, 41–50, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1991: Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa. Magistrska naloga, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1991: Ravni stropi, inicialni in stropni kanali ter stropne anastomoze na primerih jam Piskovica in Brlog na Rimskem. Naše jame, 33, 19–27, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1992: Brkini region contact karst.- Proceedings of the International Symposium Geomorphology and the Sea, 301–306, Zagreb.
- Mihevc, A., 1993: Contact karst of Brkini hills on the southern side of the Classical karst area in Slovenia. Proceedings of the XI International Congress of Speleology, 5–7, Beijing.
- Mihevc, A., 1993: Micrometric measurements of the corrosion rate on the cave wall inscription in a swallet-cave of Odolina (Slovenia). Bulletin de la Société géographique de Liège, 29 (1992), 93–96, Liège.
- Mihevc, A., 1994: Contact Karst of Brkini Hills. Acta carsologica, 23, 100–109, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1994: Morfološke značilnosti Matarskega podolja. Annales, Anali Koprškega primorja in bližnjih pokrajin, 4, 163–168, Koper.
- Mihevc, A., 1994: Some Results on Micrometric Measurements in the Škocjanske jame Caves, Slovenia. I. Mitteleuropäische Geomorphologentagung, 75, Wien.

- Mihevc, A., 1994: The Martel's Chamber in Škocjanske jame. *Acta carsologica*, 23, 206–214, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1995: Geomorphological meaning of the sediments beneath the entrance potholes in the area of Škocjanske jame – the case of Jama na Prevali II. *Proceedings Caves and Man, International Symposium of the occasion of the 70-th anniversary opening to the public of the Demanovska cave of Liberty*, 16–20, Liptovsky Mikulaš.
- Mihevc, A., 1995: Nove meritve Martelove dvorane v Škocjanskih jamah. *Naše jame*, 37, 39–44, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1995: The morphology of shafts on the Trnovski gozd plateau in west Slovenia. *Cave and Karst Science*, vol. 21/2, 67–69.
- Mihevc, A., 1996: Some preliminary results of micrometric measurements in Škocjanske caves, Slovenia. *Kras i speleologia*, 8 (XVII), 66–[71], Sosnowiec.
- Müller, F., 1891: Entdeckungsfahrten in den St. Kanzianer Höhlen im Jahre 1890 vom 18. bis 25. Unterirdischen Wasserfall. *Mitteilungen des DÖAV*, 8, 99–103, 129–131. Wien.
- Müller, F., 1892: Die Jama na Prevali. *Mitteilungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins*, n. 11. 122–123. Wien.
- Nagode, M., 1998: Načrt novih delov Kačne jame, *Arhiv JD Logatec*.
- Oedl, R., 1924: Der unterirdische Lauf der Reka. Eine karsthydrographische Studie über das Höhlen und Dolinengebiet von St. Kanzian und Divaca auf der Triester Karsthochfläche. *Doktorska teza*, 1–334, München.
- Palmer, A., 1984: Geomorphic interpretation of karst features. V *Groundwater as geomorphic agent*. R.G. LaFleur (edit.) 173–209, London.
- Palmer, A., 1991: Origin and morphology of limestone caves. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 103, 1–21.
- Passini, G., 1975: Sull'importanza speleogenetica dell' »erosione antigravitativa«. *Le grotte d'Italia*, 4, 297–326.
- Pazze, P.A., 1893: *Chronik der Sektion Küstenland des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins*, 1873–1892. 1–130, Trieste.
- Pleničar, M., 1954: Vrnik. *Proteus*, 17, 98–90, Ljubljana.
- Radinja, D., 1967: Vremenska dolina in Divaški kras. *Problematika kraške morfogeneze*. *Geografski zbornik*, 10, 157–256, Ljubljana.
- Radinja, D., 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. *Geografski zbornik*, 13, Ljubljana.
- Radinja, D., 1985: Kras v luči fosilne fluvialne akumulacije. *Acta carsologica*, 14–15, 99–108, Ljubljana.
- Renault, P., 1968: Contribution à l'étude des actions mécaniques sédimentologiques dans la spéléogenèse. Les effets mécaniques à l'échelle de la cavité. *Annales de Spéléologie*, 23, 259–307.
- Schwarcz, H.P., 1980: Absolute age determination of archaeological sites by uranium dating of travertines. *Archaeometry*, 22, 3–4.
- Shackleton, N.J. & N., Opdyke, 1973: Oxygen Isotope and Paleomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28–238: Oxygen Isotope Tem-

- perature and Ice Volumes on a 105 Year and 106 Year Scale. *Quaternary Research* 3, 39–55, Washington.
- Slabe, T., 1988: Jamske anastomoze v Dimnicah, *Acta carsologica* 16 (1987), 167–179, Ljubljana.
- Slabe, T., 1988: Kondenzna korozija na skalnem obodu Komarjevega rova v Dimnicah. *Acta carsologica*, 17, 79–92, Ljubljana.
- Slabe, T., 1994: Dejavniki oblikovanja jamske skalne površine. *Acta carsologica*, 23, 370–398, Ljubljana.
- Slabe, T., 1994: Klasifikacija in poimenovanje jamskih skalnih oblik. *Naše jame*, 36, 43–57, Ljubljana.
- Slabe, T., 1995: Cave Rocky Relief. Založba ZRC, 10, p. 128, Ljubljana.
- Slabe, T., 1996: Karst features in the expressway section between Čebulovica and Dane. *Acta carsologica*, 24, 221–240, Ljubljana.
- Slabe, T., 1997: Caves in the Dane–Fernetiči Expressway. *Acta carsologica* 26/2, 361–372, Ljubljana.
- Slabe, T., 1997: Karst features discovered during expressway construction in Slovenia. *Environmental Geology* 32/3, 186–190, Springer-Verlag.
- Smart, P. & M., Roberts, 1996: Paleoclimatic determination from speleothems – a critical appraisal of the state of the art. *Climate change: The Karst Record*. 157–160, Bergen.
- Szombathy, G.J., 1913: Alterstumfunde aus Hohlen bei St. Kanzian im Österreichischen Küstenlande. *Mitteilungen der Præhistorischen Kommission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* 2, 17–190, Wien.
- Šebela, S., 1994: Določitev geološke zgradbe nad Škocjanskimi jamami s pomočjo aeroposnetkov. *Anali Koprskega primorja in bližnjih pokrajin*, 4, 183–187, Koper.
- Šebela, S., 1995: Jama brez stropa. *Življenje in tehnika* 5, 60–61, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1968: Nekaj o nastanku kraških udornih dolin. *Naše jame*, 9 (1967), 58–65, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1973.: Med Škocjanom in Labodnico. *Proteus*, 35, 212–215, 239, 281–287, 320–322. Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1973: K problematiki udornic in podobnih oblik visoke Notranjske. *Geografski vestnik*, 45, 71–86, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1984: Preprost model preoblikovanja udornic. *Acta carsologica*, 12, 107–131, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1985: Metoda morfometrije in računalniške obdelave vrtač. *Acta carsologica* 13, 81–98, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1985: Model čistega krasa in nasledki v interpretaciji površja. *Acta carsologica* 14–15, 59–70, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1994: David John Lowe: The origin of limestone caverns: an inception horizon hypothesis. *Naše jame* 36, 176–180, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1994: Jama Kloka in začelje. *Naše jame* 36, 9–31, Ljubljana.
- White, E. & B. White, 1969: Processes of cavern breakdown. *Bull. Nat. Speleo. Soc.Aun.* 31(4), 83–96.

- White, W.B., 1984: Rate processes: chemical kinetics and karst landform development. V Groundwater as geomorphic agent. R.G. LaFleur (edit.) 227–248 London.
- Williams, P., 1985: Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst. Z. Geomorf. 29, 4, 463–482. Berlin.
- Winograd, I.J. & T., Coplen & B., Landwehr & M., Riggs & A., Ludvig & K., Szabo & B., Kolesar & K., Revesz, 1992: Continuous 500,000-Year Climate Record from Vein Calcite in Devils Hole, Nevada. Science, vol. 258.
- Worthington, S.R.H., 1991: Karst Hydrology of the Canadian Rocky Mountains. 1–227, Hamilton.
- Zupan, N., 1991: Flowstone datations in Slovenia. Acta carsologica 20, Ljubljana, 187–204.
- Zupan-Hajna, N., 1992: Mineralna sestava mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa. Acta carsologica, 21, 117–130, Ljubljana.
- Zupan-Hajna, N., 1994: Najpogostejši minerali iz jam klasičnega Krasa. Annales, Anali Koprškega primorja in bližnjih pokrajin, 4, 143–148, Koper.

IZVLEČEK

SPELEOGENEZA DIVAŠKEGA KRASA

Delo obravnava razvoj izbranih jam in Divaškega krasa od nastanka prvih kanalov, do trenutka, ko kraški denudacijski procesi odstranijo okoliška kamnina. V Divaškem krasu so se ohranile jame s sledovi več milijonov let trajajočega razvoja krasa.

Najstarejše jame so se že vključile v sedanje površje kot posebne reliefne oblike. Imenovali smo jih brezstropne jame. V njih so se ohranile siga in tudi alohtoni sedimenta, ki izvirajo iz nekarbonatnih kamnin. Največja je brezstropna jama v Lipovih dolinah, 1800 m dolga reliefna uleknina, delno še zapolnjena z jamskimi fluvialnimi sedimenti in sigo.

Zaradi denudacije površja se je odprl vhod v Divaško jamo, del jame v pobočjih dola Radvanj, pa je spremenjen v brezstropo jamo. Podobno je potekal tudi razvoj jame in dola Bestažovca in Perkove pečine.

Predhodnica Škocjanskih jam je brezstropna jama v Lipovih dolinah, ki leži nad njimi. Škocjanske jame so oblikovane v neskladovitih apnencih z redkimi tektoniziranimi lezikami. Ob njih so nastali v freatičnih pogojih inicialni rovi metrskih dimenzij, v razpoklinskih conah pa roji freatičnih brezen. Sledilo je daljše obdobje, ko je bil regionalni gradient v krasu majhen, zato so se v višini od 300 do 340 m oblikovali ali paragenetsko preoblikovali veliki rovi. Sledilo je povečanje gradienta v krasu in močno vrezovanje Reke. Tako so nastali podzemni kanjoni, s poružitvijo pretinov med freatičnimi brezni pa velike dvorane in udornice.

V Kačni jami se enotni tok Reke razcepi v več smeri, odvisno od vodostaja. V jami so cone močnega podiranja v rovih, več rogov pa vodi tudi pod udornice. Nastajanje udornic in velikih podorov v jamah lahko povsod povežemo z razpoklinskimi conami in nihanjem poplavne vode za približno 120 m.

Veliko večino površja Divaškega krasa – 88%, predstavljajo nerazčlenjene, uravnane površine. Skupna površina vrtač ter udornic predstavlja 11% od skupne površine, od tega površina udornic 4%. Pomembnejša je njihova prostornina; največja udornica Radvanj ima 9 milijonov m³ prostornine; 15 večjih udornic pa skupaj 38 milijonov m³. Skupna prostornina vseh vrtač pa je le 6–10 milijonov m³.

Datacije sig so pokazale, da so sige nastajale v toplejših obdobjih pleistocena in da je veliko sig starejših od 350 Ka. Ugotovili smo prenehanje naplavljanja Brkinskih ponikalnic v jamah ter začetek holocensko sigotvorne faze pred približno 16 Ka.

ABSTRACT

THE SPELEOGENESIS OF THE DIVAČA KARST

A number of caves and the surface of Divača karst were selected and studied from the development of the first channels to the time when karst denudation removes the rock around caves and destroy them.

The oldest caves in the area are incorporated into the present surface as specific relief forms. We named them unroofed caves. In them flowstone and allochthonous sediments deposited by sinking rivers are preserved. The largest in the area is 1800 m long unroofed cave Brezstropa jama in Lipove doline. On the field we can trace it as an elongated depression filled with allochthonous sediments and flowstone.

Divaška jama cave is 600 m long. Because of the surface approaching entrance to cave have opened and part of the cave ceiling was corroded away. This part of the cave we can follow on the slopes of the doline Radvanj as unroofed cave. Similar development was in the case of the Bestažovca cave.

About 18 km long and to 275 m deep cave system of the river Reka in Škocjanske jame and Kačna jama was studied.

Predecessor of the present Škocjanske jame is unroofed cave Brezstropa jama in Lipove doline lying above the caves. Škocjanske jame are in the massive limestone with sporadic tectonised bedding-planes. Along them in phreatic conditions initial passages formed connected by phreatic shafts developed in fractured zones. Longer period with the low gradient followed, causing the formation and paragenetic transformation of large passages in elevation of about 300–340 m. Later gradient became larger causing the entrenchment of Reka. Deep underground canyons and large chambers developed where walls between the phreatic shafts collapsed.

In the Kačna jama the Reka splits to different directions depending of the water level. In the cave are zones of collapsing and several passages ends under the collapse dolines. Formation of the large breakdowns and collapse dolines is within fractured zones where important oscillations of the karst water level occur.

Collapse dolines are important speleologic element in the present surface. The largest of them, Radvanj has a volume about 9 million m³. Volume of 15 collapse dolines is about 38 million m³ and they cover about 4% of the surface. The volume of dolines is only 6–10 million m³ and they cover 7% of the surface. Most of the area 88%, presents levelled surfaces.

Flowstone datations showed the periods of growth in warmer Pleistocene periods and that several samples were old more than 350 Ka. Datations of the younger stalagmites showed the end of the massive sedimentation of the sinking rivers and beginning of the Holocene flowstone deposition before about 16 Ka.

SEZNAM RISB – LIST OF ILLUSTRATIONS

- Slika 1: Brezstropne jame na Divaškem krasu.
Unroofed caves in the area of the Divača karst.
- Slika 2: Uravnano površje v nadmorski višini med 398 in 400 m med gradnjo avtoceste.
Levelled surface at elevation between 398 and 400 m during the highway construction.
- Slika 3: Tloris ter značilni prerez vrtače in Brezstropne jame pri Povirju.
Plan and profile of the doline and eastern part of the Unroofed cave at Povir.
- Slika 4: Prečni prerez stalagmita ter skale, na kateri je rasel.
Slice of the stalagmite that was buried below the sediments in the unroofed cave.
- Slika 5: Prodniki flišnega peščenjaka in apnenca so se ohranili le pod večjo sigovo kopo.
Pebbles of limestone and flysch sandstone were preserved only below large flowstone dome.
- Slika 6: Brezstropa jama pri Povirju ter manjša ohranjena denudirana jama sta vidni tudi na letalskem posnetku v infrardečem delu spektra.
Unroofed cave at Povir and smaller, still existing denuded cave are well expressed on the infra red photograph.
- Slika 7: Pogled na ohranjeno denudirano jamo.
View to the preserved unroofed cave.
- Slika 8: Pogled na veliki stalagmit v izkopanem zahodnem delu denudirane jame v Lipovih dolinah.
View to the large stalagmite in the W part of the unroofed cave in the levelled surface of Lipove doline.
- Slika 9: Prerez denudirane jame v Lipovih dolinah na mestu, kjer so kopali vrtnik – kremenčev pesek in pri tem razgalili star stalagmit.
Cross section of the denuded cave in Lipove doline on the place of the quartz sand dig and where the large stalagmite was uncover.
- Slika 10: Jamski konglomerat iz jame v Lipovih dolinah.
Cave conglomerate from the unroofed cave in Lipove doline.
- Slika 11: Izrez iz topografske karte z vrisanimi nahajališči sige, alogeničnih sedimentov ter verjetni obseg denudirane jame.
Topographic map with position of the flowstone, allogenic sediments and possible extension of the unroofed cave.
- Slika 12: Skala na jamskih sedimentih – verjetni ostanek stropa denudirane jame v Lipovih dolinah.
Loose rock on the cave sediments – possible remain of the ceiling of the unroofed cave in Lipove doline.
- Slika 13: Verjetni obseg dveh denudiranih jam pri Gradišču.
Possible unroofed caves on Gradišče hill.
- Slika 14: Divaška jama in brezstropa jama v s sedimenti zapolnjeni brezstropni jami v dolu Radvanj.
Divača cave and filled unroofed cave exposed in the slope of the doline Radvanj.
- Slika 15: Odpiranja vodoravne jame na površje zaradi kraške denudacije.
Opening of the horizontal cave passage to surface because of surface lowering.

- Slika 16: Preoblikovanje vodoravne, s sedimenti zapolnjene jame v površinsko reliefno obliko.
Transformation of the horizontal, filled cave passage to surface relief feature because of surface lowering.
- Slika 17: Digitalni model reliefa nad jamo Bestažovca.
Elevation model of the relief above the cave Bestažovca.
- Slika 18: Tloris jame Bestažovca.
Ground plan of the cave Bestažovca.
- Slika 19: Iztegnjeni profil jame Bestažovca.
Profile of the cave Bestažovca.
- Slika 20: Glavni rov v jami Bestažovca.
Main passage in the cave Bestažovca.
- Slika 21: Prevrnjeni stalagmiti v Bestažovci kažejo na premike tal med sedanjo sigotvorno fazo.
Fallen stalagmites which are frequent in the cave Bestažovca show the movements of floor during the last phase of growth.
- Slika 22: Na gruščnatem pobočju, na katerem najdemo med kamenjem, pomešanim z ilovico tudi kosti in neolitsko keramiko, so zrastle paličasti stalagmiti.
Stalagmites are growing on the talus cone where among the gravelloam, bones and pieces of Neolithic pottery can be found.
- Slika 23: Pogled iz Perkovega spodmola.
View from the cave Perkov spodmol.
- Slika 24: Medsebojna lega dola in jame Bestažovca ter Perkove pečine.
Position of the collapsed doline dol Bestažovca and caves Bestažovca and Perkova pečina.
- Slika 25: Škocjanske jame. Načrt jame je izdelan na osnovi meritev Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU v letih 1986–1998.
Cave Škocjanske jame. Plan of the cave is basing on surveys of Karst research institute ZRC SAZU in years 1986–1988.
- Slika 26: Geološka karta Škocjanskega krasa (Gospodarič, 1983), dopolnjena z obrisom Škocjanskih jam po novi izmeri.
Geology map of Škocjan karst (Gospodarič, 1983), supplemented with the outline of the cave after the new survey.
- Slika 27: Pogled na prvi slap v Rudolfovi dvorani.
The First waterfall in the chamber Rudolfova dvorana.
- Slika 28: Vzhodno pobočje Velike doline.
Eastern slope of Velika dolina.
- Slika 29: Ob leziki 600 je nastal eliptičen rov, skozi katerega pada eden od slapov v Oknu.
Waterfall in gallery named Okno was formed along tectonised bedding-planes.
- Slika 30: Tektonizirana Jezika (verjetno 500) v Putickovi dvorani.
Tectonised bedding-plane (possibly nr. 500) in chamber Putickova dvorana.
- Slika 31: Geološka struktura in položaj rogov v Škocjanskih jamah.
Geological structure and the position of the passages of Škocjanske jame.
- Slika 32: Značilna razpoklinska cona ob severnem robu Velike doline.
Fractured zone on the N rim of Velika dolina.
- Slika 33: Ozke fasete na skali sredi struge Reke v Putickovi dvorani oblikuje hitri vodni tok.
Narrow and elongated scallops on the boulder in the Reka river bed are formed by corrosion of the high, fast flowing water.

- Slika 34: Erozijsko zaobljena skala pri Swidovem razgledišču v Hankejevem kanalu.
A rock rounded by erosion from Swidovo razgledišče in the Hanke channel.
- Slika 35: Merjenje erozije v drasli v Putickovi dvorani.
Measuring of the erosion by micrometer in the pothole in the Putickova dvorana.
- Slika 36: Skala z razami, ki nastanejo pri premikanju v strugi.
Micrometer measuring of the erosion by in the pothole in the Putickova dvorana.
- Slika 37: Paragenetsko preoblikovan strop Rudolfove dvorane.
The ceiling of the Rudolfova dvorana that was reshaped by paragenesis.
- Slika 38: Rov Tunel na tlorisu in na iztegnjenem prerezu dela Skocjanskih jam.
Passage Tunnel and its position in the Škocjanske jame.
- Slika 39: Rov Tunel. Eliptični rov pokrivajo v spodnjem delu sedimenti.
Passage Tunnel. Phreatic elliptical profile is partly filled with sediments.
- Slika 40: Prerez čez Rudolfovo dvorano v smeri S–J z vrisanimi tektoniziranimi lezikami, ob katerih sta nastala Zadnji ponor in Tunel.
Cross section of the Rudolfova dvorana. Tectonised bedding-planes along which passages Zadnji ponor and Tunel formed.
- Slika 41: Dno Hankejevega kanala.
The bottom of the Hanke channel.
- Slika 42: Raziskovanje Šumeče jame leta 1884.
The exploration of Šumeča jama in 1884.
- Slika 43: Profil Hankejevega kanala v Deževni jami pri Trinajstem slapu.
Profile of the Hanke channel at Deževna jama near the 13th waterfall.
- Slika 44: Prečni profil Müllerjeve dvorane, ki je del Šumeče jame.
Cross section over Müllerjeva dvorana, part of the chamber Šumeča jama.
- Slika 45: Svetinova dvorana v Šumeči jami. Brzica v ospredju slike je Četrty slap.
Chamber Svetinova dvorana in Šumeča jama.
- Slika 46: Tloris in prerezi Martelove dvorane.
Ground plan and cross sections of the chamber Martelova dvorana.
- Slika 47: Kačna jama. Načrtu (Mihevc, 1984) so dodani novi deli jame (Nagode, 1998).
Kačna jama. To the plan (Mihevc, 1984) new parts (Nagode, 1998) are added.
- Slika 48: Korozijski kotlički pri Ogabnem jezeru v Logaškem rovu.
Solution pits on the wall in Logaški rov passage.
- Slika 49: 60 m visoka Vhodna dvorana Kačne jame.
60 m high entrance chamber of Kačna jama.
- Slika 50: Prečni prerez Vhodne dvorane Kačne jame.
Cross section of the entrance chamber of the Kačna jama.
- Slika 51: Vzdolžni prerez dela Vzhodnega rova.
Section of the part of Vzhodni rov passage.
- Slika 52: Pogled na podor Kalvarije v Vzhodnem rovu.
View to the Kalvarija, heap of collapse boulders in the passage Vzhodni rov.
- Slika 53: Prečni prerez Vzhodnega rova v območju Kalvarije in Hojkerjeve dvorane.
Cross section over the Vzhodni rov in the region of Kalvarija and Hojkerjeva dvorana chamber.
- Slika 54: Prečni prerez dola Bukovnik in jame v Bukovniku.
Cross section over collapse dolina Bukovnik.
- Slika 55: Udornica Risnik in del rovov Kačne jame.
Collapse doline Risnik and part of the galleries of the Kačna jama below it.
- Slika 56: Aktivni vodni rov pri Brzicah v nadmorski višini 177 m.
Active water gallery at Brzice in elevation of 177 m a.s.l.

- Slika 57: Stranski Spodnji rov pri Brzicah.
Side passage Spodnji rov joins the main at Brzice.
- Slika 58: Dno Vzhodnega rova pokrivajo alohtoni peski in posamezni kapniki.
The bottom of the Vzhodni rov passage are covered with sand and few stalagmites.
- Slika 59: Shematični prerez Kačne jame.
Schematic cross section through Kačna jama.
- Slika 60: Deleži nerazčlenjenega površja in površin različno globokih dolin in udornic na Divaškem krasu.
Percentage of levelled surface and surfaces of dolines and collapse dolines according to depth.
- Slika 61: Razporeditev in obseg vrtač in udornic na Divaškem krasu. Območje, prikazano na karti, zajema 5 × 6,2 km.
Dolines and collapsed dolines of the Divača karst. Area on the map covers 5 × 6.2 km.
- Slika 62: Digitalni model reliefa z vrtačami razčlenjenega Divaškega krasa nad zahodnim delom Škocjanskih jam in digitalni model reliefa udornice Risnik.
Digital elevation model of the surface with dolines above the Škocjanske jame and surface of equal size (250 × 250 m) with a single collapse dolina Risnik.
- Slika 63: Pogled na udornico Risnik z vzhoda.
View of the collapsed doline Risnik from the east.
- Slika 64: Pregledna karta z označenimi lokacijami pobranih vzorcev sige.
Map of the sampling points of the flowstone.
- Slika 65: Prevrnjeni kapnik pri Swidovem razgledišču v Hankejevem kanalu.
Collapsed stalagmite from Swidovo razgledišče in Hanke channel.
- Slika 66: Fotografija sigove kope Goba, ki je bila odložena v nadmorski višini 314 m, na alohtone peske v spodnjem delu Podorne dvorane.
Speleothem named Goba in elevation of 314 m a.s.l. is deposited on the allochthonous sands in the Podorna dvorana chamber.
- Slika 67: Erodirane sigove kope v Petkovškovem rovu Kačne jame.
Eroded speleothems in passage Petkovškov rov in the Kačna jama.
- Slika 68: Vrh parazitskega stalagmita, ki je rasel na podrtem kapniku Harambaša.
Tip of the small parasitic stalagmite that was growing on the large, now collapsed stalagmite named Harambaša.
- Slika 69: Sigova skorja in stalagmit med dvema plastema poplavnih sedimentov v Žibernovi dvorani sta starejša od 350 Ka.
Flow stone crust and stalagmite between two layers of flood loam from chamber Žibernova dvorana in the Divaška jama was older than 350 Ka.
- Slika 70: Shematični prerez Divaške jame, z označenimi mesti pobranih vzorcev sig.
Schematic cross section of the Divaška jama cave with the flowstone sampling points.
- Slika 71: Erodirana siga v Mejamah.
Eroded flowstone in the cave Mejama.
- Slika 72: Shematični prerez robnega dela slepe doline Jezerine z vrisanim položajem jam in označenimi mesti vzorčevanja.
Schematic cross section of the edge of the Jezerine blind valley with caves and sampling points of the flowstone.
- Slika 73: Fotografija prerezanega in poliranega kapnika iz Pečine v Borštu.
Polished section of the stalagmite from cave Pečina v Borštu.
- Slika 74: Vzorčevalno mesto JEZ A v Mitjini jami.
Sampling point JEZ A in the cave Mitjina jama.
- Slika 75: Prerez laminiranega kapnika (1285) iz lokacije JEZ A v Mitjini jami.
Polished stalagmite section from Mitjina jama, location JEZ A.

- Slika 76: Vrhnji del kapnika iz sklepnega dela Mitjine jame.
Upper part of the tall stalagmite from cave Mitjina jama, sampling point JEZ B.
- Slika 77: Vzorčevalno mesto JEZ B v Mitjini jami.
Sampling point JEZ B in the cave Mitjina jama.
- Slika 78: Vzorčevalno mesto JEZ B v končnem delu Mitjine jame.
Sampling point JEZ B in the inner part of Mitjina jama.
- Slika 79: Shematični prerez Jazbine v Rovnjah in obeh, iz jame analiziranih kapnikov.
Schematic cross section of the cave Jazbina v Rovnjah and two stalagmites that were analysed.
- Slika 80: Jazbina v Rovnjah. Kapniki v spodnjem delu jame, od koder je bil vzet podrti kapnik C 238.
Lower part of the cave jazbina v Rovnjah where stalagmite C 238 was growing.
- Slika 81: Baza kapnika C 238 v Jazbini v Rovnjah.
Photograph of the slice of the stalagmite C 238 base from jazbina v Rovnjah.
- Slika 82: Razmerje med višino in starostjo vzorcev sige iz kapnika C 238.
The position of the dated subsamples of the stalagmite C 238 plotted against the obtained ages.
- Slika 83: Jazbina v Rovnjah, iz katere je bil vzet 51 cm visok stalagmit JBRT.
The position in the cave where 51 cm tall stalagmite JBRT was sampled.
- Slika 84: Korozijsko razširjene razpoke z odloženimi sigami v kamnolomu Lipica.
Fissures widened by corrosion and the flowstone deposited in them.
- Slika 85: Razporeditev starosti vzorcev mlajših sig v primerjavi z izotopsko paleotemperaturno krivuljo (Shackleton, 1973).
Distribution of the ages of analysed younger flow stone samples against the isotope paleotemperature curve (Shackleton, 1973).

Zbirka
ZRC

Zbirka je bila ustanovljena 1994 leta in je namenjena predvsem objavam znanstvenih monografij s področja humanističnih in nekaterih družboslovnih ter naravoslovnih ved.

Dušan Kos, **MED GRADOM IN MESTOM**

Odnos kranjskega, slovenještajerskega in koroškega plemstva do gradov in meščanskih naselij do začetka 15. stolega

1994, (ZRC 1), 225 str., 21 × 29,5 cm, broširana, ISBN 961-90125-0-X.

Eva Holz, **RAZVOJ CESTNEGA OMREŽJA NA SLOVENSKEM OB KONCU 18. IN V 19. STOLETJU**

1994, (ZRC 2), 159 str., 21 × 29,5 cm, broširana, ISBN 961-90125-1-8.

Dušan Kos, **IMAGO IUSTITIAE**

Historični sprehod skozi preiskovanje, sojenje in pravo pri plemstvu v poznem srednjem veku

1994, (ZRC 3), 142 str., 12 × 19 cm, broširana, ISBN 961-90125-3-4.

Oto Luthar (Ur.), **HISTORIČNI SEMINAR – POT NA GRMADO**

1994, (ZRC 4), 227 str., 12 × 19 cm, broširana, ISBN 961-90125-4-2.

Monika Kropelj, **PRAVLJICA IN STVARNOST**

Odsev stvamosti v slovenskih ljudskih pravljicah in povedkah ob primerih iz Štrekljeve zapuščine

1995, (ZRC 5), 280 str., 21 × 29,7 cm, broširana, ISBN 961-90125-7-7.

Janja Žitnik, **OREL IN KORENINE MED »BRUŠENJEM« IN CENZURO**

1995, (ZRC 6), 244 str., 12 × 19 cm, broširana, ISBN 961-90125-5-0.

Darinka Trpin in *Branko Vreš*, **REGISTER FLORE SLOVENIJE**

Praprotnice in cvetnice

1995, (ZRC 7), 144 str., 21 × 29,7 cm, broširana, ISBN 961-90125-6-9.

Blaž Resman, **BAROK V KAMNU**

Ljubljansko kamnoseštvo in kiparstvo od Mihaela Kuše do Francesca Robbe

1995, (Zbirka ZRC 8), 164 str., 12 × 19 cm, broširana, ISBN 961-90125-8-5.

Fran Ramovš, **KRATKA ZGODOVINA SLOVENSKEGA JEZIKA I**

1995, (Zbirka ZRC 9), VIII+ 246 str., 12 × 19 cm, trda vezava, ISBN 961-90125-6-9.

Tadej Slabe, **CAVE ROCKY RELIEF AND ITS SPELEOGENETICAL SIGNIFICANCE (Jamski skalni relief in njegov speleogenetski pomen)**
1996, (Zbirka ZRC 10), str., 21 × 29,5 cm, broširana, ISBN 961-6182-03-X.

Marko Terseglav, **USKOŠKA PESEMSKA DEDIŠČINA BELE KRAJINE**
1996, (ZRC 11), 256 str., 21 × 29,5 cm, broširana, ISBN 961-6182-07-2.

Zmaga Kumer, **VLOGA, ZGRADBA, SLOG SLOVENSKE LJUDSKE PESMI**
1996, (ZRC 12), 154 str., 17 × 24 cm, broširana, ISBN 961-6182-11-0.

Marjan Dolgan, **TRI EKSPRESIONISTIČNE PODOBE SVETA**
Pregelj, Grum, Jarc
1996, (ZRC 13), 168 str., 12 × 19 cm, broširana, ISBN 961-6182-13-7.

Martin Knez, **VPLIV LEZIK NA RAZVOJ KRAŠKIH JAM**
Primer Velike doline, Škocjanske jame
1996, (ZRC 14), 186 str., 21 × 29,5 cm, broširana, ISBN 961-6182-12-9.

Naško Križnar, **VIZUALNE RAZISKAVE V ETNOLOGIJI**
1996, (ZRC 15), 154 str., 17 × 24 cm, broširana, ISBN 961-6182-16-1.

Dragica Turnšek, **MESOZOIC CORALS OF SLOVENIA**
(Mezozojske korale Slovenije)
1997, (ZRC 16), 513 str., 22 × 30 cm, trda vezava, ISBN 961-6182-44-7.

Tomaž Erza, **OBRAT GILLESA DELEUZA.**
Teorija subverzije in ideja popolne ontologije v Logiki smisla in Anti-Ojdipu
1997, (ZRC 17), 248 str., 12 × 19 cm, broširana, ISBN 961-6182-41-2.

Stanka Šebela, **TEKTONSKA ZGRADBA SISTEMA POSTOJNSKIH JAM/
TECTONIC STRUCTURE OF POSTOJNSKA JAMA CAVE SYSTEM**
1998, (ZRC 18), 112 str., 21 × 29,5 cm, broširana, ISBN 961-6182-65-X.

Več avtorjev, **SOUTH CHINA KARST I**
1998, (ZRC 19), 247 str., trda vezava, ISBN 961-6182-68-4.

Miha Kosi, **POTUJOČI SREDNJI VEK**
Cesta, popotnik in promet na Slovenskem med antiko in 16. stoletjem
1998, (ZRC 20), 344 str., 17,5 × 24,5 cm, trda vezava, ISBN 961-6182-66-8.

Maja Topole, **MIRNSKA DOLINA**
Regionalna geografija porečja Mirne na Dolenjskem
1998, (ZRC 21), 175 str., 21 × 29,5 cm, broširana, ISBN 961-6182-64-1.

Marina Lukšič-Hacin, **MULTIKULTURALIZEM IN MIGRACIJE**
1999, (ZRC 22), 269 str., 12 × 19 cm, broširana, ISBN 961-6182-81-1.

Metoda Kokole, **ISAAC POSCH,**
»diditus Eois Hesperiiisque plagis – slavljen v deželah Zore in Zatona«.
Zgodnjebaročni skladatelj na Koroškem in Kranjskem
1999, (ZRC 23), 296 str., 17,5 × 24,5 cm, trda vezava, ISBN 961-6182-88-9.

Duška Kneževič Hočevar, **DRUŽBENA RAZMEJEVANJA V DOLINI ZGORNJE KOLPE**
Domačinska zamišljanja nacije in lokalitete
1999, (ZRC 24), 233 str., 17 × 24 cm, broširana, ISBN 961-6182-95-1.

Breda Čebulj-Sajko, **RAZPOTJA IZSELJENCEV**
Razdvojena identiteta avstralskih Slovencev
2000, (ZRC 25), 140 str., 17 × 24 cm, broširana, ISBN 961-6358-06-5.

Ernest Ženka, **PROSTOR IN UMETNOST**
Prostor med filozofijo, likovno umetnostjo in znanostjo v delih Leonarda, Moholyja-Nagyja in Warhola
2000, (ZRC 26), 174 str., 17 × 24 cm, broširana, ISBN 961-6358-1 6-2.

Andrej Mihevc, **SPELEOGENEZA DIVAŠKEGA KRASA**
2001, (ZRC 27), 180 str., 17 × 24 cm, broširan a, ISBN 961-6358-24-3.



P.P. 306, GOSPOSKA 13, 1001 LJUBLJANA
TELEFON: 01 470 64 65, FAX: 01 425 77 94
E-NASLOV: ZALOŽBA@ZRC-SAZU.SI
SPLETNA STRAN: [HTTP://WWW.ZRC-SAZU.SI/ZALOZBA](http://www.zrc-sazu.si/zalozba)

Založba ZRC

Dela s področja krasoslovja:

Franci Gabrovšek

The Evolution of Early Karst Aquifers: From simple principles to complex models, (2000)

Martin Knez

Vpliv lezik na razvoj kraških jam, (1996)

Andrej Kranjc (ur.)

Kras. Pokrajina – življenje – ljudje, (1999)

Andrej Kranjc (ur.)

Slovene Classical Karst – "Kras", (1997)

Maja Kranjc

Škocjanske jame – A Contribution to Bibliography, (1996)

Trevor R. Shaw

Foreign Travellers in the Slovene Karst 1537–1900, (2000)

Tadej Slabe

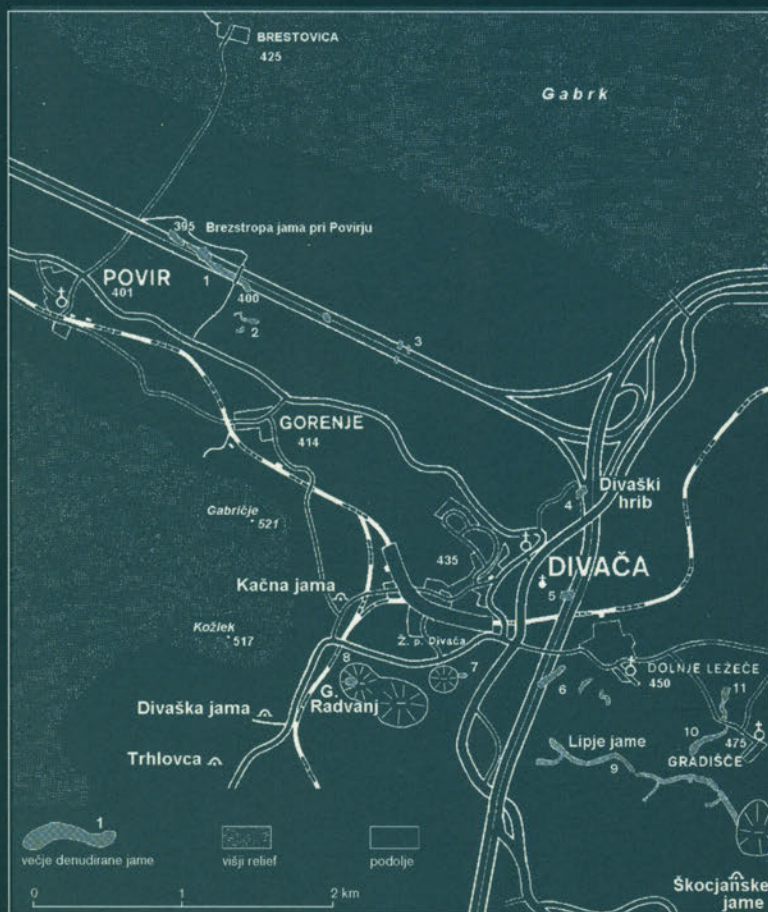
Cave Rocky Relief and its Speleogenetical Significance, (1996)

Stanka Šebela

Tektonska zgradba sistema Postojnskih jam/ Tectonic Structure of Postojnska jama Cave System, (1998)

Več avtorjev

South China Karst I, (1998)



ISBN 961-6358-24-3



9 789616 358248