

**Jamske skalne oblike,
sled razvoja slovenskih
kraških jam**

Tadej Slabe

C A R S O L O G I C A



Carsologica e2

Urednik zbirke **Franci Gabrovšek**

Avtor **Tadej Slabe**
JAMSKE SKALNE OBLIKE, SLED RAZVOJA SLOVENSКИH KRAŠKIH JAM

Recenzenta **Ivan Gams, Peter Habič**

Jezikovni pregled **Barbara Suša, Alenka Možina**

Tehnični urednik **Iztok Sajko**

Priprava besedila **Leon Drame**

Izdajatelj **Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU**

Zanj **Tadej Slabe**

Založnik **Založba ZRC**

Za založnika **Oto Luthar**

Glavni Urednik **Aleš Pogačnik**

Internetna objava – pdf

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

911.2:551.442(497.4)(0.034.2)
551.442(497.4)(0.034.2)

SLABE, Tadej
Jamske skalne oblike, sled razvoja slovenskih kraških jam
[Elektronski vir] / Tadej Slabe ; [risane priloge Leon Drame]. –
El. knjiga. - Ljubljana : Založba ZRC, 2014. - (Carsologica ; e2)

ISBN 978-961-254-679-3 (pdf)

Način dostopa (URL): <http://zalozba.zrc-sazu.si/p/1151>
Tadej Slabe
272496896
<https://doi.org/10.3986/9789612546793>



©2014, Založba ZRC SAZU, ZRC SAZU

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.

Carsologica e2

Tadej Slabe

**Jamske skalne oblike,
sled razvoja slovenskih
kraških jam**

Ljubljana – Postojna 2014

Vsebina

1. UVOD.....	9
1.1 Viri o skalnih oblikah.....	9
1.2 Klasifikacija skalnih oblik.....	10
1.3 Poimenovanje skalnih oblik.....	12
1.4 Izbor jam.....	13
1.5 Zbiranje in proučevanje gradiva o skalnem reliefu.....	15
2. NASTANEK IN RAZVOJ SKALNEGA RELIEFA.....	17
2.1 Skalni relief, ki ga oblikuje vrtničast vodni tok.....	17
2.1.1 Hidravlične osnove.....	17
2.1.2 Procesi na kamnini.....	18
2.1.3 Skalne oblike, ki jih vrezujejo vodni tokovi.....	19
2.1.3.1 Fasete in rebra.....	19
Oblika, velikost in mreža faset.....	20
Velike fasete.....	25
Rebra.....	26
Vpliv kamnine na razvoj faset.....	26
Površina faset.....	30
Laboratorijsko oblikovanje faset na mavcu.....	30
Nastanek in razvoj faset.....	32
Nastanek reber.....	34
Nekaj primerov značilnega oblikovanja faset.....	35
2.1.3.2 Stropne kotlice.....	36
Oblika, velikost in lega stropnih kotlic.....	37
Nastanek in razvoj stropnih kotlic.....	43
2.1.3.3 Draslje.....	45
Oblika, velikost in lega draselj.....	45
Nastanek in razvoj draselj.....	49
2.1.3.4 Erozijski žlebovi.....	50
2.1.3.5 Stebri, rogļji, noži, čeri in mostiči.....	51
2.1.3.6 Stenske niše.....	53
2.1.3.7 Stenske in stropne zajede.....	54
2.1.3.8 Talni žlebovi.....	55
2.1.4 Sklep o skalnem reliefu, ki ga vreže vodni tok.....	56
2.1.4.1 Skalna površina pod velikimi povečavami vrstičnega mikroskopa.....	57
2.1.4.2 Značilnosti rovdv, ki jih oblikuje vodni tok, glede na skalni relief in prečni prerez.....	60
2.2 Obnaplavinski skalni relief.....	62
2.2.1 Nadnaplavinske skalne oblike.....	62
2.2.1.1 Stropni in stenski žlebovi ter anastomozne mreže.....	62
Oblika nadnaplavinskih stropnih žlebovdv in anastomoz.....	62
Poskusi ustvarjanja nadnaplavinskih žlebovdv na mavcu.....	66
Nastanek in razvoj nadnaplavinskih žlebovdv ter anastomoz.....	68
2.2.1.2 Vdolbinice in kotlice.....	70
2.2.2 Podnaplavinske skalne oblike.....	71
2.2.2.1 Podnaplavinski žlebiči, katerih nastanek sem skušal razložiti s poskusom na mavcu..	71
2.2.2.2 Podnaplavinske vdolbinice.....	73
2.2.2.3 Kotlice, ki nastanejo zaradi prenikanja vode.....	75
2.2.2.4 Stropne konice.....	76
2.2.2.5 Stenske zajede in niše.....	77

2.2.3	Površina obnaplavinskih skalnih oblik.....	77
2.3	Skalni relief, ki nastane zaradi polzenja in kapljanja vode	78
2.3.1	Laboratorijski poskusi oblikovanja vdolbinic na mavcu, ki nastanejo zaradi polzenja vode iz stropne razpoke.....	81
2.3.2	Talne vdolbinice, ki nastanejo zaradi kapljanja vode.....	83
2.4	Podledni skalni relief	83
2.5	Oblikovanje skalnega reliefa zaradi kondenzne korozije	84
2.6	Biogeni skalni relief.....	87
2.7	Skalni relief, ki ga oblikuje razpadanje kamnine.....	88
2.8	Preplet dejavnikov in procesov, ki odločajo o oblikovanju skalnega reliefa	89
3.	SKALNI RELIEF IZBRANIH JAM IN NJEGOV SPELEOGENETSKI POMEN V KRAŠKIH PREDELIH SLOVENIJE	90
3.1	Skalni relief in njegov speleogenetski pomen v izbranih jamah Tržaškega in Istrskega krasa	90
3.1.1	Skalni relief in njegov pomen pri proučevanju razvoja izbranih jam na Krasu.....	90
3.1.2	Skalni relief in njegov speleogenetski pomen v izbranih jamah slovenskega Istrskega krasa	90
3.2	Speleogenetski pomen skalnega reliefa v izbranih jamah na robu Pivške kotline in v Notranjskem podolju.....	96
3.2.1	Skalni relief in njegov pomen pri proučevanju izbranih jam na robu Pivške kotline	96
3.2.2	Speleogenetski pomen skalnega reliefa izbranih jam Notranjskega podolja	101
3.3	Pomen skalnega reliefa pri proučevanju izbranih dolenskih jam.....	104
3.3.1	Speleogenetski pomen skalnega reliefa v izbranih ponornih in izvirnih jamah na robu Ribniške Male gore	104
3.3.2	Speleogenetski pomen skalnega reliefa v Brlogu na Rimskem in v Jami v Peklu – jamah v južnem Ribniško-kočevskem podolju.....	105
3.4	Pomen skalnega reliefa pri proučevanju razvoja izbranih jam na Nanosu, Trnovskem gozdu in Banjski planoti ter v Logaških Rovtah.....	106
3.5	Skalni relief izvirne Male Boke in stare Zadlaške jame – jam na robu alpskega krasa	109
3.6	Razvoj izbranih votlin.....	109
3.7	Skalni relief kot speleogenetska sled.....	110
4.	SKLEP	111
5.	SEZNAM SLIKOVNIH PRILOG.....	113
6.	SEZNAM LITERATURE.....	117

Predgovor

Skalne oblike in njihova povezanost v skalni relief so v večletnem proučevanju kraškega površja in jam postale povedna sled načina oblikovanja in razvoja kraških pojavov.

V knjigi so celostno zbrani izsledki o skalnih oblikah izbranih slovenskih kraških jam. Veliko nam povedo o njihovem nastanku in oblikovanju ter razvoju našega krasa.

Zbrani so tudi predlogi za poimenovanje številnih skalnih oblik v slovenščini in veliko je novih. Predstavljeni so pregledno, po dejavnikih, ki oblikujejo skalne oblike in se izkazujejo za dobre, saj omogočajo nadgradnjo ob novih odkritjih in spoznanjih na krasu, ki se razvija v različnih razmerah doma in po svetu.

Avtor

1. UVOD

Skalni relief je oblika oboda kraške votline, skalne oblike pa so deli, ki ga sestavljajo. Skalni relief je odsev prevladujočih sedanjih ali nekdanjih dejavnikov in procesov izvotljevanja kraškega podzemlja v različnih hidroloških pogojih. Iz prečnega prereza rovov in skalnega reliefa na njem lahko pogosto razberemo zaporedje razvojnih obdobij oblikovanja votline.

Iz dosedanjih proučevanj (T. Slabe, 1989, MN; 1989, 1990) sem sklepal, da je skalni relief lahko pomembna speleogenetska sled. Cilj študije sta zato postavitev temeljev proučevanja skalnega reliefa in celovitejše ovrednotenje njegove uporabnosti v speleomorfoloških in speleogenetskih proučevanjih. To sem skušal doseči na dva načina. Najprej sem opredelil metodološke osnove proučevanja nastanka in razvoja skalnih oblik ter njihove povezanosti v skalni relief. Hkrati pa sem skušal opredeliti speleogenetski pomen skalnega reliefa v posameznih predelih našega krasa. V študiji se torej prepletata dva pristopa. Prvi je opredeljevanje notranjih odnosov dejavnikov in procesov, ki oblikujejo skalni relief rovov, in drugi je regionalni.

Cilju sem prilagodil tudi izbor jam (1.4.), saj sem skušal zajeti čimširši spekter skalnega reliefa. Hkrati sem želel izbrati večino tipov jam, ki so značilni za posamezne predele slovenskega krasa.

Zbiranje gradiva o skalnem reliefu in njegovo proučevanje (1.5.) je sestavljeno iz terenskega dela, študija literature, poskusnega ustvarjanja skalnih oblik na mavcu in kvantitativnih analiz njihovih oblikovnih značilnosti.

V uvodnih delih študije sem opredelil skalni relief in skalne oblike, jih poimenoval glede na njihove oblikovne značilnosti in klasifikacijo, strnil sem dognanja iz literature in predstavil jame, v katerih sem proučeval skalni relief. V nadaljevanju sem podal ugotovitve iz proučevanja nastanka in razvoja skalnih oblik. Predstavljeni so tudi tipi rovov glede na skalni relief in prečni prerez. V drugem delu sem predstavil skalni relief izbranih jam v različnih predelih našega krasa in skušal opredeliti njegov speleogenetski pomen. V sklepnem delu je ovrednoten pomen proučevanja skalnega reliefa v speleologiji.

Pričujoče delo je nadaljevanje začetnih študij, ki sem jih strnil v magistrski nalogi, ko sem se te tematike lotil le na vzorcu štirih jam, in objav v Krasoslovnem

zborniku (1.1.). Širši izbor jam in poglobitev v problematiko omogočata uspešnejši doseg ciljev.

Mentorjema dr. I. Gamsu in dr. P. Habiču ter sodelavcem na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU se zahvaljujem za pomoč pri delu. V jamah me je spremljal S. Morel. Pri laboratorijskih poskusih na mavcu mi je pomagal J. Hajna, pri proučevanju zbruskov kamnine pa M. Knez. V. Segala (Oddelek za geologijo, Montanistika) je z elektronskim vrstičnim mikroskopom fotografiral površino skalnih oblik. Priloge je narisal L. Drame, laboratorijske analize voda in naplavin je prispevala M. Zadel. Nalogo je oblikovala M. Kranjc.

1.1 Viri o skalnih oblikah

V strokovni literaturi se omenjajo le posamezne skalne oblike, ni pa poskusov strnjene proučevanja skalnega reliefa kot speleogenetske sledi.

Skalne oblike je kot sled jamskega razvoja prvi tolmačil J. H. Bretz (1956). Že v delu iz leta 1942 je skalne oblike, ki nastanejo z raztapljanjem kamnine, razdelil na freatične in vadozne. Zajel je večje skalne oblike, fasete so v besedilu le omenjene (1956, 83). V jamah Misourija je po skalnih oblikah ugotavljal prehod votlin iz freatične v vadozno hidrološko cono. Prehod je razlagal predvsem z erozijskim poglobljanjem dolin.

Sledilo je več raziskav (Ph. Renault, 1958, 1968; J. N. Jennings, 1971, 151–164; B. Gèze, 1973; A. Bøegli, 1978, 161–168; R. Maire, 1980; S. Trudgill, 1985, 75; Lu Yaoru, 1986; W. B. White, 1988; D. Ford in P. Williams, 1989), ki so skušale predstaviti širok spekter skalnih oblik. Poznavanje nastanka posameznih skalnih oblik so dopolnile študije (J. Viehman, 1959; J. Rudnicki, 1960; R. L. Curl, 1966; R. O. Ewers, 1966; J. R. L. Allen, 1972; Y. Quinif, 1973; W. H. Franke, 1975; A. Binni in G. Cappa, 1978; S. E. Lauritzen, 1981; A. A. Cigna in F. Forti, 1986; B. Lismonde in A. Lagmani, 1987), ki so poglobile znanje o oblikovanju kraških votlin. S poskusi na mavcu so J. Rudnicki (1960), R. L. Curl (1966) in J. R. L. Allen (1972) proučevali fasete, Y. Quinif (1973) možnost nastanka stropnih kotlic zaradi korozivne mešanice voda in S. E. Lauritzen (1981) oblikovanje nadnaplavinskih anastomoz. Omenjena dotedanja dela sem nekoliko širše predstavil v uvo-

dnem delu magistrske naloge (T. Slabe, 1989, MN, 5), ovrednotil jih bom tudi v pričujočem delu.

Tudi v naših speleoloških ali speleogenetskih študijah so pogosto omenjene skalne oblike, ni pa celovitejših predstavitev in razlag skalnega reliefa. Razjede, ki jih oblikuje kondenzna korozija v Križni jami, je predstavil F. Hochstetter (1881, 13). Fasete, ki jih v stene iste jame vrezuje vodni tok, omenjata R. Badjura (1909, 31) in I. Michler (1934, 99). Fasete sta poimenovala za vdolbinice, podobne školjkam. S. Brodar (1948/49, 98) omenja kotlice v Betalovem spodmolu, dve leti kasneje (S. Brodar, 1952, 479) pa erozijske žlebove, ki mu pomenijo sled nivoja vodnega toka v Postojnski jami. I. Gams (1959, 7) je s fotografijo predstavil jamice v apnenčevi skali in rovu z erozijskim prečnim profilom. I. Gams in P. Habič (1961, 58) sta opisala vodoravne žlebiče kot sledi tekoče vode. I. Gams (1962/63) je opisal nastanek korozijskih kotlic zaradi polzenja vode po stropu. V študiji o Logarčku (1963) je predstavil korozijske žlebove, ki nastanejo zaradi pretakanja vode (42), kondenzne razjede (46), jamice na stropu in stenah (51), fasete (51) in korozijske kotlice z gladkimi stenami, ki jih oblikuje po stropu polzeča voda (69). I. Gams (1964, 13) razlaga, da so kotlice na stropu Logaške jame nastale s selektivno korozijo, kotlice v Železni jami pa nad naplavino (I. Gams, 1972, 29). Pregled skalnih oblik je strnil leta 1974 v delu Kras (101, 102, 160), kjer je predstavil fasete, erozijske kotlice in žlebaste škraplje. Skalne oblike so omenjene tudi v jamarskem priročniku. F. Habe in F. Hribar (1965, 42) sta opisala erozijske stropne kotlice v Gabrancu. F. Habe (1970, 26, 33) razlaga razvoj Predjame tudi z erozijskimi kotlicami in fasetami, razvoj Beloglavke pas stopničastimi erozijskimi poličkami in erozijskimi kotlicami (F. Habe, 1976, 197, 200). P. Habič in P. Krivic (1972, 105) sta razložila nastanek draslje (Trobeta) v Pološki jami. Prvi sistematični pregled skalnih oblik je predstavljen v Slovenski kraški terminologiji (1973). R. Gospodarič je pri proučevanju speleogenetskega pomena naplavin v Križni jami (1974, 332, 333, 348) skalne oblike poimenoval mikrooblike, opisal pa je oblike, ki so nastale ob stikih apnenca in dolomita, ter s fotografijo predstavil fasetirano čer. Leta 1985 je R. Gospodarič (1985, 22) opisal fasetirane erozijske zajede v Trhlovci in, korozijske luknje, ki so nastale zaradi kapljanja vode v Divaški jami (1985, 14). F. Šušteršič (1982, 144) je opozoril na ostre izjedene v paragenetskih rovih Najdene jame. Oblike, ki so produkt odnašanja kamnine, je imenoval speleogene (F. Šušteršič, 1985). A. Kranjc (1981, 74) je opisal oblikovanost rogov v jamah v Ribniški Mali gori. S podobo jamskih sten si je pomagal razlagati razvoj jam, v katerih je proučeval recentne fluvialne naplavine (1989). A. Kranjc (1983) in P. Habič (1985) opišeta

razpadanje skalnega oboda in sige pod vplivom mikroklimatskih dejavnikov v Predjami in Dimnicah. A. Mihevc (1989, 187, 188) je opisal skalne oblike v Mejavi in Brlogu na Rinskem. Sam sem poskušal razložiti nastanek nadnaplavin anastomoz v Dimnicah (T. Slabe, 1987) in pomen kondenzirane vlage pri oblikovanju oboda Komarjevega rova v Dimnicah (1988) ter opredeliti speleogenetski pomen skalnega reliefa v Križni jami (T. Slabe, 1989), v Škocjanskih jamah (P. Habič idr., 1989, 30), Volčji jami na Nanosu in vcr Ledenici na Dolu (T. Slabe, 1990).

1.2 Klasifikacija skalnih oblik

Skalne oblike, ki sestavljajo skalni relief, so rezultat medsebojnega razmerja sestavin kamnine, pretrtosti in skladoviti ter procesov, ki delujejo na površino kamnine. Te delim na raztapljanje, mehansko brušenje kamnine in razpadanje. Dejavniki omogočajo delovanje procesov ter odnašajo njihove produkte. Dejavniki (tabela 1), ki jih lahko delimo na tokovne, ploskovne in točkovne, odločajo torej o nastanku in oblikovanju posameznih oblik. Prvi nam predstavljajo vrtinčenje vodnega toka, pretakanje manjših količin vode po skalnem dnu ali pa nad drobnozrnato naplavino, polzenje vode in vrtinčenje zračnega toka, ki obliva kamnino. Za enakomerne ploskovne dejavnike, kot so stoječa voda in vlaga na stiku z drobnozrnato naplavino, je značilno predvsem difuzijsko odnašanje produktov raztapljanja kamnine. Pri točkovnih dejavnikih pa skalne oblike nastanejo zaradi padca vodnega toka, polzenja vode iz razpoke v stropu in kapljanja.

Oblikovanost votlin je predvsem posledica hidroloških pogojev. Ti se seveda značilno odražajo v različni kamninski osnovi. V **freatičnih conah** (Slovenska kraška terminologija, 7; I. Gams, 1974, 34; an: phreatic conditions, J. H. Bretz, 1956, 15; D. Ford, 1988, 34; D. Ford in P. Williams, 1989, 263, izdvajata še jame v globlje zaliti coni: bathiphreatic caves; fr.: zone noyee, R. Maire, 1980) se trajno zalite votline oblikujejo s tlačnim, počasnejšim pretakanjem vode. Votline so sestavljene iz vodoravno ali navpično povezanih rogov. V **epifreatični coni** (iztočna cona, I. Gams, 1974, 34; v angleščini tudi shallow phreatic zone, A. N. Palmer, 1982, 178; D. Ford, P. Williams, 1989, 263; fr.: zone epinovee) so deli votline občasno zaliti, ostali pa so lahko sifonski. Skozi takšne rove se pretakajo že hitrejši vodni tokovi, ki v sušnih obdobjih prekrijejo le dna strug. Votline v **vadozni coni** (aeracijska cona, Slovenska kraška terminologija, 1973, 6; I. Gams, 1974, 33; an.: vadose zone, J. H. Bretz, 1956, 17; D. Ford, P. Williams,

1989, 267; fr.: zone vadose, R. Maire 1980, 28) pogosto oblikujejo hitri vodni tokovi s prosto gladino (free surface ca ve stream, J. H. Bretz, 1956, 15), ali pa polzeča voda. Votline v vadozni coni so izpostavljene tudi koroziji zaradi kondenzne vlage, biogeni koroziji in zmrzovanju vlage, ki pospešuje razpadanje kamnine. Hidrološke cone so največkrat posledica položaja kamnitega bloka glede na okoliške neprepustne kamnine, doline ali podolja. Ti pogojujejo osnovno gladino podzemne vode (P. Habič, 1982, 13, 14). Le ta je, predvsem zaradi prelomljenosti kamninske osnove, lokalno različna. Z nižanjem vodne gladine so namreč pogosto ostale stare, vodoravne jame, ki so bile nekoč zalite, suhe, ali pa jih zlasti v gorskem krasu preoblikujejo razpršeni curki prenikajoče vode.

Skalne oblike nastanejo pri izvotljevanju singenet-skih rogov, v paragenetskih rovih (Ph. Renault, 1968, 580; R. Maire, 1980, 29: galleries paragenetiques) pa so sledi preoblikovanja skalnega oboda zaradi pretakanja vode nad drobnozrnato naplavino, ki zapolnjuje votlino.

Korozija je proces raztapljanja kamnine, **erozija** pa njeno mehanično brušenje z materialom, ki ga prenaša vodni tok, ali pa trganje izpostavljenih delcev s kamnine zaradi viskozne mase vode. Ob vrtincih, še zlasti manjših v hitrejšem vodnem toku, se stanjšata

laminarna in difuzijska plast vode. Poveča se lokalna stopnja raztapljanja kamnine, seveda, če temu sledi proces na kamnini. Kamnina pa se hkrati približa neposrednemu erozijskemu delovanju vodne mase. V tabeli je erozija omenjena le v nekaj primerih. Njen vpliv na oblikovanje skalnega reliefa pa je pogosto izrazit, kar se najlepše kaže tudi v večjih podzemnih strugah (Škocjanske jame).

Večkrat sledimo prepletanju oblikovanja različnih skalnih oblik. V fasetah se odlaga drobnozrnata naplavina ali pa se na njihovem dnu vrtinci pesek. Iz širokih stropnih kotlic, ki imajo navznoter nagnjene stene, vodijo podnaplavinski žlebiči. Torej na skalnem reliefu se odražajo različni pogoji današnjega ali nekdanjega oblikovanja delov votline, ki se prepletajo v različnih deležih.

Največja skalna oblika je manjša od plašča votline. Doseže pa lahko metrske velikosti. Najmanjša skalna oblika je velika samo nekaj milimetrov. Posamezni sestavni deli kamnine, bodisi da gre za velike fosile bodisi za sparitne kristale, so lahko večji od najmanjših skalnih oblik. Obliko določa predvsem način sklenjenega odnašanja karbonatne kamnine. Površina skalnih oblik je gladka ali pa hrapava, kar je posledica sestave kamnine in učinkovitosti procesa, ki deluje nanjo.

Tabela 1: Skalne oblike, dejavniki ki povzročajo njihov nastanek, pogoji v katerih nastanejo in procesi ki jih oblikujejo.

SKALNE OBLIKE	NAČIN OBLIVANJA SKALE (ODNAŠANJE PRODUKTOV PROCESOV)	DEJAVNIKI	POGOJI NASTANKA SKALNIH OBLIK (hidrološke cone)	PROCES NA KAMNINI	
velike fasete, stropna kotlica, fasete, stropna kotlica, stenska zajeda fasete, draslja, erozijski žleb, str. žlebiči	L I N I J S K I v r t i n c e n j e	vodni tok	freatična epifreatična vadozna	korozija korozija, erozija korozija, erozija	
kondenzne fasete, str. kotlice, žleb		zračni tok	vadozna	korozija	
žlebič, vdolbinica, stropna kotlica podnaplavinski žlebič, vdolbinica		poljenje vode vadozna iz naplavine			korozija, erozija erozija
stropni žleb, anastomoze talni žleb		pretakanje manjše količine vode	nad naplavino epifreatična po skalnih tleh vadozna		korozija korozija
vdolbinica, kotlica, gladka skala vdolbinica, kotlica vdolbinica, stenska zajeda	P L O S K O V N I	stoječa voda	freatična epifreatična vadozna	korozija korozija korozija	
podnaplavinska vdolbinica, kotlica		naplavina	epifreatična	korozija	
podledna zajeda, vdolbinica		ledene obloge vadozna			korozija
biogene razjede		lišaji	vadozna		korozija
talna vdolbinica	T O Č K O V N I	kapljanje	vadozna	korozija, erozija	
stropna kotlica		prenikanje iz razpoke	vadozna	korozija	
draslja		padajoči vodni tok	vadozna		erozija

Za večino skalnih oblik so značilni polkrožno vdolbleni prerezi, prečni in vzdolžni, kakor je značilno za kotlice in vdolbinice, ali pa le prečni, kakršni so značilni za žlebove. Bolj je kamnina homogena in nerazpokana, pravilnejši oblik so. Skalne oblike so torej zajedene pod nivo osnovne, skalne površine. Od te značilnosti odstopajo štrline, ki so največkrat presledki med osnovnimi oblikami. Štrline so torej drugotnega porekla, so pa lahko prevladujoče. Na gosto razpokani kamnini, kjer značilne sledi (fasete, kotlice) vodnega toka zaradi kaotičnosti vrtinčenja ne morejo nastati, so štrline (noži) edine skalne oblike. Odlomi, ki jih pogojujeta predvsem pretrtost in skladovitost kamnine, pa imajo zaradi omejene plastičnosti kamnine večinoma ravne ploskovne meje.

Po temeljnih oblikovnih značilnostih, ki so posledica različnih dejavnikov oblikovanja rovov, skalne oblike lahko razdelimo v štiri skupine.

1. **Žleb** je odprta cevasta oblika, katere odprtina je v prečnem prerezu večja ali manjša od polovice njegovega prereza. Prvi so globoki žlebovi in drugi plitki. Manjši žleb imenujem žlebič. Zaprta cev je na skalnem obodu vidna le v prečnem prerezu. Žlebovi so polkrožnih prečnih prerezov, ko se oblikujejo v zaliti coni. Takšni so nadnaplavinski. Poudarjeni prečni prerezi v obliki črke V so odraz gravitacijskega poglobljanja žlebov z manjšo količino vodnega toka ali polzeče vode. Nadnaplavinski žlebovi so značilnost stropov in stenskih podvisov, podnaplavinski žlebiči pa spodnjih delov sten in skalnega dna rovov.
2. **Kotlice in vdobinice** so večje in manjše polkroglaste vdolbine. Premer kotlic meri od 0,1 m pa preko 1 m, vdolbinic pa do 0,1 m. Po načinu oblikovanja ter zaradi sestave in razpokanosti kamnine kotlice odstopajo od pravilnih polkrogel. Hitrejši vrtinčasti vodni tok vreže podolgovate fasete. Fasete so lahko razprostranjene po vsem skalnem obodu. Kotlice, ki jih vreže vodni tok, so večinoma na razčlenjenih stropih. Ob gosti mreži razpok so stropne kotlice lahko sestavljene in ob izraziti razpoki valjasto ali stožčasto poglobljene. Draslje so na skalnih tleh, prav tako podnaplavinske vdolbinice. Dolgotrajno oblikovanje podnaplavinskih vdolbinic povzroči, da se nad dnem razširijo. Zaradi kondenzne korozije nastanejo široke in plitke kotlice.
3. **Štrline** so deli kamnine, ki štrlijo iz skalnega oboda. Njihovo obliko in položaj, da gre za nože, čeri bodisi za roglje, določajo predvsem sestava in pretrtost kamnine ter značaj vodnega toka, ki jo obliva. Manjše konice oblikuje voda, ki polzi po stropih.

4. **Odlomi** so večji, odkruški pa manjši deli skalnega oboda. Oboji so posledica razpadanja kamnine. So oglati in omejeni z ravnimi ali le malo povitimi ploskvami. Nastanejo, ko se odlomijo posamezni kosi kamnine ali pa je razpadanje strnjeno in prevladuje pri oblikovanju skalnega oboda.

1.3 Poimenovanje skalnih oblik

Skalne oblike sem pri proučevanju njihovega nastanka in razvoja razdelil v skupine po dejavnikih, ki povzročajo oblikovalne procese. Dejavniki so, poleg osnovne podobe skalnih oblik, temelj za njihovo poimenovanje (npr. nadnaplavinski žleb). V pomoč je tudi značilna lega skalne oblike na obodu (npr. nadnaplavinski stropni žleb). Redko sem imenom dodal še pridevnik, ki ponaarja proces njihovega oblikovanja (npr. erozijski žlebovi). Uporabil sem imena, ki so že uveljavljena: stropne kotlice, draslje, fasete (T. Slabe, 1989, MN, 174), večino oblik pa sem poimenoval sam. Poimenovanje skalnih oblik bo treba še izpopolniti.

1. Skalne oblike, ki jih vreže vrtinčast vodni tok.

Fasete: korozijske vdolbinice, ki so plitkejše na odtočni strani (Slovenska kraška terminologija, 1973, 6; angl.: scallops (R. L. Curl, 1966; J. R. L. Allen, 1972); nem.: Fließfacette; fr: vague d'érosion (R. de Joly (1933) navaja R. Maire, 1980, 31; Ph. Renault, 1968)).

Rebra: žlebiči, ki so zaporedno povezani v mrežo (angl.: flutes R. L. Curl, 1966).

Stropna kotlica: korozijske kotlice imenujem stropne, ker so na stropu ali na zgornjih delih sten, torej po obliki in položaju (fr.: coupole a la voute (Ph. Renault, 1968, 29; Y. Quinif, 1973; R. Maire, 1980, 35); marmite inverse, marmite de pression (B. Gèze, 1973, 9); angl.: ceiling pocket, solution pocket (J. H. Bretz, 1942; A. Bögli, 1971; D. Ford, 1988, 43); it.: cupole (A. Binni, G. Cappa 1978)).

Draslja je erozijska kotlica (fr.: marmite de geant (Ph. Renault, 1958, 30, 31; J. Viehman, 1959; J. Corbel, 1962; B. Gèze, 1973, 9; R. Maire, 1980, 35; B. Lismonde 1987), an. pothole (J. H. Bretz (1942)).

Erozijski žleb: žleb v skalni strugi.

Nož (skalni nož, Slovenska kraška terminologija, 1973, 26.)

Rogelj, steber (angl.: pillar (A. Lange, 1959, 81)),

mostič, čer so skalne štrline.

Stenska niša nastane zaradi zajedanja vodnega toka ob razpokah, ali vijuganja ob naplavini (angl.: meander niche (J. H. Bretz, 1956, 18)).

Stenska ali stropna zajeda kaže na nivo vodnega toka. (an.: water level horizon (A. L. Lange, 1963, 41)) ali združevanje rogov.

Talni žleb: žleb, po katerem se pretaka majhna količina vode.

2. Skalne oblike, ki so nastale ob stiku z drobnozrnato naplavino, imenujem obnaplavinske. Tiste, ki so nastale s pretakanjem vode nad naplavino v zalitih coni, imenujem nadnaplavinske.

Stropni žleb (angl.: ceiling channel (J. H. Bretz, 1956, 22)).

Anastomoze: mreža stropnih žlebov (T. Slabe, 1988, 169, 170; Ph. Renault, 1968, 569; B.Gèze, 1973, 9).

Stropne širine: štrline med žlebovi (angl.: pendants (J. H. Bretz, 1956; Ph. Renault, 1968, 570)).

Podnaplavinske oblike so nastale zaradi izcejanja vode iz drobnozrnate naplavine ali korozije pod njo. To sta: **žlebič, vdolbinica**

3. Skalne oblike, ki nastajajo zaradi polzenja vode po obodu brezen in rogov, poimenujem predvsem na podlagi njihove oblike.

Žlebič nastane zaradi polzenja vode po navpični ali položni steni (angl.: lapies (J. H. Bretz, 1956, 22)).

Vdolbinica nastane zaradi polzenja vode po previsni steni.

Stropna konica nastane zaradi polzenja vode po stropu.

Kotlica nastane zaradi polzenja vode iz stropne razpoke.

Talna vdolbinica nastane zaradi kapljanja vode.

4. Tudi zračni tokovi zaradi kondenzacije vlage iz njih povzročijo nastanek značilnih skalnih oblik:

- **faseta,**
- **kotlica,**
- **žleb.**

Te oblike, zaenkrat še opisno s pridevnikom kondenzen, ločim od drugih podobnih.

5. Pod ledom nastajajo podledne skalne oblike:
- **podledna stenska zajeda.**

6. - **Biogena razjeda** nastane pod lišaji, iztrebki netopirjev.

7. Zaradi razpadanja kamnine nastaneta
- **odlom,** ki je blokovni (nastal ob razpokah) ali skladovni (nastal ob lezikah);
- **odkrušek,** ki nastane ob razpadu kamnine v delce.

1.4 Izbor jam

Za vrednotenje skalnega reliefa kot kazalca pogojev in procesov oblikovanja rogov sem izbral različne tipe jam v značilnih kraških območjih. Posebna težava je dostopnost, zlasti v rogovih, ki se oblijujejo pod vodno gladino. Zato sem takšne pogoje razbiral večinoma iz starih oblik, ki pa so pogosto preoblikovane z mlajšimi procesi.

Pri izboru jam za vrednotenje in proučevanje skalnega reliefa kot speleogenetske sledi je v ospredju njihova regionalna povezanost. Izkazali sta se možnost in potreba povezovanja jam v regionalne razvojne enote. Te so posledica navpičnega členjenja kraškega reliefa in razvoja iz sprva pretočnih v enostavno odtočna visoka območja in v nižinske pretočne predele (P. Habič, 1982, 10).

Različna kraška območja, ki so večinoma apnenčaste (35% slovenskega ozemlja) ali dolomitne (8% površine Slovenije) sestave, se razlikujejo po nadmorski višini, relativni višini do nekraškega obrobja, geološki sestavi in tektonski pretrtosti, po oblikovanosti površja in njegovi poraslosti, predvsem pa po načinu pretakanja vode skozi in ponekod tudi čeznje. Ločimo jih tudi po speleogenetskih značilnostih, ki se kažejo tako v vodnih jamah, starih in suhih ali poligenetskih jamah. Med kamninskimi enotami dinarskega krasa (P. Habič, 1991), ki so večinoma razpotegnjene v dinarski smeri, so podolja s kraškimi polji, kotlinami in dolinami. Obsežnejši predeli alpskega in manjša območja osamljenega krasa pa potekajo v smeri V-Z. Stik z okoliškimi neprepustnimi kamninami, na katerih se oblikujejo strnjeni tokovi, omogoča v pretočnih kraških predelih nastanek večjih votlin. Razen flišnih Brkinov so neprepustne kamnine praviloma nižje od okoliških apnencev. Površinske vode se votlinam priključijo s prenikanjem. Slednji način pretakanja vode je prevladujoč v enostavno odtočnih, višjih kraških predelih.

V pretočnih kraških predelih sem izbral jame v Tržaškem in Istrskem krasu (sl. 1.1, tabela 2), nižjem Notranjskem krasu z obrobjem Pivške kotline in Notranjskega podolja, v Ribniški Mali gori in južnem dolenskem fluviokrasu. V enostavnih odtočnih kraških predelih pa sem združil nekaj jam z Alpskega in višjega Dinarskega krasa. Jame so oblikovane večinoma v paleogenskih, krednih, jurskih in triasnih apnencih, v triasnih in jurskih dolomitih (Turkova jama, Jama v Peklu), manj pa jih je v karbonatnih konglomeratih (Smoganica) ali breči (Bazinova jama pri Podlaških topolih). Znotraj večjih jam se lahko prepleta več naštetih kamnin, v katerih so tudi roženci ali drugi manj prepustni vložki (Predjama, Postojnska jama).

Tabela 2: Izbrane jame v kraških predelih, tip jame, lega, kamnina, v kateri so nastale, njihov skalni relief in velikost.

Ime jame	1	2	3	4	5a	5b	5c	6	7	8
PRETOČNI PREDELI										
1. Škocjanske jame	735	stalni ponor	Kras	A, K ₂ ²		*		425	5088	250
2. Divaška jama	741	stara, suha	Kras	"			*	430	672	89
3. Trhlovca	67	stara, suha	Kras	"			*	432	142	22
4. Vilenica	737	stara, suha	Kras	A, K ₂ ³			*	418	803	180
5. Lipiška jama	311	stara, suha	Kras	"			*	397	1194	230
6. Petnjak	952	stara, suha	Kras	"			*	515	285	102
7. Labodnica		pretočna	Kras	A			*	341	329	817
Istrski kras										
8. Kamenšča	2967	občasni ponor	Matarsko podolje	A, K ₂ ²			*	540	1023	147
9. Ponor v Odolini	1395	obč. p. s st. tokom	Matarsko podolje	" ₂ , P			*	470	331	117
10. Dimnice	736	pretočna	Matarsko podolje	"			*	567	6020	134
11. Ponikve v Jezerini	5484	občasni ponor	Matarsko podolje	A, K ₂ ²				491	862	63
12. Novokrajška jama	810	občasni ponor	Kastavski kras	"		*		500	822	113
13. Grgorečeva pečina	5307	stara, suha	Matarsko podolje	A, K _{1,2}			*	502	76	11
14. Golobja jama	3754	stara, suha	Podgorski kras	A, Pc			*	410	83	31
15. Beško Ocizeljska	1003	občasni ponor	Socerbska planota	"		*		350	2400	150
16. Osapska jama	1154	občasni izvir	Osapska dolina	A, Pc, E				120	1607	54
Pivška kotlina (rob)										
17. Predjama	734	ponor	Podgora	A, K ₂ ^z , DT			*	490	7571	143
18. Beloglavka	744	pretočna	Studenški kras	A, K ₂ ^z			*	560	344	58
19. Postojnske jame	747	ponor in pretoč.	Postojnski kras	A, K ₂ ^{2,3}			*	511	19555	115
20. Matijeva jama	270	estavela	Zgornja Pivka	"		*		547	50	36
21. Markov spodmol	878	občasni ponor	Slavenski ravnik	A, K, Pc			*	555	638	20
Slavenski ravnik										
22. Vodna jama v Lozi	911	pretočna	Notranjsko podolje	A, K ₂ ^{2,3}			*	560	1235	75
23. Križna jama	65	pretočna	rob Cerknikega jezera	A, J _{1,2}			*	629	8163	32
24. Suhadolica	280	občasni izvir	rob Cerknikega jezera	A, K _{1,2}				553	300	18
25. Mala Karlovica	171	občasni ponor	rob Cerknikega jezera	"		*		548	14553	20
26. Zelške jame	576	pretočna	Rakov Škocjan	"			*	524	3012	45
27. Planinska jama	748	izvir	rob Planinskega polja	" ₂ , D			*	453	6156	13
28. Ciganska jama	493	poligenetska	Črnovrška planota	A, K _{1,2}			*	681	277	91
29. Logaška jama	2490	stara, suha	Logaška planota	"			*	517	280	49
Dolenjski kras										
30. Tentera	533	ponor	Ribniška Mala gora	A, J _{1,2}			*	503	900	21
31. Griška jama	2341	ponor	Ribniška Mala gora	A, K ₁			*	512	600	44
32. Finkova jama (2)	3887	ponor	Ribniška Mala gora	A, J ₁			*	575	1980	65
33. Kompoljska jama	25	izvir	Ribniška Mala gora	"		*		425	113	10
34. Podpeška jama	17	izvir	Ribniška Mala gora	A, K _{1,2}			*	435	690	20
35. Brlog na Rimskem	4209	ponor	Zah. Dolenjsko podolje	A, J ₃ ^{1/2} , D			*	554	401	35
36. Jama v Peklu	2430	ponor	"	D, T ₃ ²⁺³			*	485	411	20
ODTOČNI PREDELI										
Višji dinarski kras										
37. Velika ledenica v Paradani	742	sistem brezen (poligenetska)	Trnovski gozd	A, D, J ₁₋₂			*	1100	1076	385
38. Volčja jama	743	poligenetska	Nanos	A, D, J ₃			*	1060	250	60
39. Ledenica na Dolu	751	"	Trnovski gozd	A, J _{1,2}			*	995	180	80
40. Bazinova jama	3486	občasni ponor	Banjšice	A, B, K ₂ ³			*	706	86	21
41. Veliki Hubelj	2880	občasni izvir	Vipavska dolina	A, D, J ₃ ^{1,2}			*	249	440	40
42. Babja jama	3903	"	Banjšice	A, K ₂ ³			*	130	370	23
43. Smoganica	823	izvir	Vzhodni dinarski kras	K, K ₂ ³			*	505	600	15
44. Turkova jama	41	pretočna	Logaške Rovte	D, T ₃			*	640	900	80
45. Pucov brezen	1777	ponor	Alpski kras	D, K _{1,2}			*	640	59	28
46. Mala Boka	3200	občasni izvir	Soška dolina	A, T ₃ ²⁺³			*	450	1355	90
47. Zadlaška jama	804	stara, suha	dolina Tolminke	B, K, D, T			*	298	1140	41
48. Čo meander	5706	sistem brezen	Kanin	A, K			*	213	193	148

Legenda:

1 – katastrska številka

2 – tip jame

3 – lega, pretočni predeli

4 – kamnina: A – apnec, D – dolomit,

K – konglomerat, B – breča

5 – skalni relief:

a – je skladen z današnjim oblikovanjem jame

b – je odsev današnjih dejavnikov oblikovanja

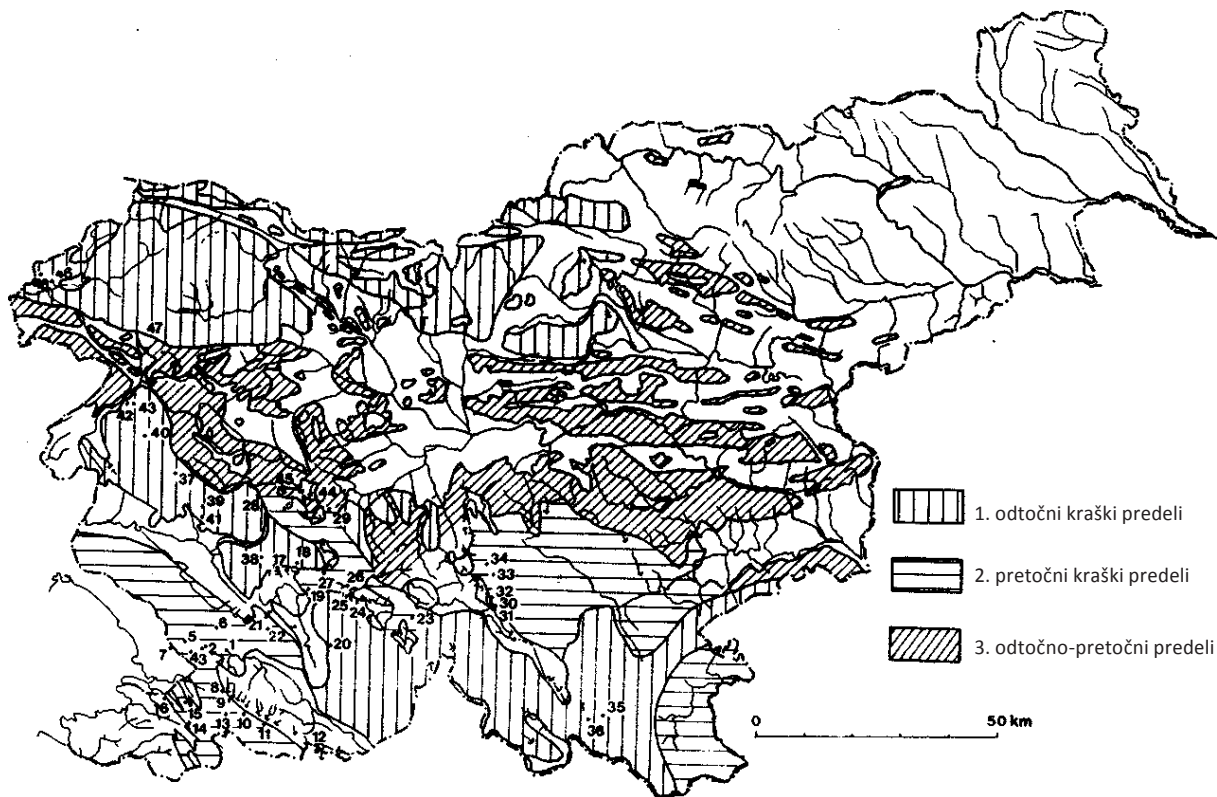
jame in hkrati sled nekdanjih

c – je sled nekdanjega oblikovanja jame

6 – nadmorska višina vhoda

7 – dolžina jame

8 – globina jame



1.1 Izbrane jame: 1–48 zaporedne številke jam. (Predloga: P. Habič, 1982).

1.5 Zbiranje in proučevanje gradiva o skalnem reliefu

Značilnosti izbranih jam sem opredelil glede na lego, obliko in velikost jame ter obliko in položaj rogov z nadmorsko višino. Pri podrobnejšem proučevanju skalnih oblik sem razbral njihove oblikovne značilnosti (odtisi: plastelin, Optosil plus), velikost in položaj na skalnem obodu rogov. Razpoznavanje temelji na izkušnjah ali pa skalne oblike najprej dokumentiramo in nato primerjamo s proučenim gradivom. Namreč, mnogokrat se, zlasti pri razbiranju starih oblik, pojavijo težave. Pri razpoznavanju starih faset in njihove povezanosti v mrežo si lahko pomagamo s fotografijo. Pri fotografiranju so lažje objektivno vzporedne s površino skale, ki jo z bliskavico osvetlimo pod ostrim kotom z različnih strani.

Skušal sem razpoznati tudi dejavnike, ki danes oblikujejo skalni relief. Skalne oblike sem tako razdelil na stare in na tiste, ki nastajajo danes. Določil sem časovno zaporedje njihovega nastanka.

Najbolj pomemben dejavnik oblikovanja skalnega reliefa je voda, bodisi v njeni najbolj učinkoviti obliki vodnem toku ali pa v vodnem filmu, ki polzi po jamskih stenah oziroma se izloča zaradi kondenzacije iz zraka. V aktivnih jamah sem določal hitrosti pretoka vodnega toka, njegovo trajanje in nasičenost. Meril sem količino kondenzirane vlage in skušal sem pojasniti vzroke za kondenzacijo. Skalni relief nastaja na različnih kamninah. Kamnino razlikujemo po sestavi, skladovitosti in pretrosti. Z bruski kamnine sem določil njeno sestavo. Skalno površino sem opazoval pod povečevalno lupo ali z vrstičnim mikroskopom. Skalna površina namreč pogosto odraža proces, ki oblikuje kamnino. Pomemben dejavnik oblikovanja skalnega reliefa so tudi naplavine. Nad drobnozrnato naplavino se v zalitih conah pretaka poplavna voda po žlebovih, v občasno zalitih rovih pa se voda izceja iz naplavine. Določanja sestave naplavine, velikosti njenih delcev, pa tudi deleža organskega ogljika, ki bi lahko pospešil raztapljanje kamnine, so se izkazala koristna. Grobozrnati vlečeni tovor (A. Kranjc, 1986, Doktorska disertacija, 24) skalo gladi, razi ali obtolče, skratka, je pomemben

pri oblikovanju draselj. Ugotavljanje starosti naplavin in sige nam pomaga pri časovnem opredeljevanju obdobj jamskega razvoja.

Sklepanja o nastanku skalnih oblik, ki jih vrezuje vodni tok, sem popestril s študijem literature o hidravliki. Skalne oblike sem skušal proučiti tudi s poskusnim poustvarjanjem njihove geneze na mavcu. S poskusi smo oblikovali fasete v žlebu in na mavčnem bloku (poglavje 2.1.3.1.), stropne kotlice, ki nastaja-

jo zaradi polzenja vode iz razpoke, in strop okoli njih (2.6.), vdolbinice, ki nastanejo zaradi kapljanja (2.6.), in žlebiče, ki nastajajo zaradi izcejanja vode iz drobnozrnate naplavine (2.5.2.1.). Najzahtevnejše, a za te prve poskuse uspešno, je bilo proučevanje nastanka nadnaplavinskih stropnih žlebov. Merski podatki za večji vzorec mrež faset so mi omogočili statistično obdelavo in primerjavo njihovih oblikovnih značilnosti, ki so posledica hidravličnih razmer v rovu.

2. NASTANEK IN RAZVOJ SKALNEGA RELEFA

2.1 Skalni relief, ki ga oblikuje vrtninčasti vodni tok

2.1.1 Hidravlične osnove

Nagib rova pri odprtem vodnem toku in pritisk v zaliti coni določata hitrost in način pretakanja vode skozi določen prerez rova ali povezane rove z različnimi premeri. Med rovi s prosto vodno gladino so lahko zaliti odseki, sifoni (P. Habič, 1973). Za ožine v zalitih rovih sta značilna večja hitrost pretakanja vode in manjši pritisk na stene kot v bližnjih večjih rovih. Pritisk pa se manjša tudi s približevanjem nivoja rova h gladini vode. Večji je pritisk na stene, bolj teži voda k širjenju rovov in iskanju novih poti. V odprtem vodnem toku je pritisk na stene odvisen prav tako od hitrosti vode in od lege točke v strugi, torej od gladine toka, na katero deluje še atmosferski pritisk.

Na hitrost in način pretakanja vodnih tokov vplivajo tudi trenje, ki ga premaguje voda, ko obliva bolj ali manj nehomogeno in razpokano kamnino, izgube energije, ki jih povzročajo različni premeri in nakloni rova, njihova posledica so hidravlični skoki, in premagovanje ovir v toku (čeri, skalni bloki). Voda pogosto prenaša tudi različno velike delce kamnine. V votlinah je moč opazovati samoizenačevanje različnih premerov rovov z erozijo in odlaganjem naplavin (A. Kranjc, 1989, 20). Naplavina se odlaga pred ožinami ali za njimi.

Posledica različnih premerov in oblike rovov, različne hitrosti viskozne vode, ki se pretaka skozi, in trenja ob hrapavih površinah ter ovir v toku sta laminarni in turbulentni tok. Prehod med tokovima je funkcija hrapavosti in premera cevi (G. H. Round, V. K. Garg, 1986, 22). Po mnenju M. Serbona (1987, 26) je kritični premer cevi za nastanek turbulentnega toka 2 cm, po W. Dreybrodtu (1988, 80) 1 cm, W. B. White (1988, 275) pa meni, da se turbulentni tok razvije v ceveh, širokih 0,5–5 cm, pri 1 cm premera pa nastane okrogel prečni prerez cevi. Načina vodnega pretakanja ločimo z Reynoldsovim številom (Re), ki je ločnica med laminarnim in turbulentnim tokom v cevi z gladkim obodom. Če je število, ki ga povečujeta hitrost vode in premer cevi manjša ga kinematična viskoznost tekočine – manjše od 2100 (W. B. White, 1988, 164; G. F. Round in V. K. Garg, 1986, 22), je tok laminaren, če pa

je večje, je tok vrtninčast. Hitrost vrtninčastega toka se spreminja s kvadratom hidravličnega gradienta (W. B. White, 1988, 163). V odprtih tokovih se voda vrtninči že pri Reynoldsovem številu 500 (W. B. White, 1988, 165). V jamah pa vrtninčasti tok zaradi hrapavosti in oblike rovov nastane že pri manjšem Re kot v gladkih ceveh, kjer je odločilna predvsem hitrost toka. W. B. White (1988, 164) navaja kot ločnico med tokovima $Re = 10$, A. J. Reynolds (1974, 207) pa $Re = 10–200$. Tokovnice v laminarnem toku so vzporedne s stenami cevi, vrtninčasti tok pa lahko razdelimo na tanko laminarno mejno plast ob steni in vrtninčasto jedro. Hitrost ob stenah je zaradi adhezije delcev viskozne vode nanje enaka ničli (M. Boreli, 1984, 357), od sten proti središču pa narašča in z njo tudi hitrost gibanja delcev vode zaradi vrtninčenja. Laminarna mejna plast, v kateri sta viskoznost in trenje odločilna pri določanju značaja toka (M. Boreli, 1984, 359), se tanjša z večanjem Reynoldsovega števila (W. B. White, 1988, 163), s katerega korenomo je obratno sorazmerna. Vrtninčasto jedro se približuje steni. Ločimo dva vzroka vrtninčenja. Če je hrapavost stene tanjša od laminarne mejne plasti, je vrtninčenje posledica viskoznosti vode v mejni plasti (R. A. Duckworth, 1977, 163). Inercialne sile postanejo prevelike, da bi viskozne sile oblažile trenje (M. Boreli, 1984, 392). Če pa je višina hrapavosti večja od debeline laminarne mejne plasti, ovire povzročajo dodatne vrtnince (R. A. Duckworth, 1977, 163). Posamezne večje ovire lahko torej prekinejo mejno plast tudi pri nizkih Reynoldsovih številih. Pri izrazitem vrtninčastem režimu se vpliv viskoznosti, izražene v Re , lahko zanemari (M. Boreli, 1984, 359). Skratka, pri visokih Re številih je koeficient trenja odvisen od hrapavosti in skorajda neodvisen od viskoznosti, pri majhnih Re pa je odvisen predvsem od viskoznosti in le malo od hrapavosti (A. J. Reynolds, 1974, 5). V rovih zaradi omejene homogenosti kamnine in njene oblikovanosti vpliva na nastanek drobnih oblik (manjše fasete), ki jih vrezuje hitrejši vodni tok, predvsem prvi tip vrtninčenja. Pri nastanku večjih oblik (velike fasete, kotlice), ki so posledica delovanja počasnejšega toka, je odločujoč drugi tip vrtninčenja. V toku nastanejo torej vrtninci različnih premerov in nestabilnih linij vodnih delcev.

Vrtinec je vrteča vodna masa, v kateri so tokovnice koncentrični krogi, hitrost v vsaki točki pa je obratno sorazmerna s premerom tokovnic (R. A. Duckworth, 1977, 91). Proti središču vrtinca narašča hitrost, pritisk pa se manjša. V samem središču vrtinca je hitrost neskončna in viskoznost povzroči, da se jedro vrtil kot trdno telo. Hitrost njegove osi je nič (R. A. Duckworth, 1977, 92, 93). Manj je tekočina viskozna, manjši je premer vrtinca (M. Serbon, 1987, 16). Hitrosti vrtinčaste mase so tesno povezane z velikostjo in obliko prostora ter velikostjo toka. Različni vrtinci vplivajo drug na drugega, se deloma prekrivajo in kinetična energija se postopoma prenaša na manjše (M. Serbon, 1987, 17). Število majhnih vrtincev narašča z večanjem Reynoldsovega števila (M. Serbon, 1987, 20). Poleg trenja ob obodu povzročajo vrtince tudi oblika prostora, torej sprememba premera in nagiba rova, ter ovire v toku. Pred ožino se tok širi, v ožini pa se spušča, zožuje (R. A. Duckworth, 1977, 182) in na prehodih nastane vrtinčasta cona. Tudi na zavojih cevi se pojavljajo izgube, saj radialni gradient pritiska narašča navzven. Na zgornjem in spodnjem delu stene zunanje strani ovinka nastane radialni notranji tok (R. A. Duckworth, 1977, 182). Posamezne zajede v steni povzročijo nastanek vrtincev že pri $Re = 10-200$. Vrtinec je odvisen od oblike depresije in se zapleteno spreminja z Re (A. J. Reynolds, 1974, 207). Večje vrtinčaste cone se, kot bomo videli v nadaljevanju (sl. 2.1.94-3a), odražajo predvsem v oblikovanju stropnih kotlic. Ko superkritični odprti tokovi, ki nastanejo z naraščanjem hitrosti na strmih pobočjih, naletijo na položna tla struge ali pa na podorne bloke v njej, se sprosti veliko energije. Nastane hidravlični skok in erozija je zato izrazita (W. B. White, 1988, 166). Na takšnih mestih ponavadi nastanejo draslje. Skratka, hidravlične razmere so odvisne od številnih mejnih pogojev, na skali pa se odražajo v skalnih oblikah, ki jih bom skušal predstaviti v nadaljevanju.

Ločimo več tipov vodnih tokov. V stalnem enotnem toku se potencialna energija manjša z manjšanjem nagiba po toku navzdol ali pritiska v zaledju. Razporeda hitrosti in pritiska sta v preseku enaka vzdolž celega toka (M. Vuković, A. Soro, 1985, 58). Tok je stalen neenoten, ko se njegova debelina, hitrost in pritisk spreminjajo skokovito. Zanj so značilni hidravlični skoki (G. F. Round, V. K. Garg, 1986, 283). Posebej se izdvajata tudi kritični tok, ko je hitrost toka enaka hitrosti neskončno majhnih delcev in superkritični tok, ko majhne ovire vplivajo po toku navzdol (G. F. Round, V. K. Garg, 1986, 284). Vodni tok se spreminja tudi v času, poleg osnovnega toka obstajajo še pulzirajoči tokovi (M. Boreli, 1984, 359). Eden pomembnejših dejavnikov oblikovanja kraškega podzemlja je sezonsko, pogosto hitro in izdatno spreminjanje lastnosti vodnega toka. Tudi to nam izpričuje skalni relief.

2.1.2 Procesi na kamnini

Stopnja raztapljanja kamnine je odvisna od hitrosti površinske reakcije, stopnje transporta reaktantov in produktov raztapljanja ter produkcije H^+ in H_2CO_2 s konvekcijo CO_2 (W. Dreybrodt, 1988, 103). Vzporedno s hidrodinamično laminarno mejno plastjo v vrtinčastem toku lahko določimo tudi mejno plast, v kateri se transport reaktantov in produktov raztapljanja vrši z molekularno difuzijo. Plast se tanjša, ko kamnino obliha hitrejši vrtinčasti vodni tok. Ob njej je še prehodna mejna plast, v kateri se učinkovitost difuzije postopno povečuje proti jedru toka. Vrtinčasta difuzija je namreč trikrat večja od molekularne. V izrazitem vrtinčastem toku, ko je učinkovitost vrtinčaste difuzije 10^4 večja od molekularne, je mejna difuzijska plast zanemarljiva (W. Dreybrodt, 1988, 154). Hitrost vodnega toka povečuje korozijsko stopnjo, če je reakcijska stopnja hitrejša kot transportna, če pa ni, površinska reakcija omejuje učinkovitost korozije (S. Trudgill, 1985, 19). V vodnem toku je torej hitrost raztapljanja posledica hitrosti toka in kemične sestave vode, ki s skalnim površjem, sestavljenim iz različno topljivih delcev, določa stopnjo površinske reakcije. V vadoznih votlinah, skozi katere se pretaka hiter vodni tok, se lahko raztopi 1 mm kamnine na leto (A. N. Palmer, 1982, 190).

Erozijsko delovanje lahko razdelimo na delovanje same vodne mase in mehansko delovanje z materialom, ki ga prenaša voda (draslje, gladka, ražena, obtočena skalna površina). Hiter, vrtinčast vodni tok, ki ima tanko mejno laminarno plast, trga s skalne površine manjše delce, ki jih osami korozija.

Kavitacija v kraškem podzemlju še ni dokazana. Je nastanek in kolaps plinskega mehurja v tekočini z veliko hitrostjo. Cikle kavitacije je A. A. Cigna (1983, 481) razdelil na nastanek cone nizkega pritiska v predelih nepravilnosti v toku, nastanek žepov izparine, ko je lokalni pritisk manjši od napetosti izparine, in končno na kolaps mehurjev izparine. Tako nastanejo na stiku s kamnino siloviti valovi. Številni mehurčki, ki se sesujejo v 10-3 do 10-4 sekunde in zopet nastanejo takoj po mikroimploziji, povzročijo pritiske, ki lokalno dosežejo desetine megapaskalov. Hitro in veliko menjavanje pritiska vsrka zrak iz por kamnine in povzroči njen razkroj. A. A. Cigna (1983, 480) je predpostavil tudi možnost korozije, zaradi oksidacije v vodi, ki je obogatena z mehurčki kisika. Mehurčki se tvorijo v trenutku znižanja pritiska. V majhnih rovih je hitro dosežena največja možna hitrost vode. V večjih kanalih, kjer so večje razlike v pritiskih, je kavitacija bolj verjetna. Proučiti bi bilo treba sifone, saj vodni tok v njih dosega največje hitrosti, tudi 10 m/s (A. Kranjc, 1986, disertacija, 209). V zalitem rovu naj bi bile s kavitacijo pogojene

tudi erozijske oblike, ki nastanejo tik za ovirami, v vadoznem toku pa so takšne oblike pod slapovi. Zaradi kavitacije je skalna površina luknjičasta (A. A. Cigna, 1983, 485). M. Serbon (1987, 24) meni, da kavitacija naredi majhne vdolbinice, ki imajo 0,5 do 1,5 mm premera. Vdolbinice nastanejo na ravnih stropih v spodnjih delih sinusoidno vijugavega rova. Kavitacija naj bi bila mogoča le pri hitrostih, ki so večje od 20 m/s in s pritiskom 9 meterskega vodnega stolpca. A. A. Cigna (1983, 485) predlaga mikroskopsko opazovanje izpostavljene skalne površine zaradi morebitno premanjnenih kristalov.

Problem korozije mešanice sem ovrednotil pri razlagi nastanka stropnih kotlic (2.1.3.2.).

A. N. Palmer (1982,178) omenja tudi pomen oksidacije sulfidov. Freatična voda, ki vsebuje največ sulfidov, doseže zrak s kisikom in tvori se žveplena kislina.

2.1.3 Skalne oblike, ki jih vrezujejo vodni tokovi

V tabeli 3 so združene skalne oblike, ki so značilne za relief rovov v različnih hidroloških conah. Pretok vode skozi te rove je različno hiter. Skalne oblike nastanejo zaradi vrtnčenja vode ob hrapavi skalni površini, vrtnčenja ob razpokah ali vrtncevh, ki jih povzroči oblika rovov. Proces njihovega oblikovanja sta korozija in erozija.

2.1.3.1 Fasete in rebra

Faseta je nekaj 10 ali 100 milimetrov dolga ovalna vdolbinica. Globlja in strmejša je na pritočni strani, na

odtočni strani, kjer je podaljšana, pa se polagoma izklinja. Ločimo lahko več različnih tipov manjših faset. Velike fasete so že dokaj podobne plitkim kotlicam in na odtočni strani niso izrazito podaljšane, na pritočni pa ne poglobljene. Rebna so podolgovate zajedice pravilne oblike, ki so nastale prečno na smer vodnega toka. Za obe obliki je značilno, da se pojavljata povezani v mrežo. Te oblike nam pomagajo pri določevanju načina in smeri pretakanja vode skozi rove. Bolj so rovi pravilnih cevastih oblik, bolj natančna je določitev hitrosti vodnega toka iz dolžine faset.

Iz primerjave oblikovnih značilnosti faset in njihove velikosti sem skušal razbrati odločilne dejavnike njihovega nastanka in oblikovanja. O proučevanju in določanju povezanosti dolžine faset in hitrosti vodnega toka, ki jih vrezuje, so poročali J. Rudnicki (1960, 17), R. L. Curl (1966, 1974), J. R. L. Allen (1972), S. E. Lauritzen (1983) ter B. Lismonde in A. Lagmani (1987), zato sem sklenil več pozornosti posvetiti obliki faset in njihovi povezanosti v mrežo. J. Rudnicki (1960) je prvi skušal razložiti nastanek faset in njihove značilnosti s poskusi na mavcu. Ugotovil je (1960, 29), da hitrejši vodni tok vrezuje manjše fasete. V podobnih hidravličnih razmerah lahko nastanejo fasete, ki so različno velike. Pravi (1960, 30), da je oblika mreže faset zrela, če so fasete povezane v nize, ki so prečni na smer vodnega toka. Sam sem ugotavljal, da so takšni nizi značilni za ožine v rovih in za odtočne strani skalnih blokov v strugi. R. L. Curl (1966, 1974) si je nastanek faset pomagal razlagati z analizo hidravličnih značilnosti v rovih, z merjenjem toka med elektrodami na modelu in s poskusi na mavcu. Postavil je temelje za povezavo hitrosti toka in velikosti faset. Tudi J. R. L. Allen (1972), ki Curlu očita preveliko teoretičnost

Tabela 3

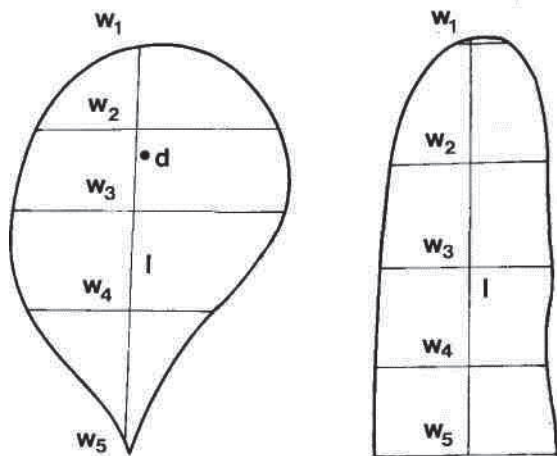
SKALNE OBLIKE, KI JIH OBLIKUJE VODNI TOK V RAZLIČNIH HIDROLOŠKIH POGOJIH			NAČIN OBLIVANJA KAMNINE	PREVLADUJOČ PROCES NA KAMNINI
freatična cona	epifreatična cona	vadozna cona		
počasen tok	hitrejši tok	hiter tok		
velike fasete	fasete, rebra,	fasete, rebra	vrtnčenje vode ob hrapavi skali	korozija (erozija)
stropna kotlica	stropna kotlica	stenske kotlice	vrtnčenje, ki ga povzroča oblika rova ali razpokanost skale	korozija
niša, rogelj	niša, nož draslja	niša, nož, čer draslja	vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
			vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
			vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
			vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
			vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
stropna in stenska zajedada	stropna in stenska zajedada	stenska zajedada	vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
			vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
			vrtnčenje ob gosto razpokani skali	korozija
		talni žleb po skalnem dnu	pretakanje manjših količin vode	korozija

razglabljanj, si je pomagal s poskusi na mavcu. Mavec v 3 m dolgem kanalu je oblival s tokom s hitrostjo 28 do 90 cm/s in debelino 1,5 do 15 cm. Ugotovil je, da na razporeditev faset vplivajo nehomogenosti na kamnini. S. E. Lauritzen (1983) je meril hidravlične razmere v rovu, velikost faset in hitrost njihovega nastanka. B. Lismonde in A. Lagmani (1987) sta Curlove študije hidravličnih razmer v pravilno oblikovanih rovih skušala dopolniti s poudarkom na raznovrstnosti rovov. Na podlagi zbranih vzorcev in njihove analize pa sem ugotavljal, da je oblika mreže faset predvsem posledica hidravličnih razmer v različno oblikovanih rovih. Manjše različice k obliki faset prispeva sestava kamnine, na kateri nastanejo.

Oblika, velikost in mreža faset

V izbranih jamah sem dokumentiral 75 mrež faset, 53 pa jih je bilo primernih za nadaljnje proučevanje. Starejše mreže faset, ki so bile preoblikovane pod drobnozrnato naplavinno ali zaradi kondenzne korozije, imajo premalo ostre oblikovne značilnosti, zato je njihovo merjenje onemogočeno.

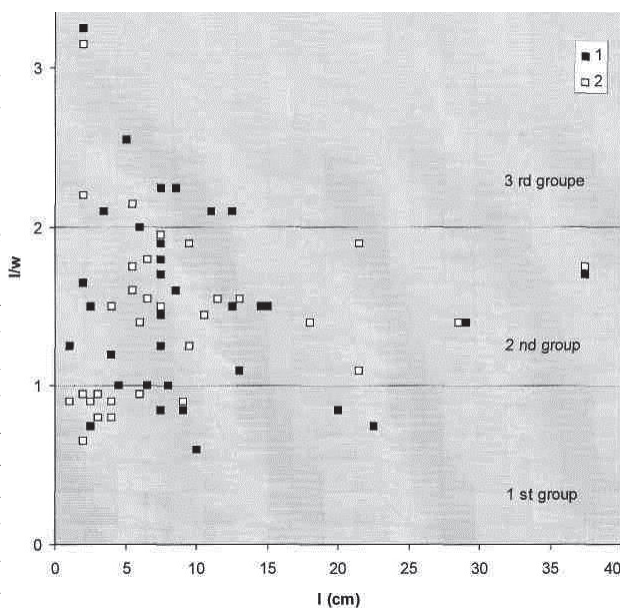
Obliko posamezne fasete sem razdelil v številčne podatke, kar bi skupaj z velikostjo fasete omogočilo statistično računalniško primerjavo. Izkazalo se je, da računalniška primerjava ni bila potrebna, saj je bil vzorec razmeroma majhen in podobne številčne vrednosti sem dokaj enostavno razvrstil v skupine. Faseti sem določil (sl. 2.1.1) dolžino, širino leve in desne polovice na začetku, na prvi četrtini, polovici, tretji četrtini in na koncu ter mesto in vrednost največje globine. Izmeril sem tudi polmer pritočnega, večinoma polkrožnega roba fasete in sklepni kot zaprtih faset. Na ta način sem dobil povprečno obliko in velikost faset v posameznih



2.1.1 Zaprta in odprta faseta

d = dolžina, š = širina, g = globina, k = stični kot odtočnih robov

mrežah. Povprečne oblike bolj ali manj odstopajo od vsakokratne oblike na skali. To je posledica različne kamnine, na kateri so fasete, in njihove povezanosti v mrežo. Izkazalo se je, da v mrežah prevladujeta dve obliki faset: fasete, ki se na odtočni strani zaprejo s širšim ali ožjim kotom (sl. 2.1.1a) in fasete, ki so na odtočni strani odprte (sl. 2.1.1b), posamezne se v zadnji tretjini deloma zaprejo. Ti obliki sta povezani v isti mreži ali pa v njej prevladujeta. Zaradi izrazite razlike v obliki sem zaprte in odprte fasete razčlenjeval ločeno. Za primerjavo faset po obliki sem moral izločiti njihove velikosti. Zato sem izračunal za povprečne oblike faset v mreži razmerja med dolžino fasete in omenjenimi širinami. Podobne številčne podatke sem razvrstil v 3 skupine in vmesni podskupini (sl. 2.1.2). Zaprte in odprte fasete iste mreže se praviloma uvrščajo v isto skupino.



2.1.2 Značilne skupine faset

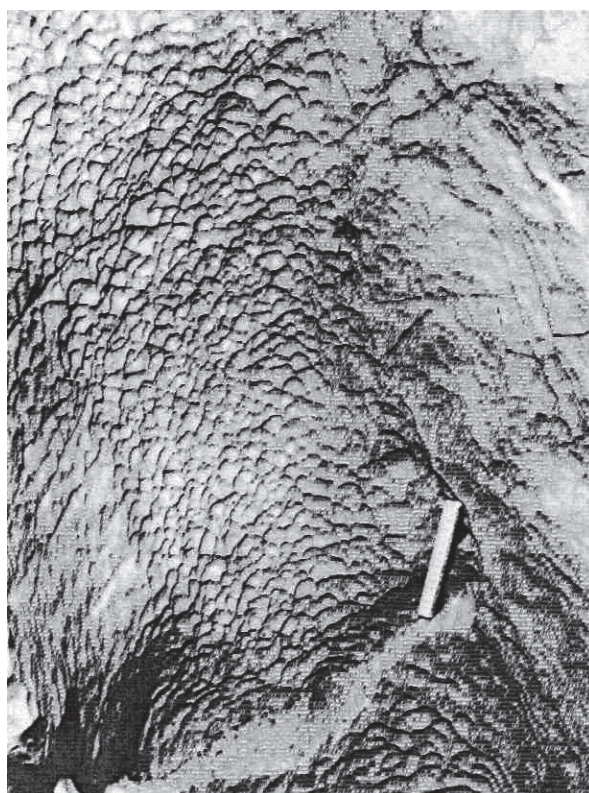
d/š = razmerje med dolžino in širino fasete
d = dolžina fasete

V prvo skupino sodijo fasete, katerih razmerje med dolžino in širino je manjše ali enako 1,1. Zaprte fasete lahko razdelimo na tiste, ki so enako široke na prvi četrtini in tretji četrtini ter najširše na polovici, in fasete, ki se zožujejo že po polovici. V posameznih primerih (strma stena (45°) Ponora v Odolini, strop Ponorne jame Lokve in strop v Kompoljski jami) prevladujejo odprte fasete. Odtočna robova zaprtih faset se praviloma stikata pod kotom, ki je večji od 90° (do 120°), premer pritočnega polkrožnega roba pa je glede na velikost faset velik. Fasete v 1. skupini so večinoma majhne, saj so dolge od 4,7 do 40 mm, globoke so od 2 do 10 mm. Izjema sta dva primera, ki sta dolga 66 in 92 mm. Fasete so povezane v nize, ki so razvrščeni prečno na smer vodnega toka (sl. 2.1.3).

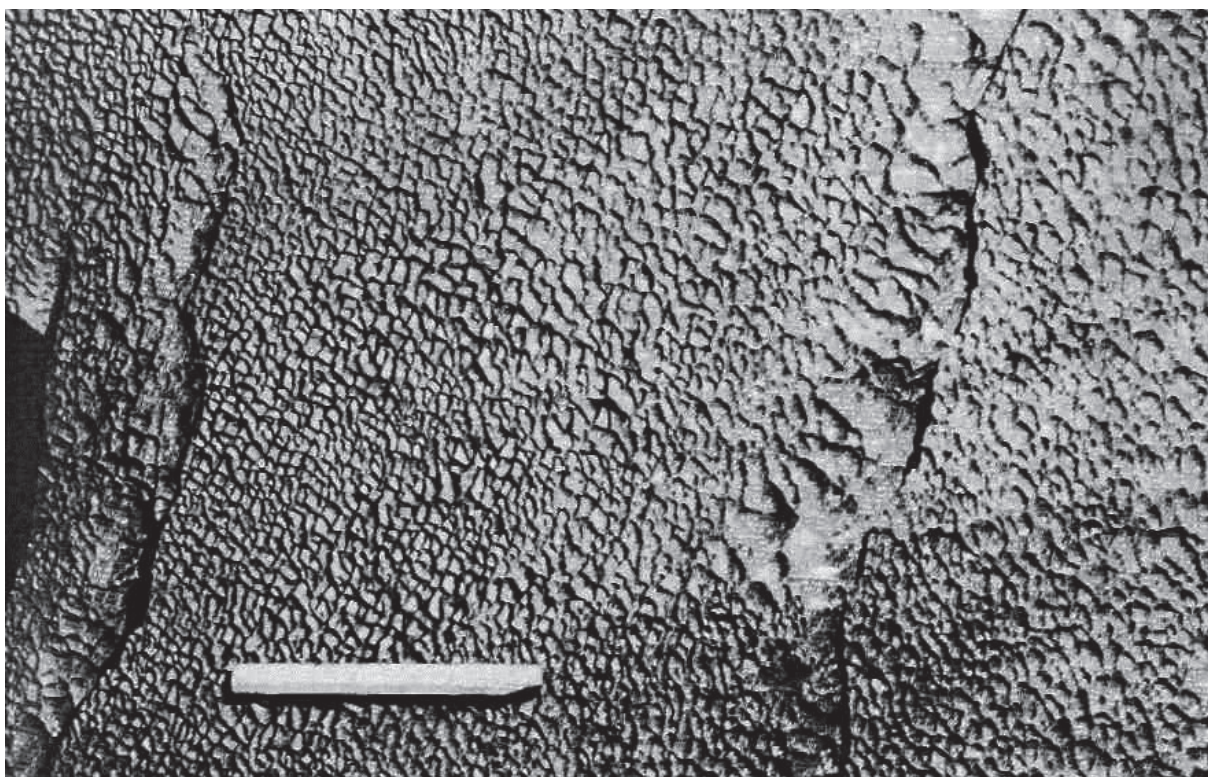


2.1.3 Fasete na steni ožine pri Blatnem jezeru v Beško Ocizeljski jami (merilo = 15 cm)

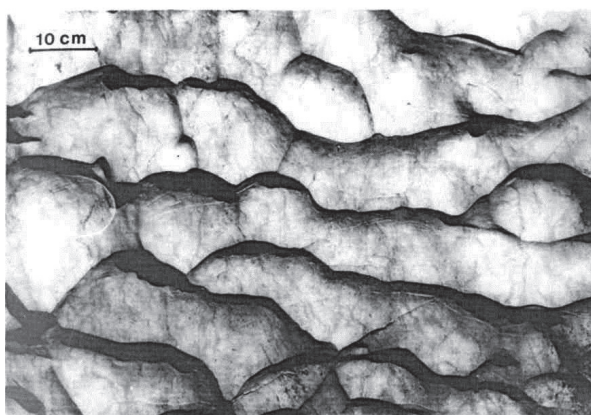
Bočni robovi faset so mnogokrat le slabo izraženi in mreža spominja na rebra. Prečni nizi sledijo tudi lokalnim smerem vodnega toka: v Novokrajski jami se združujejo proti odprtini sifona, v Pivki jami se usmerjajo proti robu kamnitega bloka, na katerem so nastale, v Ponoru v Odolini so nizi v žlebu polkrožno poviti (sl. 2.1.4). Najmanjše fasete, ki so nastale zaradi pretakanja odprtega vodnega toka, dolge so od 4,7 do 23 mm, so na strmih tleh (30° nagiba) (sl. 2.1.5) ali na steni tik nad njimi in v strmih (75°) žlebovih (sl. 2.1.4). Podobne, le nekoliko večje so v izrazitejših ožinah rovov, ki so občasno zaliti. Premeri ozkih delov rovov merijo od 2 do 2,5 m, pritočnih in odtočnih delov rovov pa do 5 m. V ožinah so fasete razporejene po vsem obodu (sl. 2.1.3). V večji stropni depresiji v Ponorni jami Lokve so na odtočni strani fasete na skorajda navpični steni. V mreži pa prevladujejo odprte fasete. Nekoliko večje fasete (33–90 mm) so v manj izrazitih ožjih delih rovov (sl. 2.1.6).



2.1.4 Fasete na strmem žlebu v Ponoru v Odolini (merilo = 15 cm)



2.1.5 Fasete na strmih tleh v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)



2.1.6 Fasete nad sifonom v Ponoru v Odolini



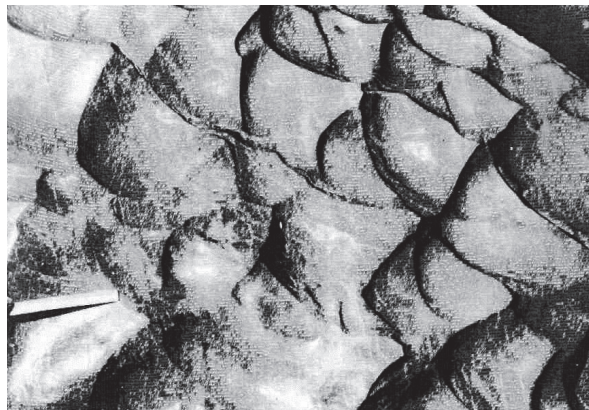
2.1.7 Fasete v pevisni zajedi v Blatnem rovu Zelških jam (merilo = 15 cm)

Podobnih oblik, torej dokaj široke, so fasete v podskupini 1–2. Fasete imajo velike polmere pritočnih, polkrožnih robov, odtočna robova pa se stikata pod kotom $100\text{--}130^\circ$. So večje kot v prvi skupini, dolge so od $40\text{--}110$ mm. V dveh primerih (stena Logaške jame, stena rova v Brlogu na Rimskem) prevladujejo zaprte fasete. Fasete so še razvrščene v prečne nize, ki pa niso tako izraziti kot v prvi skupini. Deloma je že nakazana diagonalna razporejenost faset, ki je značilna za mreže faset druge skupine. Manjše fasete (tla in spodnji del stene v Markovem spodmolu) te podskupine so nastale

le v odprtem vodnem toku, in sicer na tleh ali na spodnjih delih sten. Druge (stena v Blatnem rovu Zelških jam, stena Logaške jame, stena Brloga na Rimskem, stena v osrednjem rovu Trhlovce) pa so nastale v občasno zalitih rovih. Pogoje njihovega nastanka je težje določiti, saj so starejšega porekla. V Zelških jamah so široke fasete na steni in kažejo lokalni tok vode navzgor, je pa v njihovih pritočnih delih odložene nekaj ilovice, ki jih je korozijsko razširila. Na nasprotni strani rova so fasete v stenski zajedi usmerjene navzdol (sl. 2.1.7). Fasete na stenah Trhlovce, Logaške jame in

v Brlogu na Rinskem so v podolgovatih, polkrožnih stenskih zajedah, ki so široke 0,5 m.

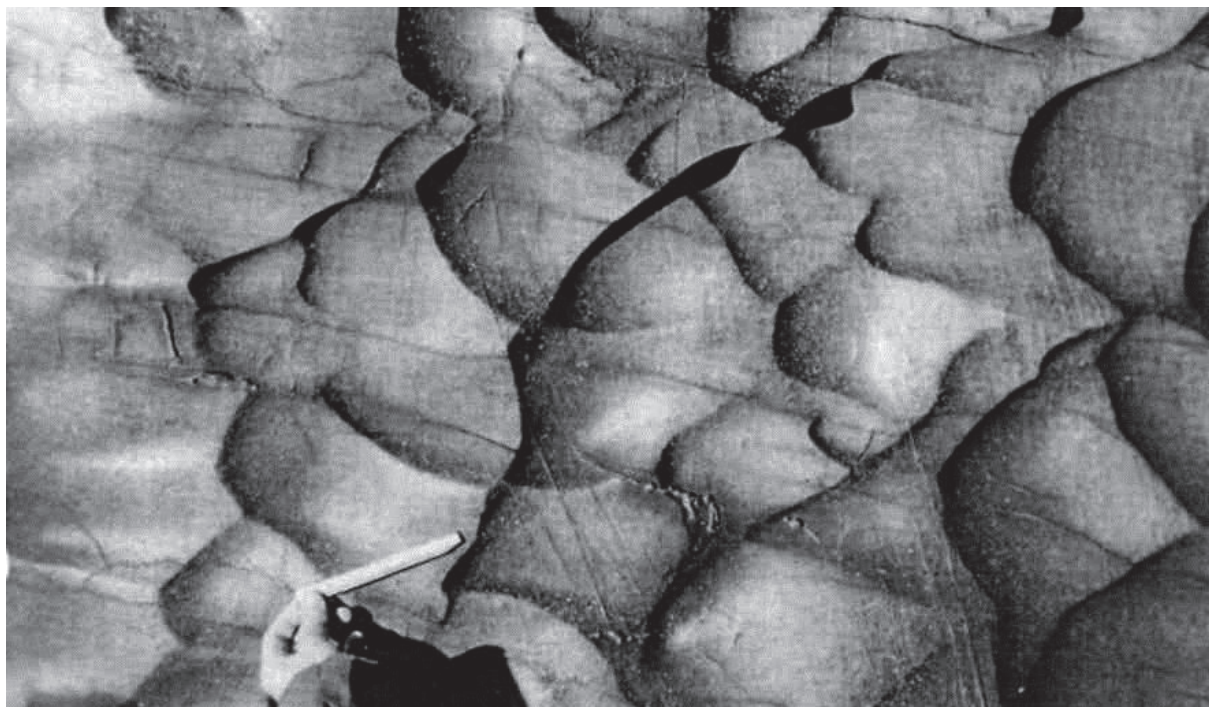
V drugo skupino sem uvrstil fasete z razmerjem med dolžino in širino od 1,1 do 2. Tudi te so zaprte in odprte. Zaprte fasete so večinoma najširše na polovici, nekatere so še enako široke na tretji četrtini, druge pa se ožijo že po polovici. Odprte so dokaj enako široke od prve četrtine naprej, nekatere pa se v zadnji četrtini nekoliko zožijo. Takšne so zlasti največje fasete. Polmer polkrožnih pritočnih robov zaprtih faset je nekoliko manjši kot pri odprtih. Zaprte fasete se zaključujejo s kotom 80–90°. V to skupino sodijo največje fasete, je pa razlika med najdaljšo in najkrajšo precejšnja: 24–375 mm. Večinoma so dolge od 60 do 150 mm in globoke od 20 do 60 mm. V mrežah, ki jih sestavljajo manjše fasete, so še deloma poudarjeni prečni nizi. Prevladujejo mreže, za katere je značilna povezanost stranskih robov, ki omejujejo odtočne dele faset v diagonalne nize (sl. 2.1.8, 2.1.8a). 45° so torej poprečna odstopanja razvrstitve faset od smeri, ki so prečne na vodni tok. Fasete druge skupine so nastale v zalitih rovih. Fasete so lahko po vsem obodu ali le na tleh in stenah, na stropu pa so kotlice. Lahko so tudi na skalnih blokih, ki prekrivajo strugo (Osapska jama, Krožni rov v Črni jami), vendar so te nekoliko širše, v mreži pa prevladujejo odprte fasete (sl. 2.1.9). V to skupino sodijo tudi fasete, ki so nastale na strmih, navzdol (45°) ali nav-



2.1.8 Fasete na steni rova za Toboganom v Ponikvah v Jezerini (merilo = 15 cm)



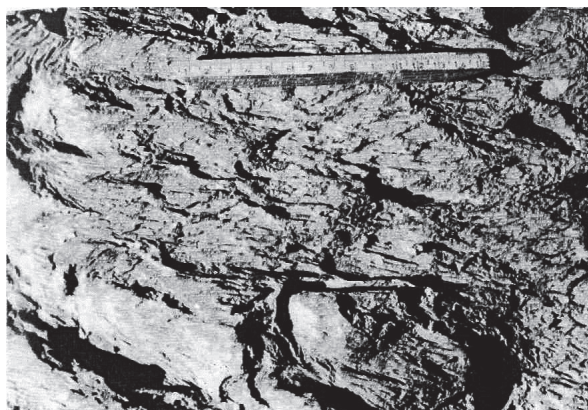
2.1.9 Fasete na skalnem bloku v Krožnem rovu Črne jame (Postojnske jame)



2.1.8a Fasete na stropu Markovega spodmola (merilo = 15 cm)



2.1.10 Fasete na strmi steni Tolminskih korit v Mali Boki (tok navzgor) (merilo = 15 cm)



2.1.11 Fasete na podornem bloku v Nebesih v Mali Boki

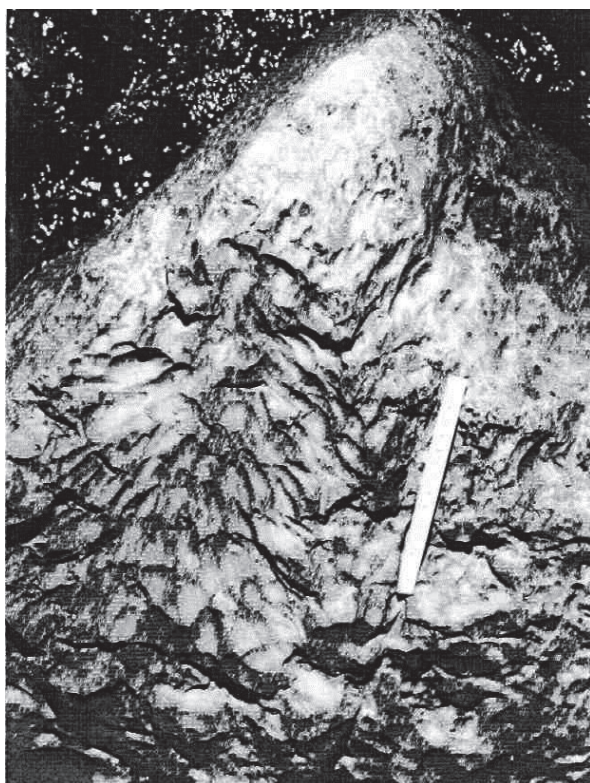
zgor (50°) nagnjenih odsekih tal (sl. 2.1.10), te so nekoliko podaljšane, in na strmih previsnih stenah, kot je to primer v ožini Lipiške jame. Skoznjó se je pretakal vodni tok navzgor. Premeri rogov s fasetami takšnih oblik so večji kot tistih, v katerih so fasete 1. skupine. Manjši merijo 3 m, segajo pa do 10 m (Kozinski rov v Lipiški jami).

V tretjo skupino sodijo fasete z razmerjem med dolžino in širinami večjim od 2. Tudi te lahko razdelimo na zaprte in odprte, prevladujejo pa odprte. Radij pritočnih polkrožnih robov je ožji kot v prejšnjih sku-

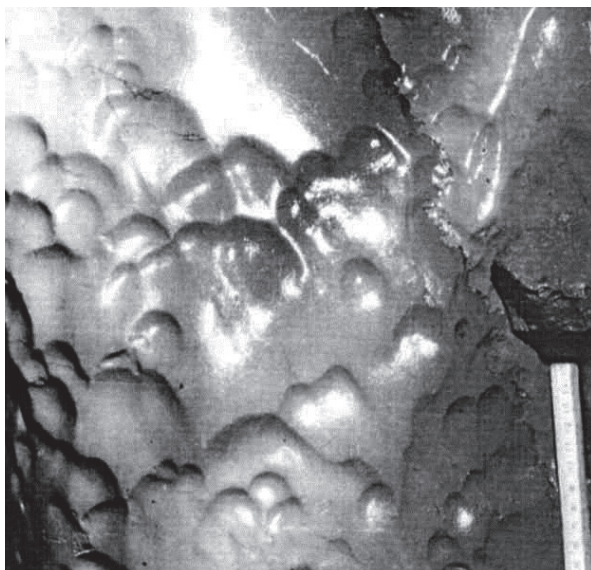
pinah, stični kot odtočnih robov pri zaprtih fasetah je 75–90°. Fasete so razmeroma majhne, dolge so od 1 do 5 cm. Poseben primer so zelo ozke fasete, dolge 1–3 cm (sl. 2.1.11). Nastanek na skalnih blokih določa velikost in oblikomreže. Mreža je podobna onim v prvi ali drugi skupini, pogosto se začneja na stiku z gladko površino skale (sl. 2.1.12). Fasete nastajajo na skalnih blokih v večjih strugah, ki so široke 5–10 m in po katerih se pretaka odprt vodni tok. Površina blokov je 1–2 m nad dnom struge. Nastajajo torej ob višjih vodah. V Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah je na zgornji, vodoravni ploskvi bloka fasetiran odtočni rob, četudi je nekoliko nižji. Zlasti izrazite so fasete, kjer se blok odsekano zaključí. Ob robu bloka so fasete povezane v prečne nize. Na dotočnih delih pa so širše fasete dokaj neizrazitih oblik, razvrščene so v delnih prečnih nizih in med njimi skorajda ni stranskih robov.

V podskupino 2–3 se uvrščajo fasete z razmerjem med dolžino in širino okoli 2, vendar so večje kot fasete v tretji skupini. Dolge so večinoma od 5 do 15 cm, a med ožjimi fasetami, ki prevladujejo, so tudi širše. Ta tip faset je značilen za rove, v katerih se pretaka odprti vodni tok, ki rove v precejšnji meri zapolnjuje, je torej dokaj debel. Fasete so na tleh ali na steni. So večinoma odprte in značilne za izpostavljena konveksna dna rogov (glavni rov v Križni jami, del izbočenih tal v Markovem spodmolu) ali izpostavljene dele sten pred razširitvami rogov (stena 2–3 m nad tlemi v Markovem spodmolu, Vzhodni rov v Predjami: rob korita).

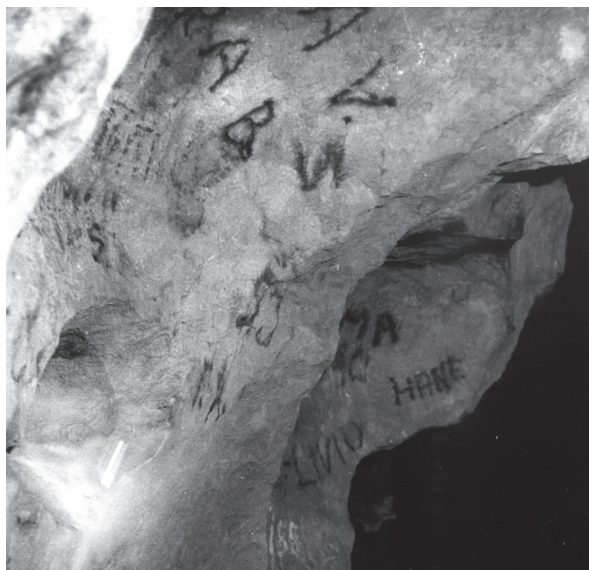
Posebej lahko izdvojimo še en tip faset. To so majhne, le nekaj cm dolge fasete, ki so globoke do 0,5 cm. So večinoma krožnih obrisov in smer vodnega toka je iz njih le slabo razvidna. So posamične ali povezane v mrežo in so na stiku z gladko površino skale ali pa so med njimi manjše površine gladke skale. Takšne fasete so pod večjimi padajočimi tokovi (sl. 2.1.13), ali pa na pritočni, pokončni strani blokov v strugi (sl. 2.1.14).



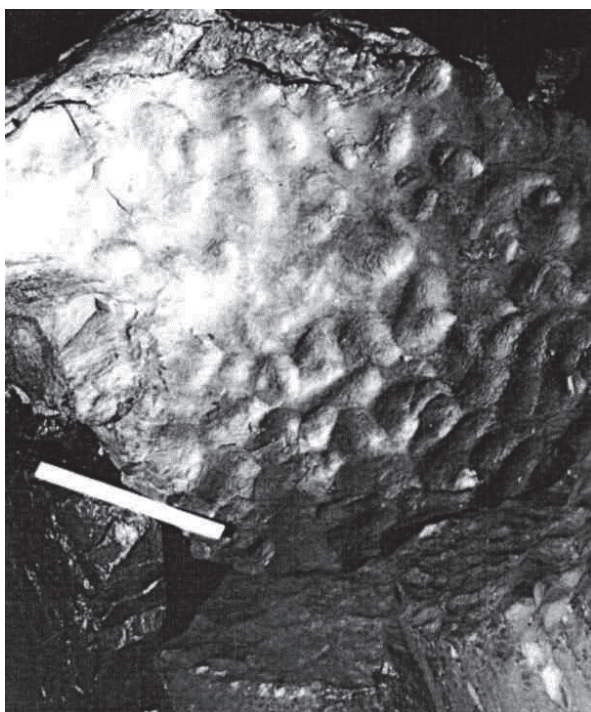
2.1.12 Fasete na skalnem bloku v strugi Škocjanskih jam (merilo = 15 cm)



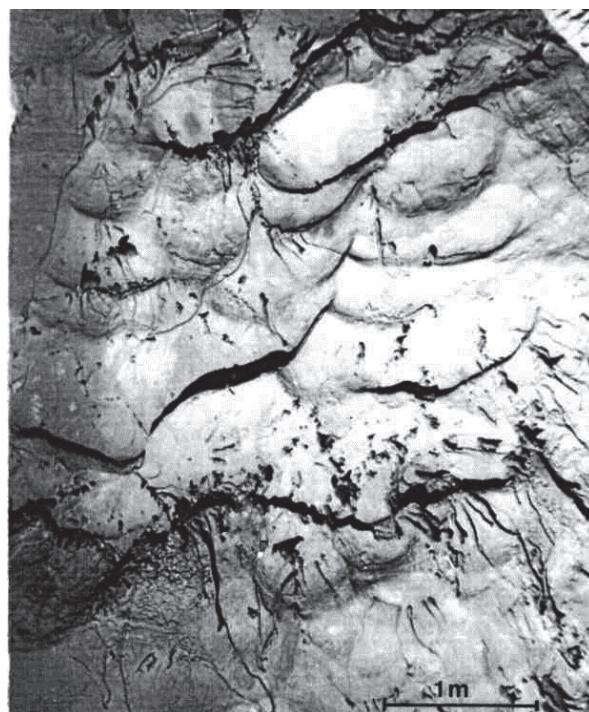
2.1.13 Fasete pod vhodnim breznom v Ponoru v Odolini



2.1.15 Velike fasete v Pivškem rokavu Planinske jame (merilo = 15 cm)



2.1.14 Fasete na pritočnem delu skalnega bloka v Podpeški jami (merilo = 15 cm)



2.1.16 Velike fasete na stropu Vilinske dvorane v Vilenici

Velike fasete

V izbranih jamah sem imel možnost videti le stare velike fasete, zato je bila večina slabše ohranjena. Premer največjih faset meri 1–1,5 m in od 0,3 do 0,5 m so globoke (sl. 2.1.15). Fasete imajo oblike plitkih polkrogel. Njihovo mrežo je težko razbrati.

Kot robovi so lahko ostali tudi večji stenski noži in

roglji. Nekoliko manjše fasete imajo premer od 0,5 do 0,75 m, globoke pa so od 0,1 do 0,2 m. Tudi te so plitke polkrogle ali pa imajo elipsaste prečne prereze. Najbolj izrazite elipsaste fasete so nastale zaradi vodnega toka, ki se je pretakal od spodaj navzgor (sl. 2.1.16). Njihova povezanost v mrežo je bolj izrazita in iz nekaterih primerov je moč sklepati na smer vodnega toka. Fasete so nastale v zalitih rovih in najdemo jih lahko na stenah in na stropu.

Rebra

V izbranih jamah sem zasledil le en izrazit primer reber. V Markovem spodmolu so v vzdolžni zajedi na konkavni strani zavoja, 1,5 m nad tlemi, nastala pokončna rebra, torej prečna na smer vodnega toka (sl. 2.1.17). Rebra so dolga 60 cm, to pa je tudi širina stenske zaje, široka pa so povprečno 5 cm in globoka 1,5 cm. Na nekaterih robovih med rebri je manjše rebro, ki se navzdol širi. Rebra so polkrožnih prečnih prerezov, njihovo dno pa je neizrazito valovito.

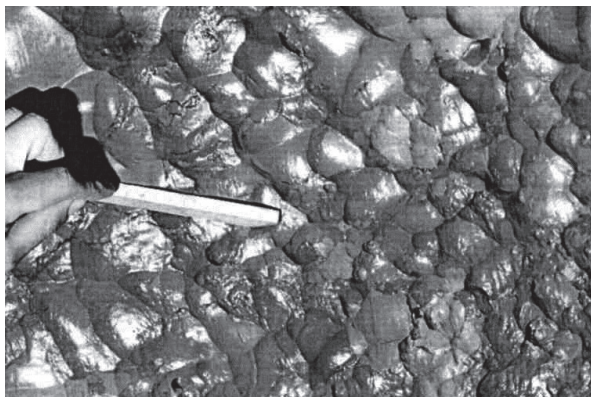


2.1.17 Rebra v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)

Vpliv kamnine na razvoj faset

Večina faset je oblikovana na različnih apnencih, redkeje jih najdemo na dolomitu, konglomeratu, breči, sigi in peščenjaku. Na obliko faset vpliva tudi razpokanost kamnine.

Na homogenih apnencih z enako velikimi in topnimi delci so nastale dokaj enotne mreže faset. Bolj heterogene mreže nastajajo na nehomogeni, različno sestavljeni kamnini. Takšne so tudi v Markovem spodmolu na delu stene, ki jo tvorijo večji intraklasti (sl. 2.1.18).

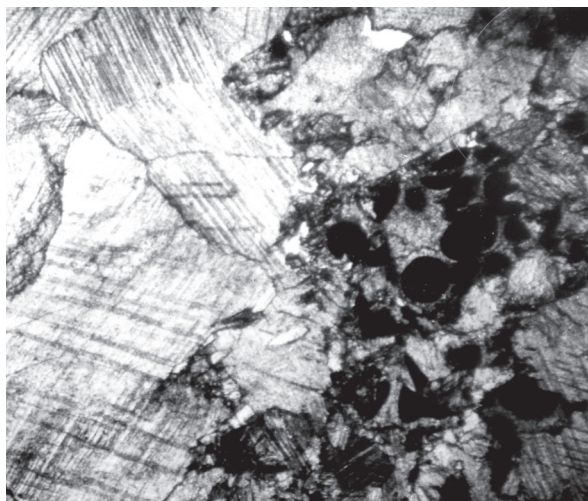


2.1.18 Fasete na intraklastnem apnencu v Markovem spodmolu

Robovi faset so nazobčani, na posameznih odsekih pa jih ni. Na bližnji, bolj homogeni kamnini, so nastale fasete z ostrimi in ravnimi robovi. V Velikem Hublju, kjer je na posameznih odsekih apnenc prekristaliziran, površje skale pa je hrapavo, saj iz njega štrlijo 1–3 cm veliki sparitni kristali, faset ni (sl. 2.1.19, 2.1.19a).

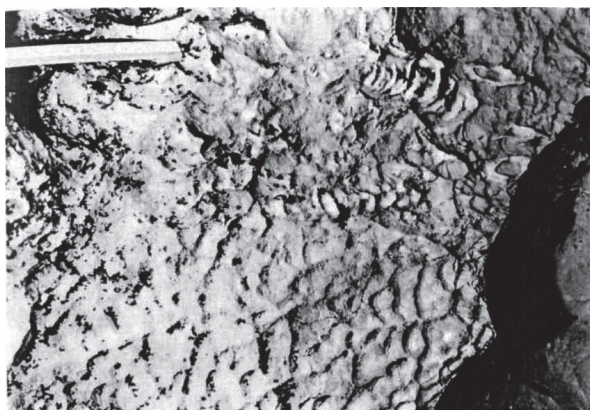


2.1.19 Površina apnenca v Velikem Hublju



2.1.19a Zbrusek prekristaliziranega apnenca v Velikem Hublju

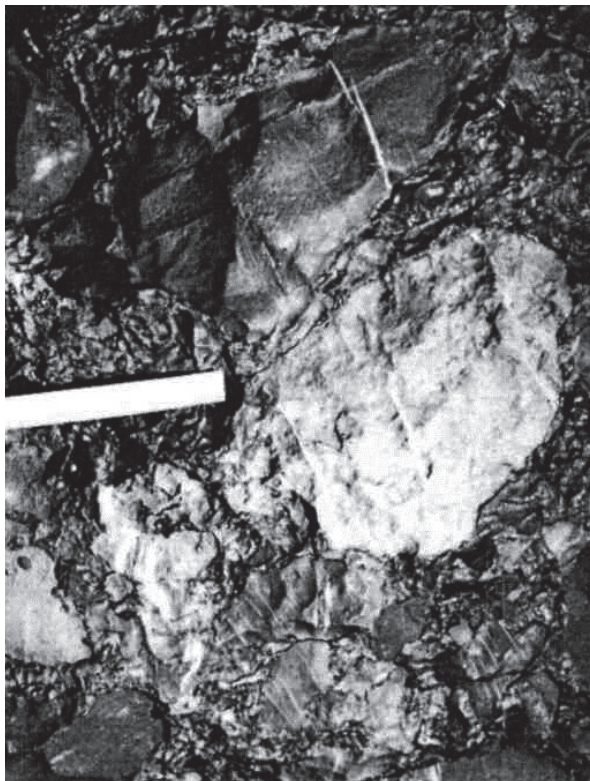
V površino so zajedajo le posamezne majhne vdolbinice. Na okoliškem, bolj homogenem apnencu so fasete ali pa je površina erozijsko zglajena. Podobnemu primeru smo priča tudi v Biološkem rovu v Babji jami. Na občasno poplavljenem delu stene v Pivki jami so fasete dolge okoli 3 cm, kjer pa štrlijo 1,5 cm iz površine rudisti, faset ni (sl. 2.1.20).



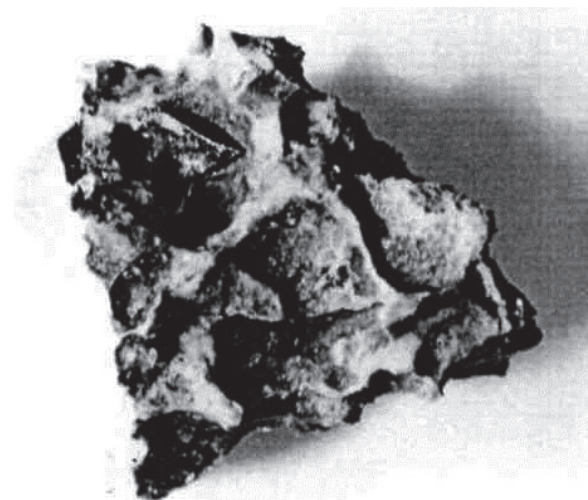
2.1.20 Fasete na apnencu z rudisti v Pivki jami
(merilo = 15 cm)

Tudi v Predjami, v Ponorni jami Lokve, iz stene štrlijo rudisti. Prek njih je vrezana mreža faset, ki so večje, saj so dolge 8 cm. Mreža je neenotna. Na paleogenskem apnencu pa fosili le malo vplivajo na obliko manjših faset (sl. 2.1.3).

V Smoganici so v strugi, katere obod tvori karbonatni konglomerat, fasete (sl. 2.1.21) le na kosih apnenca, ki so večji od 20 cm. Fasete, ki so dolge 5 cm, so dokaj nepravilnih oblik. Vezivo, v katerem so manjši kosi apnenca in peščenjaka, pa je grobo hrapavo. V različnejih konicah vezivo štrli iz skalne površine.



2.1.21 Fasete na konglomeratu v Smoganici (merilo = 15 cm)



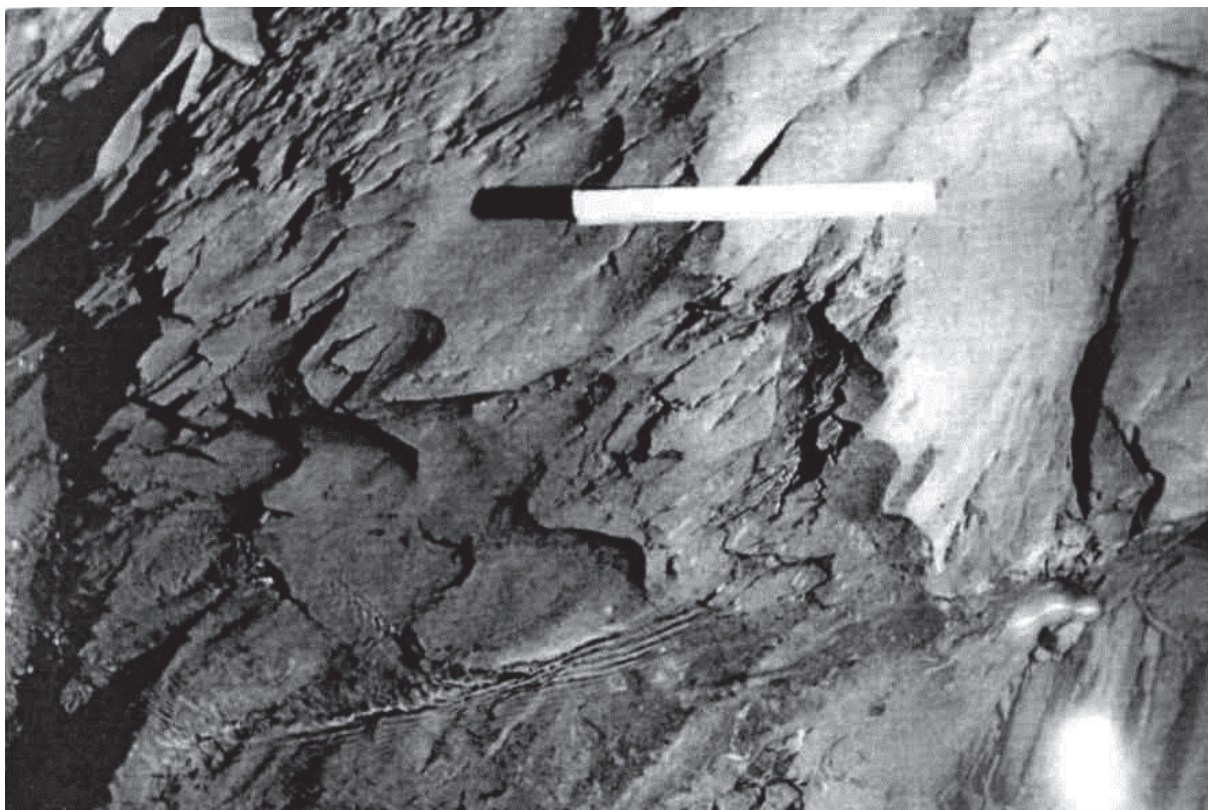
2.1.22 Površina breče v Mali Boki

Podobno je oblikovana breča v Bazinovi jami pri Podlaških topolih. Na delu oboda, ki je apnenčast, so fasete. V Podstrešju Male Boke, na intraformacijski breči (sl. 2.1.22), ki jo sestavljajo manjši deli kamnine (1–3 cm premera), vmes pa je trdno sparitno vezivo, ki štrli iz sten, faset ni. V bližnjem rovu z apnenčastim obodom, kjer se ob visokih vodah ustvarijo enaki hidrološki pogoji, nastanejo fasete, ki so dolge 2–3 cm. Na breči so med sparitnim vezivom nastale oglate vdolbine, ki so podolgovate ob razpokah.

V Lepih jamah Postojnske jame štrlijo do 2 cm iz stene podolgovate leče roženca, katerih površina je nazobčana z ravnimi ali le malo zaobljenimi ploskvami. Okoli leč pa je lepo razvita mreža majhnih faset (sl. 2.1.23).



2.1.23 Fasete in leče roženca med njimi v Lepih jamah
(Postojnske jame) (merilo = 15 cm)



2.1.24 Fasete na peščenjaku v Smoganici (merilo = 15 cm)

Fasete na sigi so podobne fasetam na apnencu. V Katakombah v Mali Boki so nastale fasete na prepereli sigi. Robovi faset so zaobljeni in deloma spominjajo na sipine v strugi Blatnega rova v Križni jami, ki ga prekriva pesek. Na mehkih, sipkih materialih nastajajo značilne fasete tipa 1.

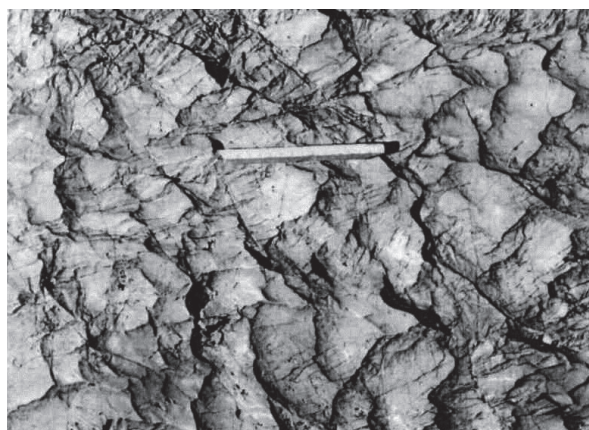
V Smoganici so nastale fasete na kremenovem peščenjaku s kalcitnim vezivom (sl. 2.1.24). Fasete so dokaj dolge (7 cm) in ozke (3 cm). Uvrstimo jih lahko v tretjo skupino, kar odgovarja občasnemu plitkemu toku in homogeni zrnati kamnini.

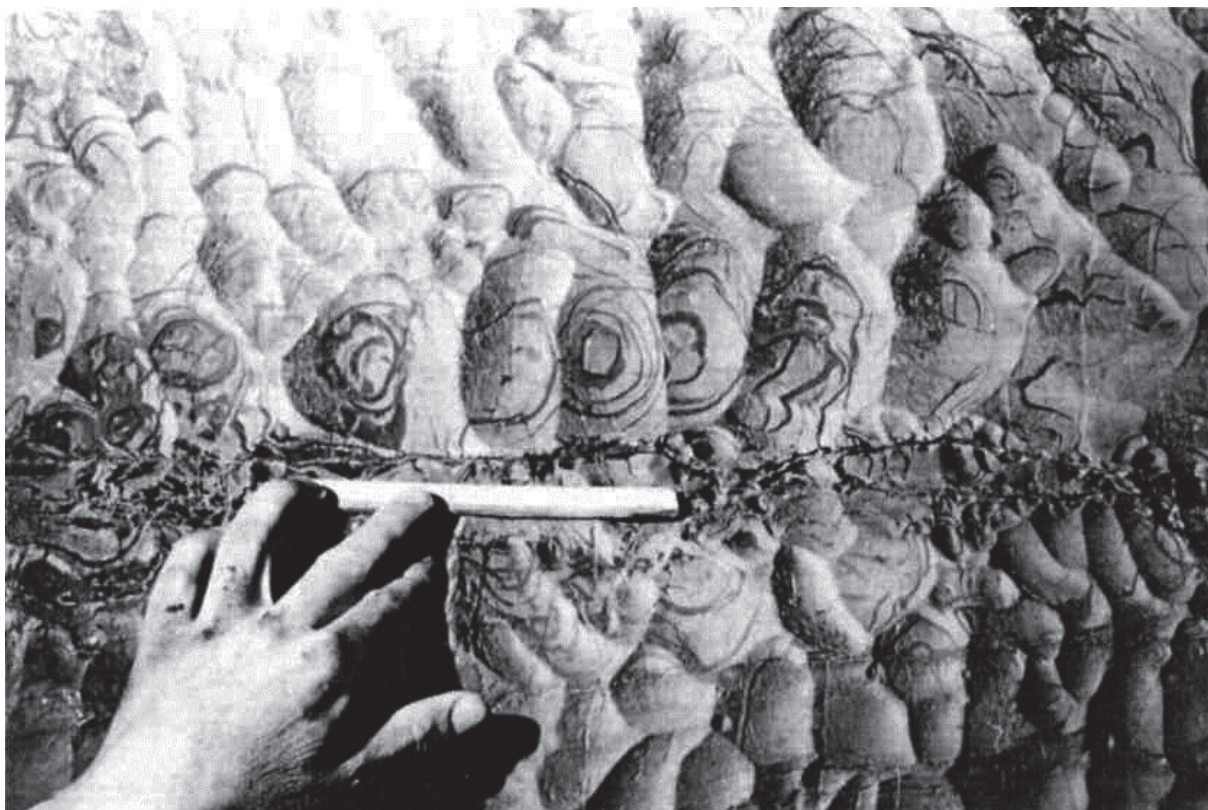
Na dolomitu so fasete še bolj redke, če pa že nastanejo, so praviloma neizrazitih oblik. Na tleh korita v Stinkotovem rovu v Turkovi jami so na dolomitu 5–7 cm dolge vdolbinice, ki so nekoliko poglobljene na pritočni strani. V Križni jami in v Velikem Hublju iz dolomita štrlijo manjši in večji skupki kristalov sparitnega veziva. Faset ni, so pa v površino dolomita, ki štrli iz sten, zajedene posamezne majhne vdolbinice. V Jami v Peklu na Kočevskem so nastale majhne mreže faset le na posameznih odsekih biosparitnega dolomita, ni pa jih na zdrobljenem mikrosparitnem dolomitu, ki nima kalcitnih žilic.

2.1.25 Fasete na pretrtem apnencu Podstrešja v Mali Boki (merilo = 15 cm)

Razpoke so prazne ali pa so zapolnjene s kalcitom. Ob drobnih razpokah so fasete lahko podaljšane (T. Slabe, 1989, 203), povezane v nize, gosta drobna razpokanost pa povzroča večje razlike v smereh faset in njihovi velikosti. Ob razpokah so robovi faset pogosto nazobčani. Razmerja med največjimi in najmanjšimi fasetami v mrežah, ki nastanejo na razpokanih kamninah, pa dosegajo tudi 3 (sl. 2.1.25).

Na gosto pretrti in zdrobljeni kamnini faset ni. So le na morebitnih vmesnih, večjih in nerazpokanih površinah. Stene so zato razčlenjene v konice, ob izrazi-

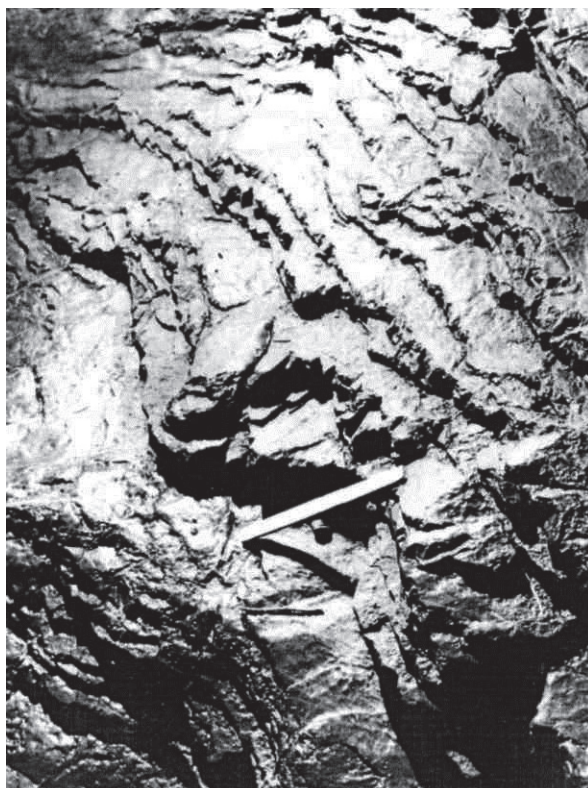




2.1.26 Fasete, ki prečijo kalcitne žile v Križni jami (merilo = 15 cm)

tejših razpokah pa v stenske nože. Drugače pa vplivajo na oblikovanje faset razpoke, ki so zapolnjene s kalcitnim vezivom. Vezivo je pogosto nekoliko odpornejše od okoliške kamnine in nekaj mm štrli iznad ostale površine. Vpliva na manjše fasete (Križna jama), na večjih se pogosto ne pozna (Ponikve v Jezerini). Kjer pa kalcitne žilice prepredajo kamnino vzporedno s površino stene, na kateri so fasete, se njihov vpliv ne pozna veliko (sl. 2.1.26). Če kalcitno vezivo premalo trdno povezuje kamnino, ta v vodnem toku ni obstojna. Od nje se krušijo manjši kosi kamnine. V Finkovi jami je močno prekrystaliziran apnenec sestavljen iz večjih sparnitnih kristalov. Zato na stenah ni majhnih faset, ki bi jih vrezal vodni tok, ki doseže hitrost 1 m/s. Majhne površine dolomita, ki je krojiv (sl. 2.1.27) in ga obliva hiter vodni tok v Pucovem breznu, so gladke. Krojivost povzroča, da se površina členi v majhne stopničke.

Fasete so usmerjene proti robovom stenskih nožev, odlomnih površin in skalnih blokov ter temu tudi oblikovno prilagojene. Na odstopanje smeri posameznih faset od lokalne smeri vodnega toka in na njihovo različno velikost vplivata tudi drobna razpokanost kamnine in



2.1.27 Tla dolomitnega korita v Pucovem breznu (merilo = 15 cm)

njena nehomogenost. Fasete od osnovne smeri odstopajo tudi do 30°. Takšno odstopanje je značilno zlasti za mreže večjih faset, ko ob štrlečih delih kamnine nastanejo »cvetovi« (sl. 2.1.8). V njih se voda razliva na različne strani in smeri posameznih faset odstopajo tudi za 60°.

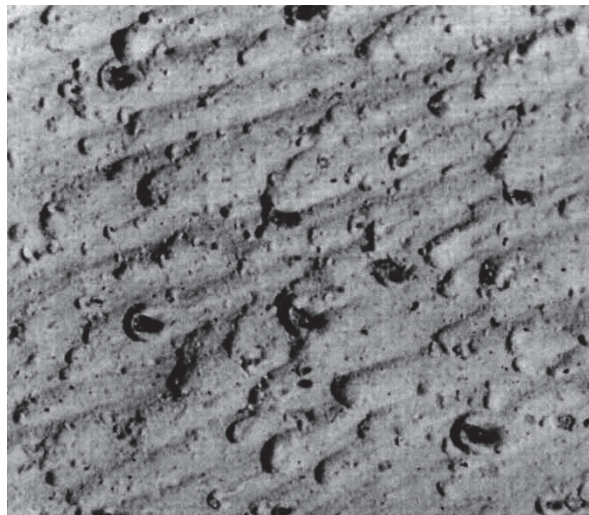
Površina faset

Pogosto se po površini faset sklepa na proces njihovega oblikovanja. V primerjavi s površino drugih skalnih oblik je površina faset dokaj gladka. Lahko pa tudi površino faset razdelimo na gladko in hrapavo, kar je posledica sestave in razpokanosti kamnine. Hrapavost je sestavljena iz štrlečih delcev ali pa vdolbinic, žlebičkov, skratka, konkavno zajedenih oblik. V prvem primeru so to večji sparitni kristali, kalcitne žilice, fosili, intraklasti v mikritni osnovi. V drugem pa so konkavnosti vezane na hitreje topljive dele ali pa na drobne razpoke (sl. 2.1.25). Iz štrlečih delcev lahko ugotovimo tudi smeri toka v faseti. Na pritočni strani se površina kalcitnih žilic postopoma izklinja, na odtočni strani pa je strma, odsekana ob plasti kalcita.

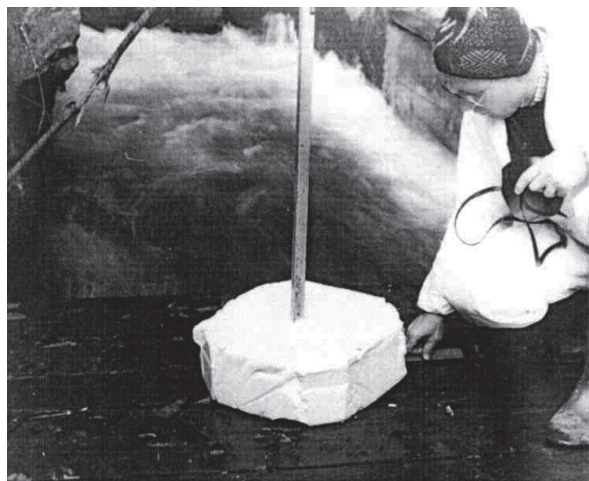
Površine majhnih faset, tudi če so nastale na nekoliko nehomogeni kamnini, so bolj gladke od večjih (2.1.4.1.). Gladke so tudi površine majhnih faset na paleogenskem apnencu. V Ocizeljski jami (sl. 2.1.3) se alveoline, numuliti in orbitoline na površini faset ne odražajo, saj je ta gladka. Večjim fasetam v Ponorni jami Lokve v Predjami dajo hrapavost rudisti, ki štrlijo iz površine, majhne fasete pa na takšni kamnini v Pivki jami (sl. 2.1.20) niso mogle nastati. Fosili v kamnini so torej različno odporni proti vodnemu toku. Površina faset na peščenjaku je drobno hrapava, kar je posledica sestave kamnine. Gladka površina majhnih faset se razloči tudi iz opazovanja pod velikimi povečavami vrstičnega elektronskega mikroskopa (2.1.4.1.).

Laboratorijsko oblikovanje faset na mavcu

Po nerazpokanem in dokaj homogenem, v polkrožen žleb odlitem mavcu, ki se ga je v vodi raztopilo 1,4 g na liter, se je pretakal vodni tok s hitrostjo 1 m/s. Debelina toka je bila le 0,5 cm. V nizkem toku se je voda razporedila v ozke in nekaj cm dolge, skoraj vzporedne tokovnice. Nastale so fasete (sl. 2.1.28), ki so dolge 5 mm, široke 2,5 mm in globoke 2 mm. Podobne so tistim v tretji skupini. So večinoma odprte. Ob ovirah, ob nekoliko večjih zrnih, je voda najprej izdolbila vdolbinice in zrna nato odnesla. V dveh urah so iz vdolbinic nastale fasete, po štirih urah se njihova oblika ni več izrazito spreminjala. Podoben poskus sem ponovil z vodnim tokom, ki je imel hitrost 0,2 m/s. Tudi v tem primeru so nastale podolgovate, a nekoliko večje fasete.

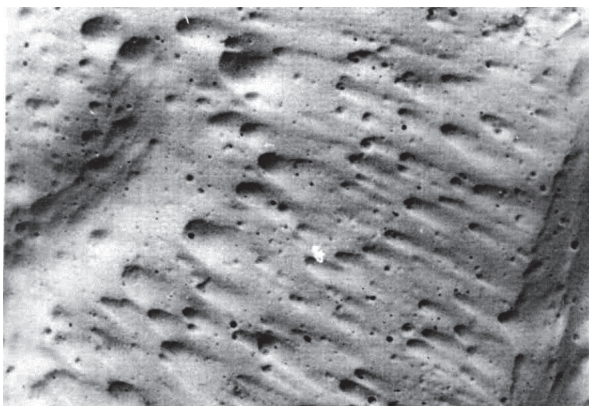


2.1.28 Fasete na mavčnem žlebu



2.1.29 J. Hajna z mavčnim blokom pred Planinsko jamo

Večji osmerokotni mavčni blok (sl. 2.1.29) z ravnimi stranskimi in zgornjo ploskvijo ter s premerom 1,2 m smo potopili v umetno strugo, ki vodi do hidroelektrarne pred Planinsko jamo. Površina bloka je bila 1,5 m pod gladino vode, ki se je pretakala s hitrostjo 1,4 in 0,9 m/s. V obeh primerih so na bloku nastale fasete (sl. 2.1.30). Fasete so se izoblikovale že po dveh urah, njihova velikost in oblika se nato nista več spreminjali. V prvem primeru so bile dolge do 1 cm, v drugem pa do 1,5 cm. Fasete so ozke (do 0,5 cm) in razmeroma dolge (tip 3). Dokaj izrazito so poglobljene na pritočni strani, na odtočni pa se polagoma izklinjajo in so odprte. Značilni sta tudi razporejenost in usmerjenost faset na površinah, ki so vodnemu toku izpostavljene pod različnimi koti. Na sredini pritočne stranske ploskve, ki je bila pravokotna na smer vodnega toka, so nastale vdolbinice, na obrobni delih ploskve pa fasete.



2.1.30 Fasete na mavčnem bloku



2.1.31 Fasete na pritočni ploskvi mavčnega bloka

te, ki so usmerjene k robovom (sl. 2.1.31). Podobno je oblikovan tudi blok v strugi Podpeške jame. Na ploskvi (sl. 2.1.32), ki je bila vodnemu toku izpostavljena pod kotom 45° , so bile fasete po vsej površini. Na začetku so fasete vzporedne s tokom, na drugi polovici so usmerjene k robovom. Na ploskvi, ki je bila vzporedna s smerjo vodnega toka, so tudi fasete usmerjene v smeri toka. Na zadnji strani bloka, ki je bila prečno na smer toka, a v zatišju, so nastale le majhne vdolbinice. Na zgornji ploskvi mavca so na začetku fasete vzporedne z vodnim tokom, na odtočni strani pa so usmerjene

k robovom bloka. Tako so razporejene tudi fasete na skalnih blokih v jamskih strugah, preko katerih se pretakajo odprti vodni tokovi in so tik pod vodno gladino (struga v Škocjanskih jamah). Velikost faset na mavcu je nekoliko manjša od tistih, ki pri enakih pogojih nastanejo na apnencu.

Predvidevam, da so fasete na hitreje topni kamnini manjše. Fasete, ki so nastale na bolj homogenem mavcu, so bolj pravilnih oblik in njihova površina je bolj gladka (sl. 2.1.30). Tiste, ki pa so na mavcu z zrni peska, so bolj raznolikih oblik in hrapave (sl. 2.1.28).



2.1.32 Fasete na stranski ploskvi mavčnega bloka

Fasete so nastale z raztapljanjem mavca, le večje, ne-topne delce je odnašala voda. Tudi ostri robovi mavca, ki se ohranijo v hitrem vodnem toku, dokazujejo, da se fasete na njem oblikujejo s korozijo.

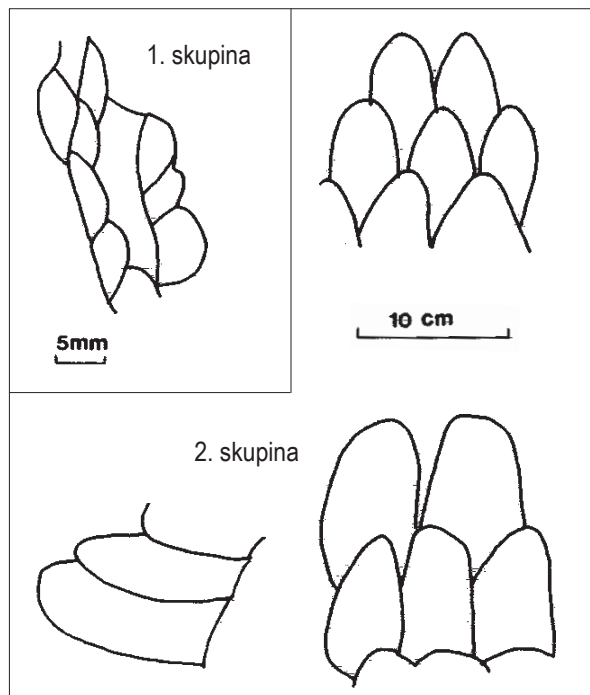
Nastanek in razvoj faset

J. R. L. Allen (1972, 7) poudarja, da fasete nastanejo le, če so nehomogenosti v kamnini dovolj velike, da se oblikujejo samostojni vrtinci ob steni. Enako meni tudi S. Trudgill (1985, 75), ki dodaja, da boljše mešanje vode povečuje lokalno stopnjo korozije. D. Ford (1988, 46) meni, da fasete nastanejo z ločitvijo nasičene mejne plasti v subkritičnem režimu toka, kar omogoči agresivnemu toku raztapljanje in sublimacijo produktov neposredno, brez vmesne difuzije skozi ionski ovoj. Leto kasneje s P. Williamsom dodajata (1989, 305), da so prekinitve mejne plasti bolj pogoste, čim hitrejši je vodni tok, povzročajo pa, da vodni tok erodira kamnino neposredno.

Pri nastanku in oblikovanju faset so odločilni naslednji dejavniki: kamnina, hitrost in pritisk vodnega toka z določeno viskoznostjo in agresivnostjo vode, velikost rova in oblika oboda. Omenjeni dejavniki se prepletajo v različnih razmerjih, vendar kot je predstavljeno na naslednjih straneh, so osnovne značilnosti oblikovanja različnih mrež faset določene predvsem s hidravličnimi razmerami in manj s kamnino. Na izrazito nehomogeni kamnini fasete ne morejo nastati.

Hitrost vodnega toka določa kritični premer vrtincev v njem, manj pa nanje vplivajo manjše nehomogenosti v kamnini. Na razporeditev faset, vplivajo poleg hidravličnih razmer in geometrije prostora, predvsem nehomogenosti v kamnini. To se je lepo pokazalo tudi pri poskusu z mavcem (sl. 2.1.28). Na mavcu je ob oviri voda najprej izdolbla vdolbinice. Ovire, nekoliko večje drobce mavca, je nato odnesla. Hkrati nastajajo vdolbinice in nato fasete tudi na bolj topnih delih mavca in ob razpokah. Voda v vrtincih kroži pravokotno na površino, ki jo obliva, kar nam potrjuje tudi odtočni podaljšani in plitkejši del fasete. Fasete, ki so nastale ob redkih ovirah in niso povezane v mrežo ali pa so nastale ob robu odsekanih skalnih površin, so odprte. To potrjuje tudi poskus na mavcu. Posamezna fasete je torej odprta. Če je kamnina dokaj homogena in pritisk vode nanjo dovolj velik, jo enakomerno prekrijejo vrtinci in razvije se mreža faset. Na homogenem pesku nastanejo »valovi« (K. J. Hsu, 1989, 108), ki so podobni enakomerni mreži zaprtih faset. Enakomerno razporeditev nehomogenosti omogoča zrnata sestava karbonatnih kamnin. V mreži prevladujejo zaprte fasete, ki so različnih oblik, največ pa jih ima polkrožne pritočne in trikotne iztočne dele. Z dobrim poznavanjem hidravličnih značilnosti vrtinča-

stega toka in sestave kamnine lahko torej določimo razmerje, pri katerem nastanejo fasete. S hitrejšim tokom, ko je velikost gostih ovir na nehomogeni kamnini skorajda enaka dolžini faset, le te ne nastanejo. Ovire povzročajo preveliko kaotičnost vrtinčenja in onemogočajo nastanek samostojnih vrtincev. Za nastanek mreže faset mora biti velikost vrtincev večja od velikosti sestavnih delcev kamnine, razdalja med delci pa manjša od dolžine faset. Fasete nastanejo torej le na posameznih odsekih oboda, ki so dovolj veliki za razvoj mreže vrtincev, in so večji od dolžine fasete (sl. 2.1.21). Medtem ko večji delci kamnine lahko hitremu toku preprečijo oblikovanje faset, pa v počasnejšem vplivajo predvsem na oblikovanje mreže. Ob večjih nehomogenostih pogosto nastanejo »cvetovi«. V njih se voda razliva na več strani. Za apnenca je značilna zrnata sestava z omejeno homogenostjo. Pri večjih hitrostih vodnega toka, na podlagi terenskih opazovanj predvidevam pri večjih kot 6 m/s, tudi na dokaj homogeni kamnini, fasete ne morejo nastati. Opazil sem več značilnih povezav faset v isti mreži (sl. 2.1.33). Ločimo fasete, ki imajo dokaj popolne oblike in tiste, ki so podrejene načinu povezovanja v mrežo. Razmestitev vrtincev, ki na za to primerni kamnini prekrijejo vso površino, najprej določa kamnina, ko pa se vzpostavi ravnotežno stanje, za kar je potreben stacionarni tok, pa vrtinčenje pogojuje oblike faset samih. Med začetnimi vrtinci nastanejo še vmesni, ki med seboj tekmujejo. To dokazujejo posamezne nesorazmerno majhne fasete v mreži. Po določenem času fasete v ena-



2.1.33 Značilne mreže faset prve in druge skupine

komernem toku dosežejo svojo mejno velikost in ravnotežno stanje. Pri poskusu na mavcu se velikost fasete po dveh urah ni več spreminjala. Fasete v takšnem stanju imajo navadno ostre robove. Največja ovira vodnemu toku je pritočna stena fasete, ki je nabolj pravokotna na vodni tok. Korozija in erozija sta na tej površini najbolj učinkoviti in fasete se zato »selijo« po toku navzdol. Seljenje pa omejuje kamnina, še zlasti razpoke, na katere se pogosto vežejo manjše fasete.

Z naraščanjem hitrosti vodnega toka se manjša premer vrtincev in tako tudi faset. Najmanjše fasete, ki sem jih našel v izbranih jamah, so bile dolge 0,4 cm in najdaljše 40 cm. Izjema so velike fasete. Nastale so torej z vodnim tokom, ki se je pretakal s hitrostjo od 6 do 0,05 m/s, če računamo po formuli B. Lismonda in A. Lagmanija (1987, 38): $UL/v = 22000$ v poenostavljeni različici ali v popolnejši obliki: $UL/v = 20700(1 + 0,266(\ln(D/2L) - 1,5))$, ki se uveljavi le za rove pravih krožnih prereзов. U je hitrost toka, L je poprečna dolžina faset. Tovrstni izračuni hitrosti vodnega toka so se dokaj ujemale s tistimi, ki smo jih dobili na podlagi velikosti prodnikov, ki jih prenaša voda. Začetna velikost fasete je odvisna predvsem od kamnine. V Vzhodnem rovu v Predjami so fasete še majhne vdolbinice s premerom 1 cm. So na stiku z gladko površino. Za njimi, na odtočni strani, pa je razvita mreža faset, ki je nastala z vodnim tokom s hitrostjo 2,5 m/s. V Markovem spodmolu so na strmih delih struge najmanjše fasete dolge le 0,4 cm, torej nakazujejo hitrost vodnega toka 6 m/s in drobnozrnato, homogeno kamnino, na kateri nastajajo. Pri velikih fasetah, ki imajo premer večje od 50 cm, pa smeri vodnega toka ni več moč razbrati, saj vrtinci, ki so jih vrezali, nimajo izrazitih iztočnih repov.

Velike hitrosti so značilne predvsem za odprte vodne tokove, in to predvsem na površju, saj jame z različnimi preseki rovvov zaradi omejene prepustnosti uravnavajo hitrost pretoka skozi. To je verjetno tudi eden razlogov, da v koritih površinskih tokov faset praviloma ni. Svoje pa prispeva tudi erozija.

Po zbranem gradivu sklepam, da po obliki podobne fasete nastajajo v enakih hidroloških pogojih. V istih skupinah, zlasti v drugi, so fasete različnih velikosti. To je posledica različnih hitrosti vodnega toka. Fasete lahko nastanejo le, če je premer toka večji od dolžine faset (R. L. Curl, 1966), torej, če lahko ob določeni hitrosti vodnega toka nastanejo samostojni vrtinci. Pri poskusu na mavcu sem ugotovil, da na povezanost faset v gosto mrežo vpliva tudi debelina toka, torej pritisk na steno. V plitkem toku so nastale dolge, plitke in odprte fasete, ki sodijo v 3. skupino. Hitrost toka blizu sten je manjša v širših rovih in fasete so tako večje (M. Serbon, 1987, 16). V cevastem rovu v Mali Boki so

fasete enakih dolžin tako na stropu kot na tleh, so pa talne fasete skorajda za tretjino širše. Oblikovanje faset s tokom, ki ima enako debelino, a z različno hitrostjo obliva steno, je primerjal J. R. L. Allen (1972, 13). Ugotovil je, da zaradi hitrejšega toka nastanejo manjše fasete. Ko je tok zelo plitek, nastanejo tanke vzdolžne tokovnice, kar sem potrdil s poskusom na mavcu in se to odraža tudi na podornem bloku deloma preperle sige v Mali Boki.

Ko je rov dovolj velik in homogena skalna površina večja od kritičnega premera vrtincev, tako da se pri določeni hitrosti razvije samostojno vrtinčenje ob stenah, nastanejo fasete, ki smo jih po obliki uvrstili v drugo skupino. Sorazmerno z večjo hitrostjo toka se manjša dolžina faset in sorazmerno z naraščanjem pritiska na stene se večja njihov radij, fasete pa so globlje.

V prvi skupini, kjer so fasete razvrščene v prečne nize, na njihovo oblikovanje vpliva tudi velikost prostora. Praviloma so takšne fasete nastale v ožinah rovvov ali pa na stenah talnih žlebov. Vrezal jih je hiter vodni tok, ki je z manjšim pritiskom deloval na stene. Predpostavljam, da velikost rova narekuje enakomerno vrtinčenje toka čez ves prevez.

V tretji skupini so najbolj podolgovate fasete. Zanje je značilno, da nastanejo, ko kamnino obliva plitek, odprt vodni tok. Njegov pritisk na steno je majhen. Zato je tudi značilna lega faset na skalnih blokih ali pa na izpostavljenih konveksnih delih jamskih strug in na stenah tik pod gladino višjega toka. Za oviro se tok sprošča. Značilna je mreža faset na pritočnem robu skalnega bloka (sl. 2.1.12), ki nastane zaradi značilnega oblikovanja skale. Mreža je ožja na pritočni strani, na odtočni strani pa se razširi. Fasete nastanejo ob enotnem vrtincu, saj so zavite.

Podskupini 1-2 in 2-3 sta kombinaciji osnovnih skupin. V skupini 2-3 so fasete značilno podolgovate zaradi izpostavljenosti na višjih delih v strugi. Vodni tok nad njimi pa je višji, torej z večjim pritiskom obliva stene kot pri fasetah 3. skupine.

V hitrejšem vodnem toku so vrtinci manjši in tanjša je mejna viskozna plast ob kamnini. Vrtinčasto jedro se približuje steni. Ob večji hrapavosti kamnine in višji hitrosti vodnega toka je ta mejna plast zanemarljiva in vrtinci neposredno vplivajo na kamnino. Sočasno s tanjšanjem mejne plasti, ki je odvisna tudi od viskoznosti tekočine, se tanjša tudi mejna difuzijska plast. To vodi omogoča hitrejši prenos reaktantov in prduktov raztapljanja, kar pospeši korozijo. Ob stanjšani mejni plasti voda s svojo maso erozijsko neposredno deluje na kamnino. Površina faset je zato pogosto gladka.

Pri nastanku faset na karbonatni kamnini sta pomembna oba procesa, tako lokalno hitrejša raztaplja-

nje kot neposredno erodiranje kamnine z vodno maso. Na peščenjaku (sl. 2.1.24), ki je sestavljen iz delcev kremenca, povezanih s kalcitnim vezivom, se fasete oblikujejo tudi z neposrednim erozijskim delovanjem viskozne vodne mase. Voda odnese kremenove delce, ko raztopi kalcitno vezivo. Pri oblikovanju faset na odpornejši karbonatni kamnini večji delež prispeva korozija. To potrjujejo tudi mikroskopska opazovanja površine majhnih faset (2.1.4.1.), ki so tudi pod večjimi povečavami gladke. Erozijsko zglajene površine so namreč pri velikih povečavah drobno hrapave. Erozijska moč vode je večja v hitrejšem vodnem toku. Korozijo namreč omejuje proces na površini. Voda odnaša počasneje topne delce kamnine. Fasete, ki so nastale pri poskusu na mavcu, so posledica raztapljanja mavca, le večji delci, ki štrlijo iz površine, so odneseni neposredno z vodnim tokom. Fasete praviloma ne nastanejo v rovih s prevladujočim erozijskim delovanjem vodnega toka (Babja jama). Obod takih rovov je zglajen.

Iz primerjave nasičenosti voda in oblikovanosti skalnega reliefa v ponorni Finkovi jami in izvirni Podpeški jami (Ribniška Mala gora) ugotovimo, da ima pri nastanku skalnih oblik večji pomen sestava kamnine kot pa nasičenost oziroma potencialna agresivnost vode. Ponorna voda je 21% nasičena, izvirna pa 60% (A. Kranjc, 1981, 52). V Finkovi jami so stropne kotlice, skalni relief Podpeške jame pa je izrazito oblikovan z različnimi fasetami in stropnimi kotlicami. V prvi je kamnina močno prekrystalizirana, v drugi obod sestavlja dokaj homogen oosparitni apnenec.

Različno visoke in korozivno agresivne vode imajo različen pomen pri oblikovanju skalnega reliefa. V Škocjanskih jamah visoke vode vrezujejo fasete, dno struge pa je prekrito s tanko plastjo sige. Res pa je, da je tudi hitrost visokih voda največkrat večja od nizkih. To je še ena potrditev, da le del voda zapušča sledi na skalnem reliefu.

Je nastanek faset mogoč le ob znatnem stanjšanju ali prekinitvi mejne plasti, ko je njen vpliv na korozijo in erozijo zanemarljiv? V agresivni vodi bi lahko že približevanje vrtincev, ki jih povzročata trenje ob mejni plasti, povzročilo hitrejšo raztapljanje kamnine zaradi lokalno tanjšega difuzijskega sloja. Tako bi lahko nastale večje fasete, ki so posledica počasnega vodnega toka in pri katerih kamnina ne vpliva veliko na njihovo oblikovanje. V Ponorni jami Lokve rudisti, ki štrlijo iz površine, ne vplivajo na obliko srednje velikih faset.

Treba bo natančneje opredeliti pomen kamnine pri oblikovanju različnih skupin faset. Hitrost raztapljanja kamnine, kot je pokazal tudi poskus z mavcem, vpliva na obliko in velikost faset. Če se kamnina topi hitreje, so fasete manjše in značilno razpotegnjene (skupina 3).

Fasete sooblikuje ali preoblikuje tudi material, ki ga prenaša voda. Pesek, ki je pretežak, da bi ga vodni tok vključil v pravokotno vrtinčenje, ki vrezuje fasete, se vrtili vzporedno s skalno površino. Fasete so zato na dnu krožno, erozijsko poglobljene (sl. 2.1.34). V občasno zalitih rovih (Osapska jama), kjer počasne vode odlagajo ilovico, Korozija pod naplavino pogloblja in širi fasete. Gre torej za kombinacijo faset in podnaplavinskih vdolbinic.



2.1.34 Fasete, ki jih je poglobila erozija v Vzhodnem rovu Predjame (merilo = 15 cm)

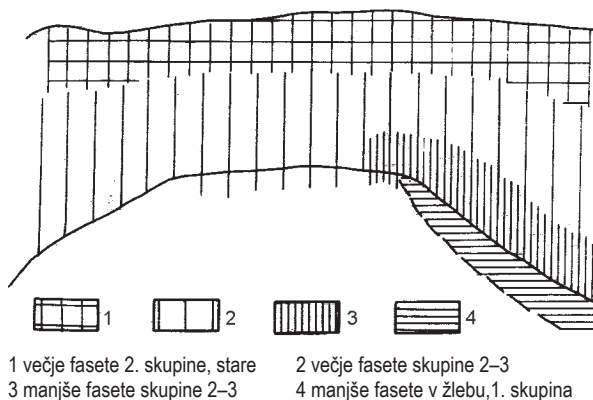
Fasete nastanejo v singenetskih in paragenetskih rovih. V prvih so lahko v zalitem rovu, v rovu, skozi katerega se pretaka odprti vodni tok, v meandrih, v paragenetskih rovih pa večje fasete nastanejo zaradi toka nad drobnozrnato naplavino. Fasete so torej lahko na celem obodu ali le na delu oboda. Na obodu prevladujejo ali pa se pojavljajo v kombinacijah z drugimi oblikami, na primer s podnaplavinskimi žlebiči in vdolbinicami. Zaradi učinkovitosti vodnega toka so tudi v drugem primeru prevladujoče.

Nastanek reber

Nastanek reber je opredelil R. L. Curl (1966). Nastala naj bi zaradi dolgotrajnega oblikovanja stene s tokom enake hitrosti. Ugotovimo pa lahko, da so rebra značilna za vzdolžne, polkrožne stenske zajede. Te se oblikujejo zlasti ob tanjših skladih apnenca, ki so različno odporni v vodnem toku. Neizraziti prečni robovi v rebrih, ki se vrstijo na razdalji, enaki njihovi širini, kažejo, da so rebra skrajni primer faset 1. skupine. Predvidevam, da je za njihov nastanek odločilno določeno razmerje med hitrostjo in lokalno dimenzijo vodnega toka, ki jo določa premer rova ali pa zajede v steni. V njih se vodni tok značilno vrtinči.

Nekaj primerov značilnega oblikovanja faset

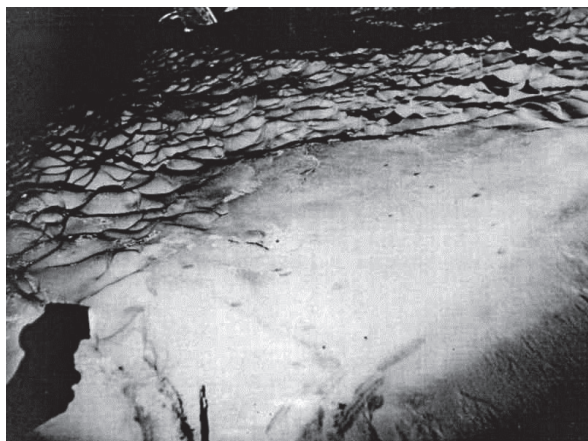
Prepletu različnih oblik faset lahko sledimo na majhnem odseku izbočenega, podkvasto zavitega rova v Markovem spodmolu (sl. 2.1.35). Tla pritočnega dela rova, ki se pod kotom 25° dviguje navzgor, so do začetka zavoja, torej v najbolj strmem delu tal, gladka (sl. 2.1.36). Na zunanjem robu polkrožno zaključene gladke površine se na še malo navzgor nagnjeni površini začenjajo fasete skupine 2–3. Ta oblika je značilna za fasete, ki so na izbočenih delih tal ali pa na skalnih blokkih, za katerimi se tok skokovito poglobi. Takšne fasete so tudi na spodnjih delih sten. Na tleh, ki se v nadaljevanju spuščajo navzdol z manjšim strmcmem (10°), sledijo manjše fasete skupine 2–3, ki so značilne za hitrejšje, plitkejšje vodne tokove. Dolge so 2–5 cm in globoke 1,5 cm. Na tleh, ki se na odtočnem delu strmo spuščajo navzdol, so najmanjše fasete. Sprva so dolge 2 cm, na najbolj strmem delu, kjer se struga zoži v polkrožen žleb, ki ima naklon 45° in več, pa so fasete 1. skupine dolge le 0,42 cm. Povezane so v prečne nize. Prehodi med različnimi fasetami so seveda postopni. Na zgornjih delih sten in na stropu so večje fasete 2. skupine, ki so značilne za zalite rove. Te fasete so starejšega porekla in kaže, da so prekrivale cel obod rova. Nato so jih na spodnjih delih sten in na tleh prekrile manjše fasete, ki jih je vrezal hiter, odprt vodni tok. Oblika in razporeditev faset sta torej pogojeni s spremenjenimi hidravličnimi razmerami v značilno oblikovanem rovu.



2.1.35 Razporeditev faset v delu rova v Markovem spodmolu

V ponorni jami Tenteri pod Ribniško Malo goro sem v vhodnem delu in v labirintnem spletu rovov izmeril dolžino faset.

Fasete na stropu, 8 m nad tlemi, so dolge 7 cm, na stenah proti tlem pa se manjšajo. Na robu struge, 1–2 m nad tlemi, so fasete dolge 5 cm. V strugi so pritočni, nekoliko dvignjeni deli, ki so vodnemu toku najbolj izpostavljeni, gladki, na njihovi odtočni strani



2.1.36 Gladka pritočna ploskev izbočenega dela tal v Markovem spodmolu in fasete za njo

pa se je oblikovala mreža majhnih faset, ki so dolge do 1 cm. V anastomoznem spletu rovov, v katerih tla in zlasti zgornje rove prekriva tanka plast ilovice, so fasete dolge 5–10 cm.

Če sklepamo iz velikosti faset po formuli B. Lismonda in A. Lagmanija (1987, 38), dobimo naslednjo razporeditev hitrosti vodnega toka v jami:

strop rova Tržiščice	0,35 m/s
korito Tržiščice, 1–2 m nad tlemi	0,50 m/s
tla korita Tržiščice	2,5 m/s
ožine anastomoznega spleta rovov	0,25–0,50 m/s

Po meritvah proda v jami A. Kranjc (1981, 52) sklepa, da ga prenaša voda, katere hitrost preseže tudi 2 m/s, torej je enaka tisti, ki vrezuje najmanjše fasete. Rov je najbolj prevoden ob nižjih ali srednje visokih vodah, saj ožina za rovom povzroča zastajanje visokih voda. Pritočne izpostavljene dele kamnine gladi tudi erozija. V anastomoznem spletu rovov, razen v ožinah, je tok počasnejši.

Podobno razporeditev različnih velikosti faset lahko opazujemo tudi v glavnem vodnem rovu Križne jame. Na razčlenjenem obodu struge so na izpostavljenih, spodnjih delih sten in na tleh fasete dolge do 3 cm, 1–2 m nad tlemi pa 5 cm. Na istih višinah, a v zatišnih legah stenskih niš, so fasete dolge do 8 cm. V ožini, v katero se prelivajo visoke vode in jo zapolnijo v celoti, so po vsem obodu majhne fasete, ki so dolge do 3 cm. Različna velikost faset je posledica različne hitrosti toka, ki obliva skalo. Ta je določena z vzdolžno prepustnostjo rovov in oblikovanostjo sten. V večjih rovih je pritisk na stene večji, v vmesnih manjših rovih pa se poveča hitrost toka.

V občasno ponornem Beško-Ocizeljskem jamskem sistemu so na stenah Novega rova velike fasete, ki ima-



2.1.37 Majhne fasete na velikih v Novem rovu v Beško Oczeljski jami (merilo = 15 cm)

jo premer 1 m in več. Na njih so le nekaj cm dolge fasete (sl. 2.1.37). To je posledica spremenjenega pretakanja vode skozi rov. Rov je bil najprej globoko zalit. Nato ga je le deloma preoblikoval hitrejši vodni tok, ki ni trajal dolgo oziroma se le redko pojavi ob visokih vodah.

Zanimiva je tudi razporeditev faset na velikem skalnem bloku, ki štrli iz korita Vzhodnega rova v Predjami. Blok je nagnjen v smeri vodnega toka. Na njem se menjavajo prečni pasovi gladke površine, ki so široki do 10 cm, in fasete, ki so dolge 2–10 cm. Odseki kamnine, ki je bolj strma, skorajda pravokotno izpostavljena vodnemu toku, so gladki (sl. 2.1.38). Takšne gladke površine so značilne za vse pritočne dele strmih ovir v strugah. Gladita jih material, ki ga prenaša voda, in samo erozijsko delovanje hitre vodne mase. Fasete nastajajo le na površinah, ki z manjšimi koti odstopajo od smeri vodnega toka.

Ugotovimo lahko, da je nastanek faset razmeroma kratkotrajen proces. Najbolj učinkovit vodni tok, ki zadnji obliva kamnino, je odločilen za oblikovanje jamskih sten. S. E. Lauritzen in sodelavci (1985, 143) so izračunali, da v proučevanem zalitem rovu nastajajo fasete le ob največjem pretoku, ta pa traja le 5% leta. Merjenje z mikrometrom jim je omogočilo sklepanje, da so se fasete v tem rovu oblikovale približno 800 let.



2.1.38 Fasete na veliki čeri v Vzhodnem rovu Predjame (merilo = 15 cm)

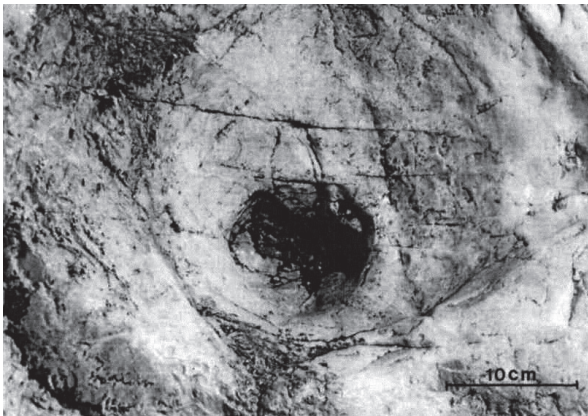
S poskusom smo ugotovili, da se po določenem času oblika in velikost faset ne spreminjata več. Razumljivo je, da mlajše, zlasti manjše fasete hitro prekrijejo morebitne starejše. Le del spreminjajočega toka vrezuje fasete, in to verjetno tudi ne najbolj dolgotrajen, temveč tisti, ki na strugo deluje najbolj učinkovito, kar smo ugotovili tudi na primeru vhodnega rova v Tenteri. Takšni so predvsem hitri in odprti vodni tokovi.

2.1.3.2 Stropne kotlice

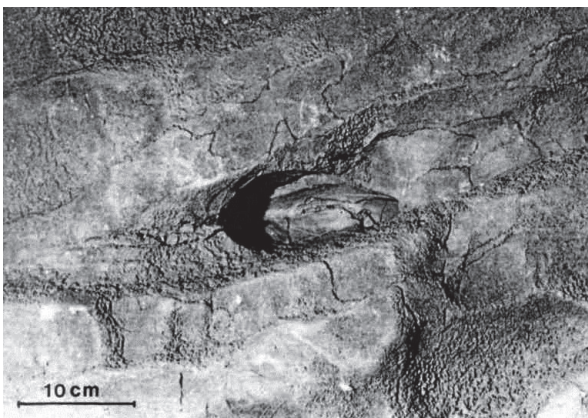
Y. Quinif (1973) je na podlagi značilnih oblik stropnih kotlic ugotavljal načine njihovega nastanka. Posebej je poudaril in s poskusom dokazoval pomen korozije mešanice. Sam tega procesa oblikovanja kotlic še nisem uspel dokazati. Ugotavljam pa, da so nastanek, velikost, oblika in položaj kotlic rezultat razmerja hitrosti in pritiska vodnega toka ter sestave in zlasti razpokanosti kamnine v značilno oblikovanih rovih.

Po mnenju Ph. Renaulta (1968, 582) in Y. Quinifa (1973, 569), ki povzema tudi mnenja drugih avtorjev, so kotlice značilnost rovov, skozi katere se pretaka počasen vodni tok, in imajo dno prekrito z ilovico. S. Trudgill (1985, 76) jih imenuje kupole, ki nastanejo zaradi vrtinčenja vode pod piezometričnim nivojem.

Ugotovimo pa lahko, da so kotlice sledi vrtničenja tako vodnih tokov v epifreatični kot freatični coni. Jame z epifreatičnimi vodnimi rovi so tudi Ponikve v Jezerini, Ponor v Odolini, Križna jama, Ponorna jama Lokve v Predjami, Osapska jama, Dimnice, stare jame pa so Trhlovca, Brlog na Rinskem, Stara jama v Postojnski jami in zgornji rovi v Predjami. Rovi so lahko zaliti v celoti ali pa le njihov del, kot je sifonski Krožni rov v Črni jami Postojnskih jam. V ponorni Griški jami pod Ribniško Malo goro, kjer se skozi začetni del jame počasneje pretaka voda po ilovici, so nastale kotlice tako na stropu kot na zgornjih delih sten. Vodni tok v njej je prepočasen, da bi vrezoval fasete. Skozi rove zalitih jam se pretaka srednje hiter vodni tok, po fasetah sklepam na njegovo hitrost od 25 do 50 cm/s, tla prekrivata prod ali ilovica. Najmanjše kotlice pa so na stropih manjših, navadno nekoliko dvigujocih rovov, pred katerimi so globlji sifoni. To so rovi v izvirnih jamah na vznožju visokega krasa. Hitrost toka v teh jamah preseže tudi 2 m/s (Babja jama), kar potrди tudi velikost proda. Spodnji deli oboda teh jam so po navadi erozijsko zglateni: Matijeva jama, Babja jama (sl. 2.1.39), ali pa fasetirani kot v Kompoljski jami (sl. 2.1.40).



2.1.39 Stropna kotlica v Peklu v Babji jami

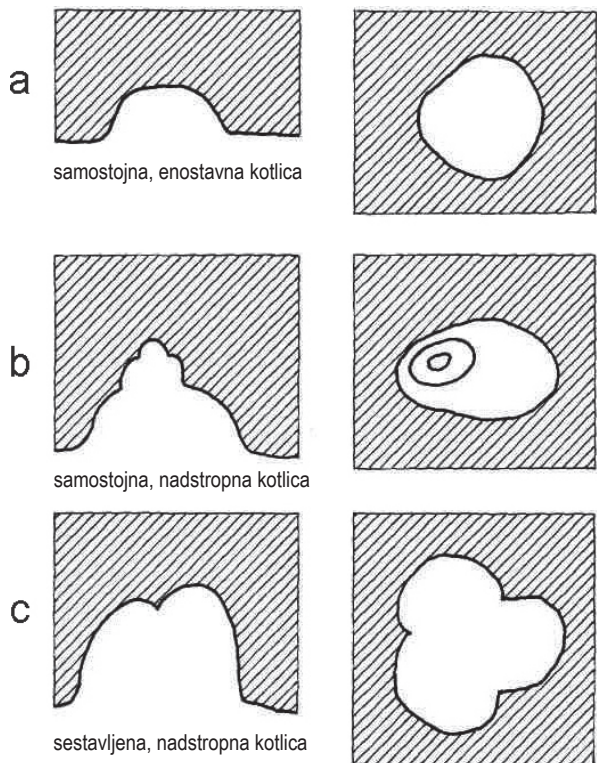


2.1.40 Stropna kotlica v Kompoljski jami

Iz skalnih oblik, ki so danes v suhih jamah, sklepam, da so kotlice nastale tudi v globlje zalitih, freatičnih rovih zaradi vrtničenja počasnega vodnega toka, o čemer pričajo tudi velike fasete na stenah Divaške jame, Dvorane palm v Pivki jami, Vodne jame v Lozi in večje niše za vhodom v Križno jamo (T. Slabe, 1989, 209).

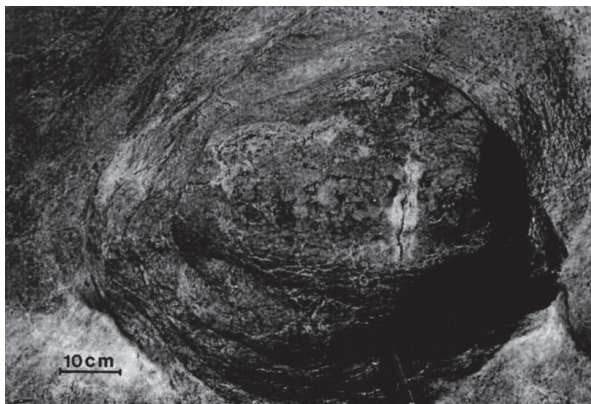
Oblika, velikost in lega stropnih kotlic

Po obliki sem stropne kotlice razdelil na samostojne in enostavne (sl. 2.1.94). Te sodijo v prvo skupino. Samostojna kotlica (sl. 2.1.41 a) se sama zajeda v skalo. Enostavna kotlica je enotnega, večinoma polkrožnega prereza, ki se oža navznoter. V drugo skupino sodijo samostojne in nadstropne kotlice (sl. 2.1.41 b). Nadstropnost mi pomeni skokovito spremembo premera kotlice. V tretjo skupino pa sem uvrstil sestavljene in nadstropne kotlice (sl. 2.1.41 c) na razpokani ali nerazpokani skali. Sestavljene kotlice imenujem tiste, ko je znotraj večje kotlice več manjših ali pa so enake in različne kotlice bočno povezane. Sestavljene kotlice so tudi nadstropne. Na manj razpokani skali so kotlice večinoma polkrogelne, ob izrazitih razpokah pa ožje in globlje. Slednje so v prerezu krožne ali pa razpotegnjene v elipse. Kotlice različnih oblik so lahko na istem stropu, kot so tudi v Zelških jamah, v Stari jami v Predjami, v Baru v Dimnicah (T. Slabe, 1989, MN, 29).



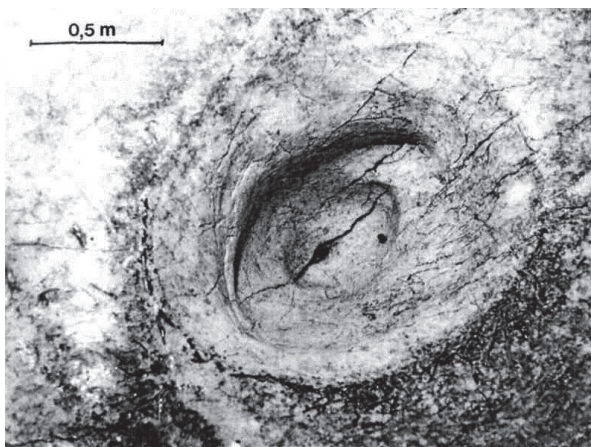
2.1.41 Tipi stropnih kotlic: vzdolžni in prečni prerez

Kotlice v prvi skupini lahko razdelimo na manjše in večje. Manjše kotlice, katerih premer meri od 8 do 15 cm, prav toliko so globoke, so dokaj regularnih polkrogelnih oblik ali pa so ob razpokah nekoliko podaljšane v elipse. Takšne kotlice so značilne za strope manjših rogov v izvirnih jamah v vznožju visokega krasa (sl. 2.1.39, sl. 2.1.40). V Matijevi jami (T, Slabe, 1989, MN, 188) so kotlice tesno druga ob drugi, torej povezane v mreži. Večje samostojne kotlice, ki imajo premer velik 30–150 cm, globoke pa so od 15 do 75 cm, so razmeroma plitke. Dna kotlic so polkrogelno zaobljena, njihove osi so praviloma bolj ali manj navpične. Tudi ob razpokah je globina takšnih kotlic manjša od premera vdolbine. Nekoliko globlje so kotlice na konkavnih stenah zavojev v Ozkem rovu (sl. 2.1.42).



2.1.42 Kotlica na zgornjem delu stene Ozkega rova v Ciganski jami

Samostojne nadstropne kotlice so široke 20–150 cm, globoke pa 30–120 cm. So torej globlje od enostavnih. Takšne kotlice so praviloma razčlenjene v 3–4 nadstropja in premer najožjega zgornjega dela je navadno 3–4 krat ožji kot premer odprtine. Kotlice, ki so glede na premer plitke, so polkrogelnih prereзов (sl. 2.1.43). Druge so ob



2.1.43 Stropna kotlica v Ponorni jami Lokve

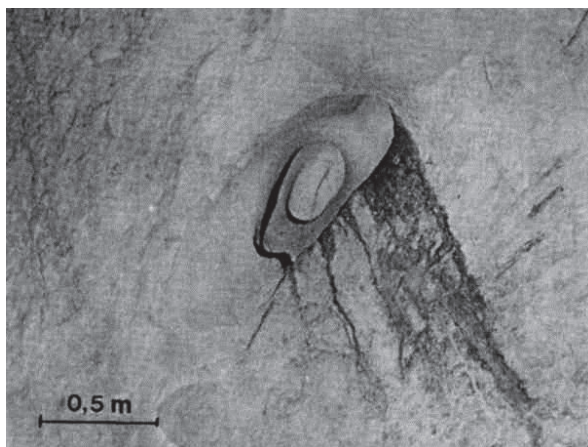
nadstropju razširjene (sl. 2.1.44). Ob izrazitih razpokah so kotlice ozke in globoke ter imajo oblike valjev, njihova dna pa so krožna in ravna (sl. 2.1.45). Poseben primer je spiralasto poglobljena kotlica (sl. 2.1.46).



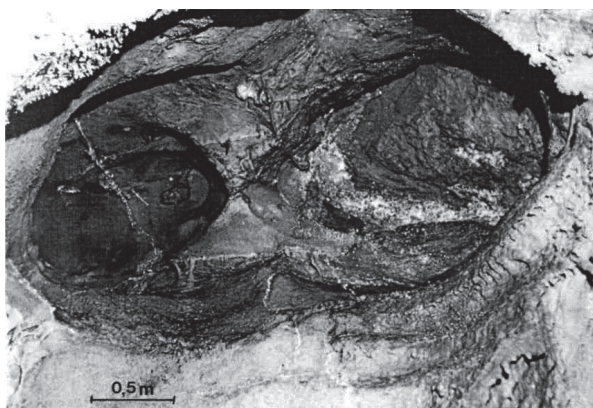
2.1.44 Stropna kotlica v Konjskem hlevu v Predjami



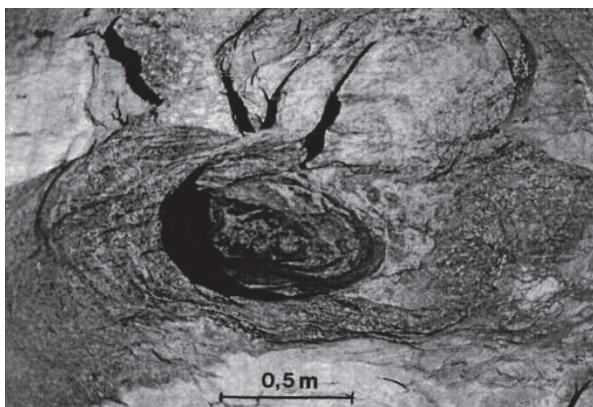
2.1.45 Stropne kotlice v Nebesih v Zadlaški jami (merilo = 15 cm)



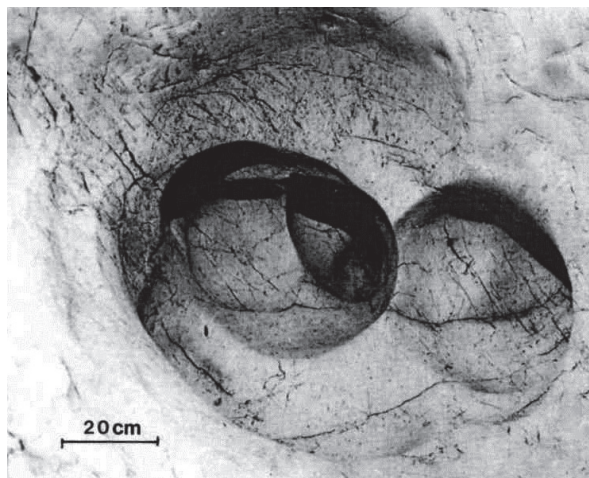
2.1.46 Stropna kotlica v Fiženci v Predjami



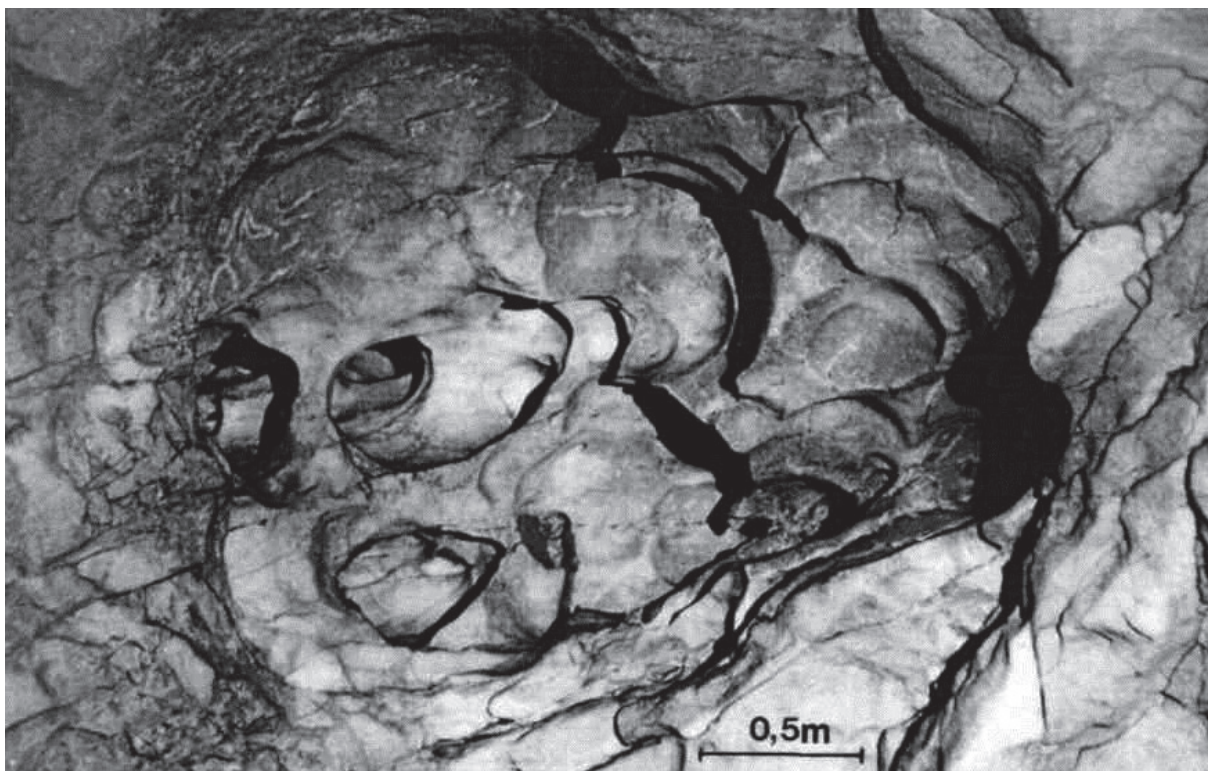
2.1.47 Stropna kotlica v Pretnarjevi dvorani v Divaški jami



← 2.1.48 Stropna kotlica v Stari jami Predjame

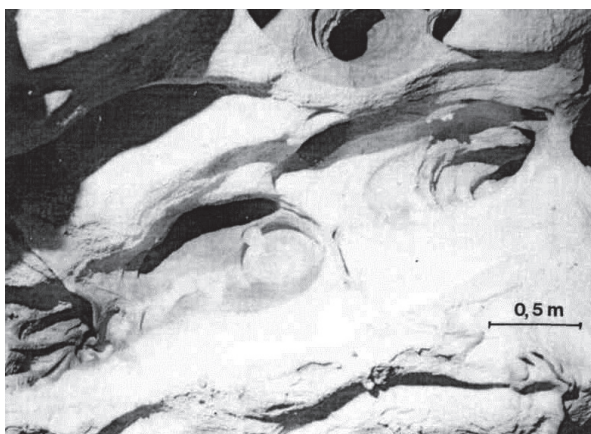


2.1.49 Stropna kotlica v Ponorni jami Lokve v Predjami



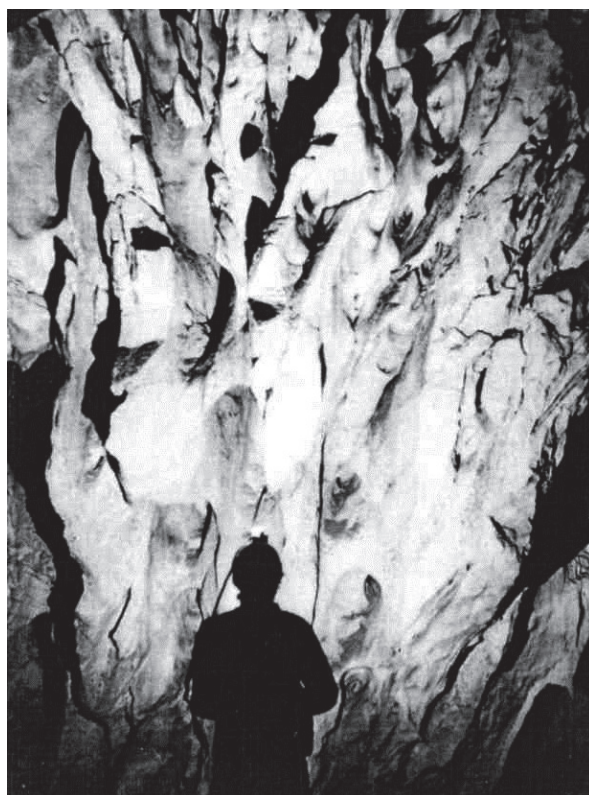
2.1.50 Stropne kotlice na razpokani skali v Stari jami Predjame

V dno sestavljene kotlice se zajedajo manjše (T. Slabe, 1989, 31) ali pa so bočno povezane. Povezujeta se dve (sl. 2.1.47) ali tri kotlice (sl. 2.1.48, 2.1.49). Praviloma je ena globlja. Ob razpokah so cesto povezane v nize. Najbolj gosto pa so kotlice povezane na razpokani skali, kjer so združene v večjo stropno zajedo (sl. 2.1.50).

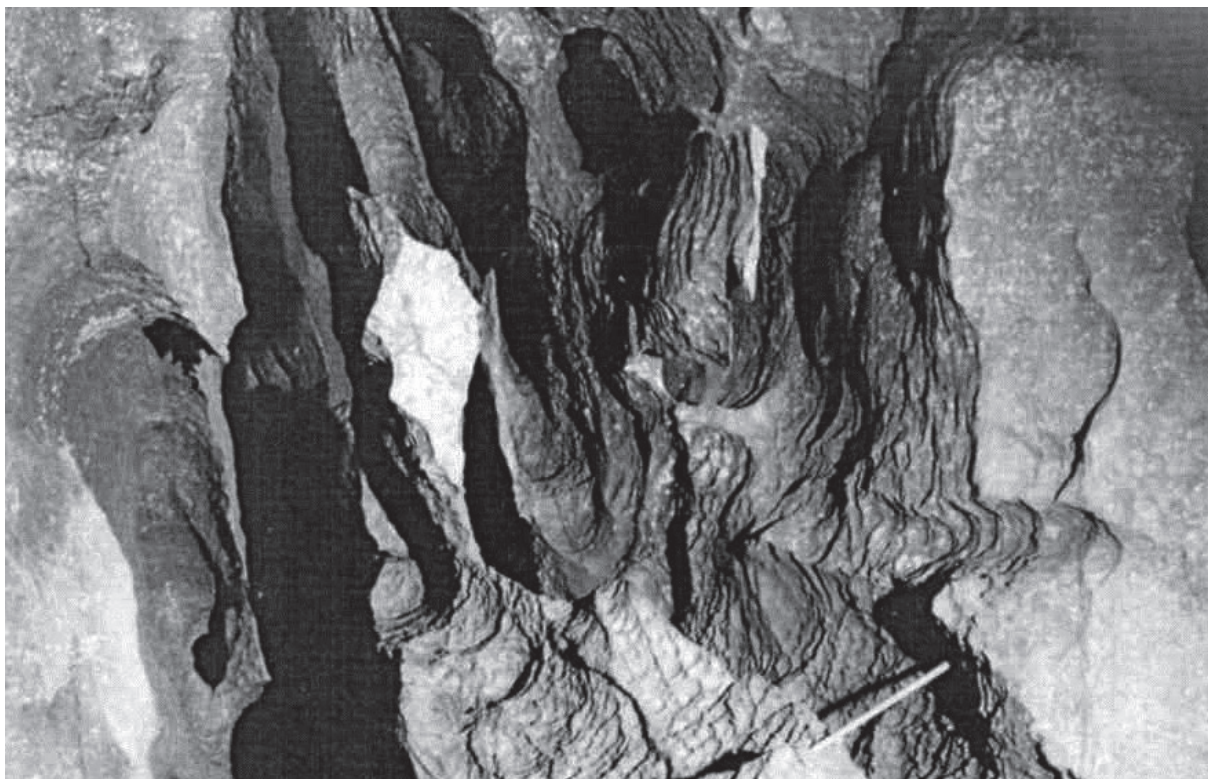


2.1.51 Stropne kotlice v Logaški jami

Kotlice v zasedi so različnih velikosti. Ob izrazitih razpokah se kotlice nadaljujejo v ozke špranje, tako da njihovega dna ni moč videti, ali pa so njihova dna ravne krožne ploskve (sl. 2.1.51). V gosto razpokani skali so lahko anastomožno povezane, saj so robovi med njimi prežrti. Takšne kotlice so dokaj nepravilnih oblik (sl. 2.1.52, 2.1.52a).



2.1.52a Strop Blatnega rova v Zelških jamah



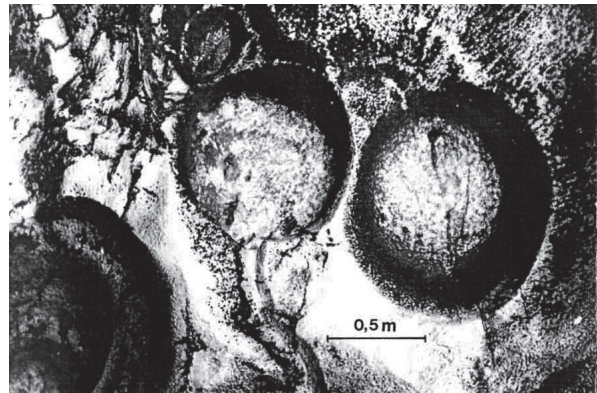
2.1.52 Strop sifona v Krožnem rovu Črne jame (merilo=15 cm)

Kotlice so praviloma nastale v prostornejših, širših in zlasti višjih delih večjih rovvov, ki merijo v premeru več metrov, najbolj izrazite so na stropu pred in ožinam in iza njimi (sl. 2.1.53), ali pa so na stropu večjih sten-skih niš (T. Slabe, 1989, 207).

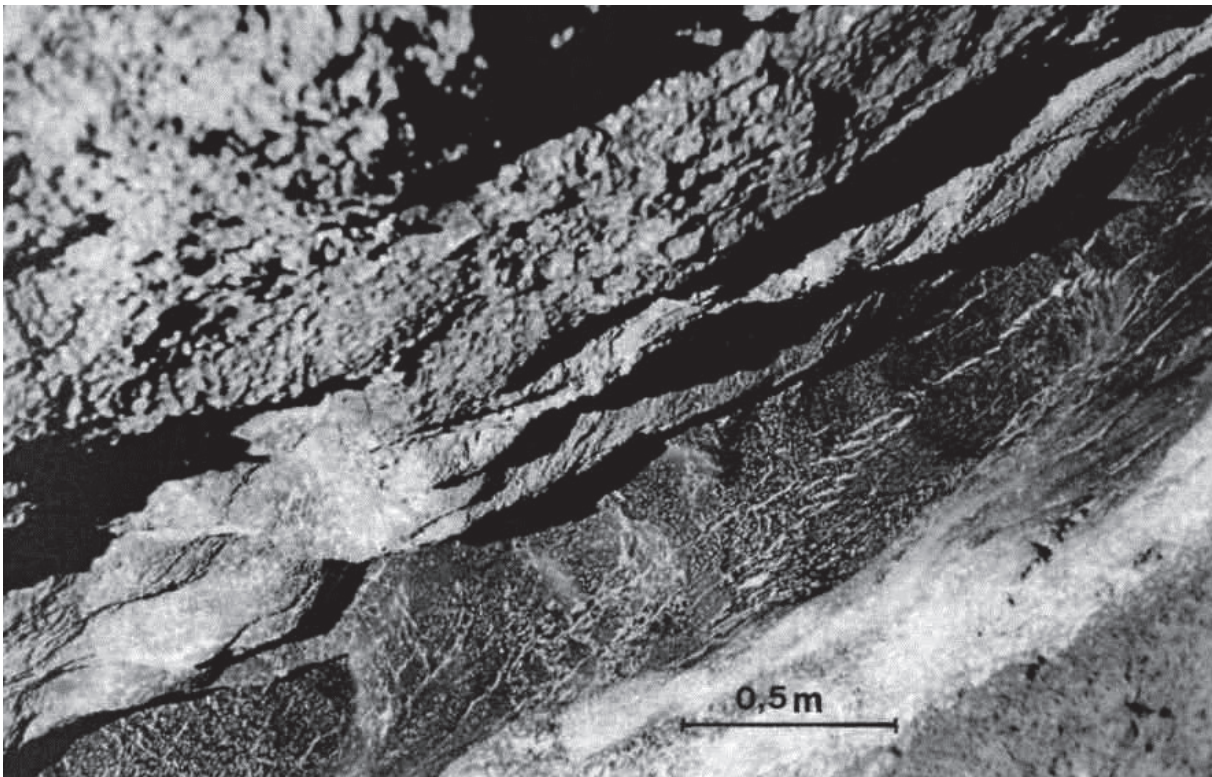
Izdvojim naj kotlice, ki so široke 1–3 m in globoke do 1 m. Imajo dokaj ravna dna, njihove osi pa so navpične. Kotlice (sl. 2.1.54) v Vzhodnem rovu v Predjami imajo na robu manjši žleb. Takšne kotlice so na nekoli-ko nižjih delih stropa. Prerezi kotlic so polkrožni ali pa so razpotegnjeni ob razpokah. V vodnem rovu Zelških jam (sl. 2.1.55) dno polkroglastih kotlic, ki so nastale ob razpokah, sestavljajo krožne površine, zalitost z vodo pa izpričujejo vermakuliti. V Rakovem rokavu Planinske jame imajo velike in plitke kotlice hrapavo površino, voda jih v občasno poplavljenem delu rova ne doseže več, jih pa popolnoma zapre.



2.1.53 Stropna kotlica za ožino v spodnjem delu Lipiške jame



2.1.54 Stropne kotlice v ožini Vzhodnega rova v Predjami

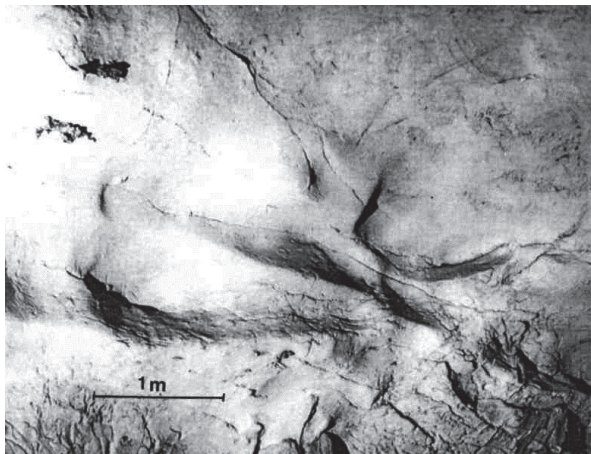


2.1.55 Podolgovata stropna kotlica na začetku Sifonskega rova v Zelških jamah

Značilnih oblik so tudi kotlice na strmo ali položno nagnjenih stropih, ki se spuščajo pred ali dvigajo za zožitvijo v rovih. Pred zožitvijo so 1 m dolge kotlice prečno podolgovate (sl. 2.1.56). široke so 20–30 cm in 25 cm globoke. Na odtočni strani ožin so kotlice nekoliko razpotegnjene v smeri vodnega toka, dolge so 1–1,5 m in globoke do 0,75 m. Pogosto so plitke (Babja jama) ali pa so nanizane druga za drugo (sl. 2.1.57). V

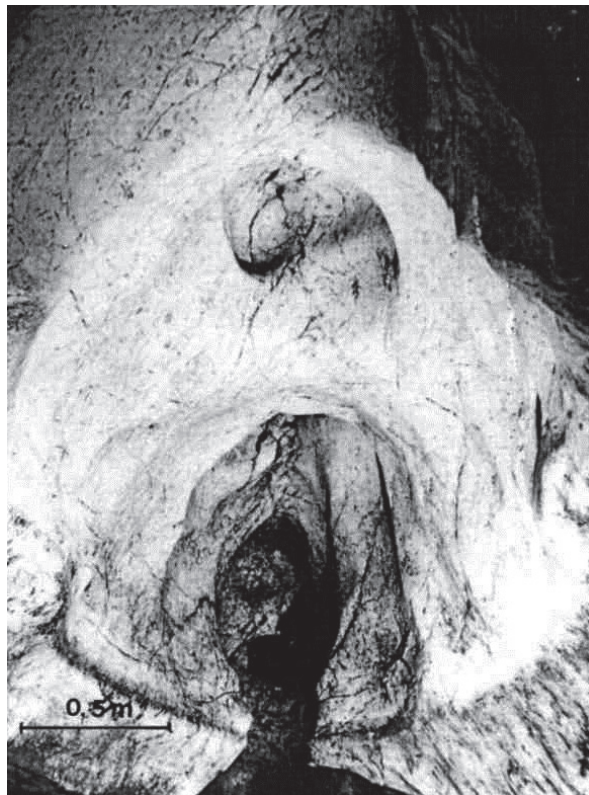
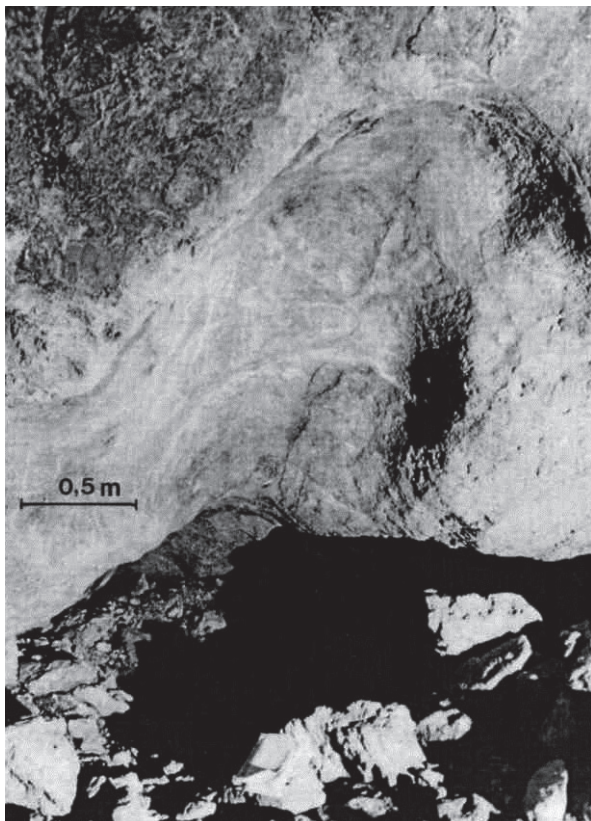
ponorni jami Lokve v Predjami (sl. 2.1.58) je pritočni rob kotlice za ožino prerezan.

Najvišje vode v večjih delih rovov, skozi katere se pretaka voda počasneje, odlagajo ilovico tudi na zgornjih delih oboda. Ilovica se obdrži tudi na položnejših stenah globljih kotlic; ko se iz nje izceja voda, vrezuje podnaplavinske žlebiče (sl. 2.1.59).



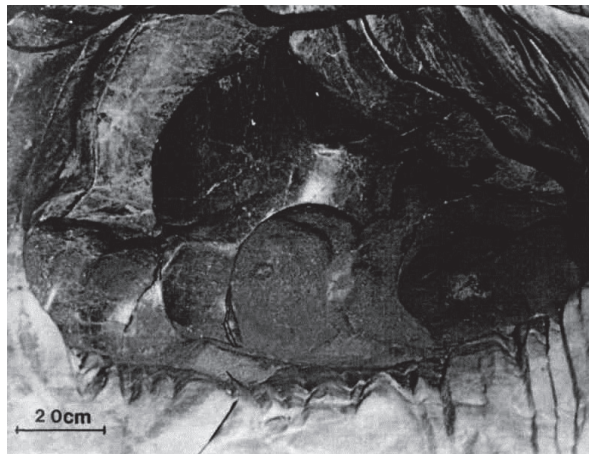
2.1.56 Stropne kotlice pred zožitvijo Imenskega rova v Predjami

2.1.57 Stropne kotlice za ožino v Finkovi jami



2.1.58 Stropna kotlica v ponorni jami Lokve v Predjami

2.1.59 Stropna kotlica s podnaplavinskimi žlebiči za ožino Tobogana v Ponikvah v Jezerini



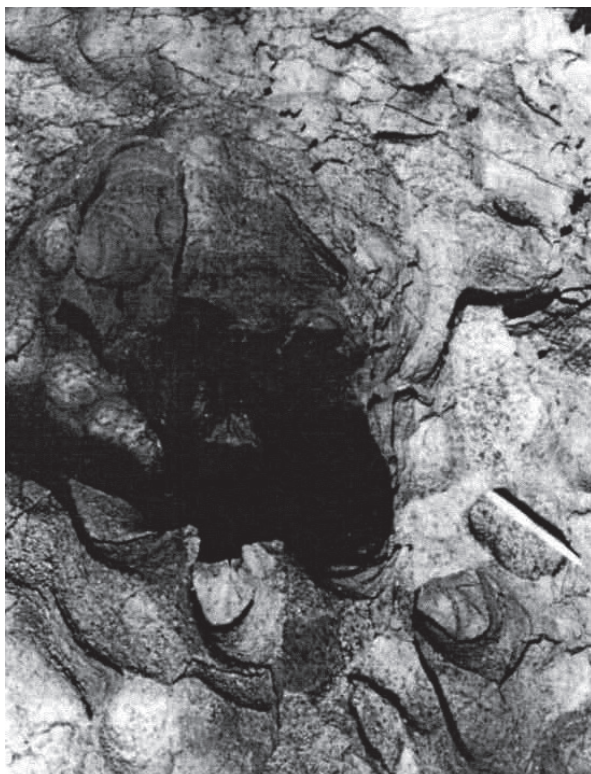
Nastanek in razvoj stropnih kotlic

Kotlice nastanejo zaradi vrtinca ob razpoki, večji nehomogenosti v kamnini ali pa so vrtinci pogojeni z obliko rova (sl. 2.1.94). Začetni vrtinci pri nastajanju kotlic so odvisni predvsem od hitrosti vode, pritiska na steno, položaja v rovu, nato pa vrtince določa tudi oblika kotlic sama. Že najmanjši vrtinci nimajo več iztočnih repov, ki so značilni za fasete. Začetni vrtinci, ki oblikujejo polkrogelne kotlice, imajo tokovnice pravokotne na steno. Če se kotlica enakomerno širi in pogloblja, je takšno vrtinčenje značilno tudi za večje kotlice s polkrogelnim dnom (sl. 2.1.43). V kotlicah, ki nastanejo ob izrazitih razpokah in so globlje od premera odprtine, ali v kotlicah, ki so razpotegnjene ob razpokah, so tokovnice vrtincev vzporedne s steno ali pa svedraste (sl. 2.1.46). To nam potrjuje tudi ravno krožno dno kotlic (sl. 2.1.45). Kotlice so zato podobne valjem ali prisekanim stožcem. Njihovo dno je pogosto sestavljeno iz več krožnih ravnih delov. V večjih stropnih zajedah, kjer je združenih več kotlic, je vrtinčenje raznovrstno (sl. 2.1.52, 2.1.52a). Pri sestavljenih kotlicah je značilno, da prevlada eden izmed vrtincev. V Matijevi jami (sl. 2.1.60) so kotlice združene v kamin, ki ima stene polkrožno razčlenjene.

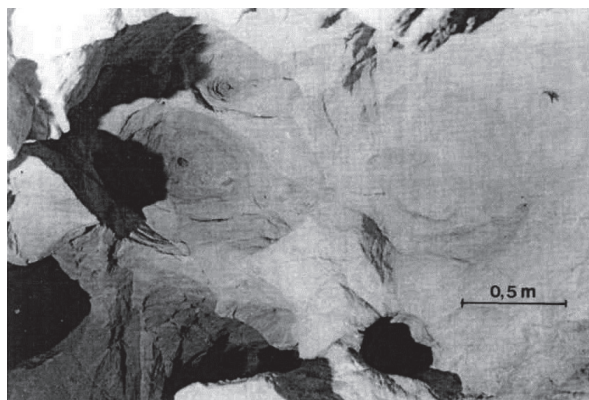
Zakaj so kotlice nadstropne? Nadstropne kotlice so praviloma sestavljene (sl. 2.1.47, 48, 49), le redko so sa-

mostojne (sl. 2.1.43). Pri sestavljenih kotlicah prevladuje eden izmed vrtincev in je nadstropnost zato razumljiva. Skokovita sprememb premera vrtincev je lahko posledica skladovitosti kamnine (T. Slabe, 1989, 207) in značilnosti razpoke, če so kotlice nastale ob njej. Se v nadstropnosti kotlice odraža tudi širjenje rofov, upad gladine vode, torej manjši pritisk na steno, in se premer kotlic zato navzgor manjša?

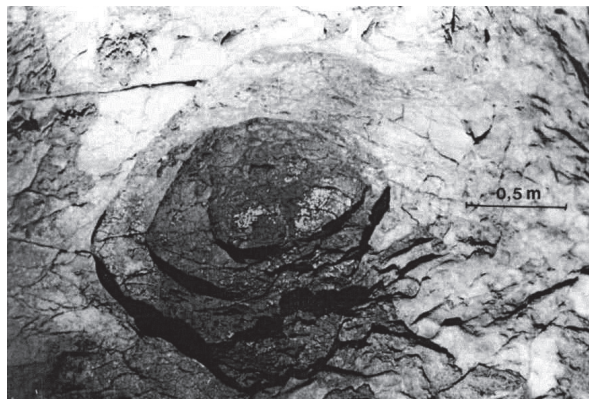
Kot smo ugotovili iz oblik, je za lokalni položaj, nastanek in obliko kotlice pomembna predvsem razpokanost ali skladovitost kamnine. Večina kotlic je vezana na razpoke in lezike. Če so razpoke izrazite in gosto preprejajo kamnino, kotlice pravilnih oblik ne morejo nastati ali pa se pravilno razviti. Takšen primer je tudi v Zelških jamah (sl. 2.1.52a). Na nastanek kotlic manj vpliva sestava kamnine. Kotlice nastanejo tudi na kamnini, katere sestava je preveč nehomogena ali pregosto razpokana, se prehitro drobno krusi, da na njej ne morejo nastati fasete. Tako so kotlice nastale na drobnozrnatem dolomitu v Turkovi jami (sl. 2.1.61), na prekristaliziranem apnencu v Finkovi jami (sl. 2.1.57), v Predjami pa so se kotlice oblikovale tudi preko manjših leč roženca (sl. 2.1.62). Stene teh so hrapave.



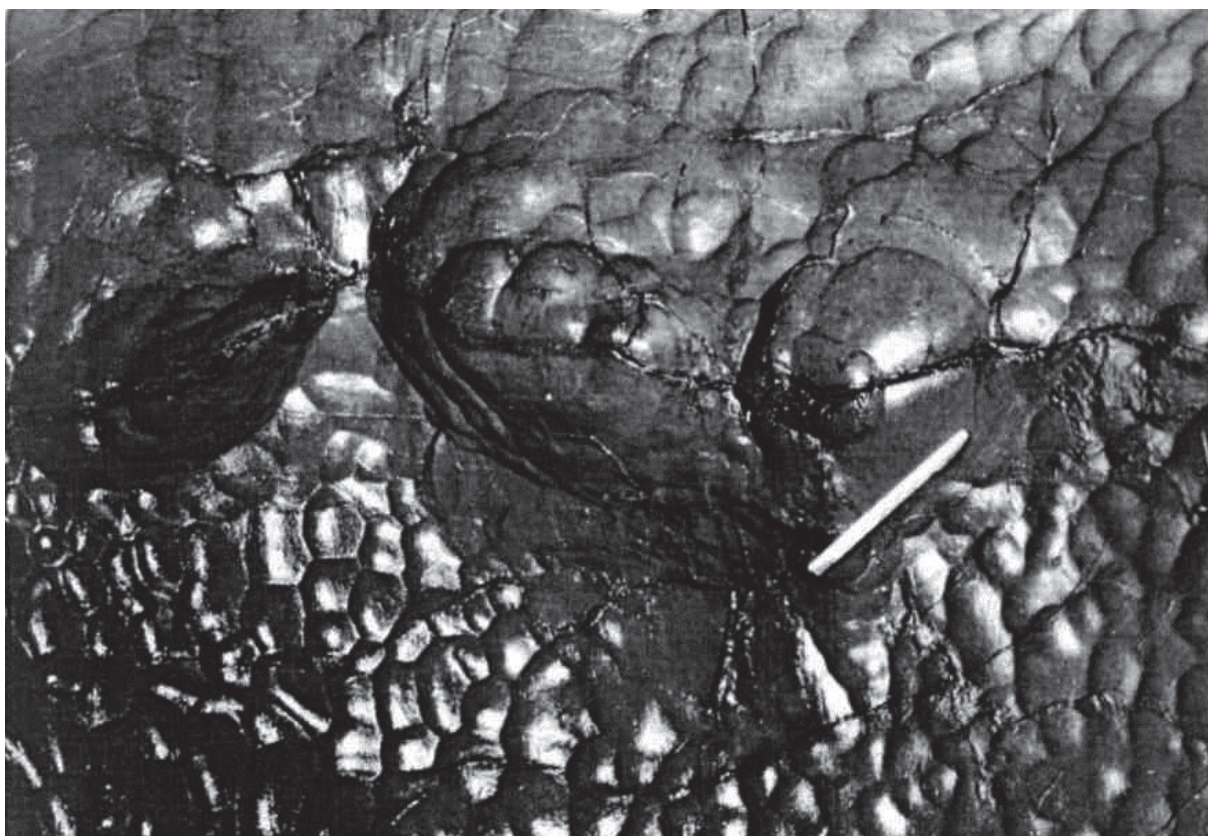
2.1.60 Stropne kotlice v Matijevi jami
(merilo = 15 cm)



2.1.61 Stropne kotlice na dolomitu na začetku Velikega rova
v Turkovi jami



2.1.62 Stropna kotlica v apnencu z rožencem v Stari jami
Predjame



2.1.63 Stenska kotlica s fasetami v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)

Kotlice nastanejo lahko tudi ob razpokah na stelah, kjer so fasete (sl. 2.1.63; T. Slabe, 1989, 84). Površina takšnih kotlic je fasetirana. V zatišjih kotlic so fasete nekoliko večje kot na izpostavljenih delih oboda.

Od nastanka kotlice z vrtincem ali povezave z zračnimi mehurji in od sestave kamnine je odvisna tudi zglajenost njene površine. Kotlice, ki jih obliva hitrejši vodni tok, imajo gladke obode (sl. 2.1.59, sl. 2.1.39) ali pa iz njihove površine štrlijo počasneje topni deli kamnine, roženci (sl. 2.1.62). Kotlice, v katerih je občasno ujet zrak, imajo hrapavo površino oziroma so hrapavi le njihovi vrhovi, ki so nad vodno gladino (Rakov rokav v Planinski jami; T. Slabe, 1989, 207).

Opazil sem tudi značilne položaje kotlic v rovu. Kotlice so največkrat na stropu širših in višjih delov rovov, zlasti izrazite so pred in ožinami in za njimi, na začetku ravnega stropa za dvigajočim ali spuščajočim rovom, ali pa v večjih stropnih zajedah. To so deli rovov z večjimi izgubami energije in v njih nastajajo značilne cone vrtinčenja (sl. 2.1.94). Vrtinčenje vode torej ni povzročeno le z drobnimi ovirami na kamnini, temveč predvsem z značilno oblikovanostjo rovov.

Zakaj so kotlice le na stropu in na zgornjih delih sten, saj se vrtinčenje širi na vse strani? Plinom, ki so

ujeti pod stropom in pospešujejo korozijo, pripisujem manjši pomen. Odločilni so predvsem razvoj in oblika rovov ter vrtinčenje vodnega toka v njih. Različna kamninska sestava, skladovitost in pretrtost oboda rovov povzročajo različne premere in naklone rovov. S stropa odpadajo večji skalni bloki in nastajajo zajede. Prav v večjih zajedah na razpokani kamnini so kotlice najbolj pogoste. Voda prenaša material in ko ga odlaga v večjih prostorih, uravnava pretok. Tla se izravnavajo, stropovi pa razčlenjujejo.

Zato lahko v večini razčlenjenih rovov opazujemo, da so na spodnjih delih sten fasete, na stropu pa kotlice. Predpostavljam, da bi v enakih hidravličnih pogojih na obodu cevastega rova nastale večje fasete (Kozinski rov v Lipiški jami) ali pa bi bil rov meandrant.

Jedro vrtinca v kotlici se približa steni in poveča korozijski izkoristek vode. V manjših kotlicah, ki so nastale v rovih s hitrejšim pretokom, deluje vodna masa tudi erozijsko. S skalnega površja odnaša še neraztopljene delce. Površina majhnih kotlic je gladka.

Pogosto se pri razlagi nastanka kotlic omenja pomen plinov s CO₂, ki se v vrtinčastem toku dvigujejo navzgor in pospešujejo raztapljanje. Tudi raztapljanje CO₂ iz zraka, ki je pod velikim pritiskom ujet pod stropom, naj

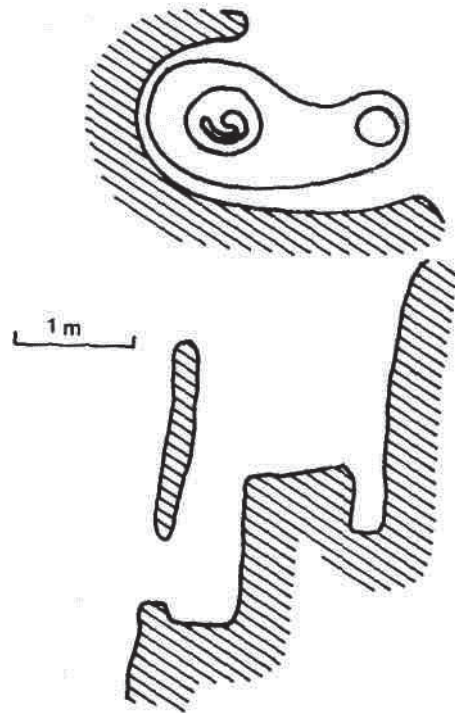
bi povečalo lokalno korozijsko stopnjo (A. Bögli, 1978, 158; D. Ford, P. Williams, 1989, 298; F. Cser, 1988, 132). Nastanek kotlic z ravnim dnom F. Cser in I. Szenthe (1986, 279) razlagata s premikanjem zračnih mehurjev pod stropom. Stare kotlice z ravnim dnom, ki nimajo izrazitih znakov vrtničenja, so tudi v Vodni jami v Lozi in v Divaški jami, na steni pod njimi pa so velike fasete, ki so značilne za globlje zalite, freatične rove. V času obiska so bila dna kotlic prekrita z gosto mrežo svetlečih kapljic. Te bi lahko zaradi korozije pod njimi vplivale na preoblikovanje starih kotlic. B. Mucke, R. Volker in S. Wadevitz (1983) poudarjajo pomen kondenzne korozije v stropnih zajedah, v katerih je ujet zrak. Kondenzacija je mogoča, če je voda toplejša od kamnine. V Rakovem rokavu v Planinski jami visoke vode stisnejo in osamijo zračne mehurje v stropne zajede. Površina plitkih, a dokaj širokih kotlic nima izrazitih znakov vrtničenja vode in je hrapava. To bi bila lahko posledica kondenzne korozije, ki pa je kotlice verjetno le preoblikovala. Podobno hrapava so tudi dna kotlic v Križni jami. Pri nastanku kotlic s počasnejšim tokom bi lahko imela večji pomen tudi konvekcija nenasičene vode, ki se dviguje na sredini kotlice, ob stenah pa odteka nasičena. P. Forti (1989, 72) opozarja na pomen oksidacije sulfidov, ki se vključujejo v konvekcijo.

Nastanek ozkih in globokih stropnih kotlic, ki se na vrhu nadaljujejo v špranje, se pogosto razlaga s korozijo mešanice različno nasičenih voda, ali voda z različnimi temperaturami. Zaradi mešanja voda postane zopet agresivna (A. Bögli, 1969). Y. Quinif (1973, 570) tudi nadstropnost kotlic razlaga s korozijo mešanice. Opisani primeri to zanikajo. Y. Quinif je ozke in globoke kotlice naredil s poskusom. V posodo z vodo je do polovice potopil prelomljen kamen in skozi razpoko nalival HCl. A. Binni in G. Cappa (1978, 58) dodajata, da je za nastanek takšnih kotlic potreben počasen vodni tok, ki naj bi sesal vodo iz razpok. Takšne kotlice bi lahko nastale na vodni gladini, saj pritisk v zalitem rovu, zlasti globlje pod gladino, verjetno ne dopušča dotoka vode skozi ozke razpoke. Pritisk je seveda odvisen od višine stolpca in ta je v razpoki, čeprav je ozka, lahko velik. Sam korozije zaradi mešanja voda še nisem uspel razločiti. Pri razlagi stropnih kotlic v Logaški jami kot možni proces njihovega oblikovanja I. Gams (1964, 13) navaja korozijo mešanice. Poleg kotlic (sl. 2.1.45), ki se navzgor zožujejo in njihovega dna ni videti, obstajajo tudi kotlice, ki imajo ravna krožna dna, kar je sled vrtnice (sl. 2.1.51). Korozija mešanice verjetno lahko razširi razpoke, da jih lažje izkoristi vrtinec. Tako ugotavljata tudi D. Ford in P. Williams (1989, 298). Razpoke pa lahko širi tudi voda, ki prenika v občasno suh rov, seveda, če se pri prenikanju ne nasiti. V Logaški jami je prenikajoča voda oblikovala celo večje kamine.

2.1.3.3 Draslje

Oblika, velikost in lega draselj

Tudi draslje so samostojne ali sestavljene (sl. 2.1.64). V sestavljenih kotlicah ena prevladuje. So enostavne ali pa nadstropne (sl. 2.1.65; T Slabe, 1989, 87).



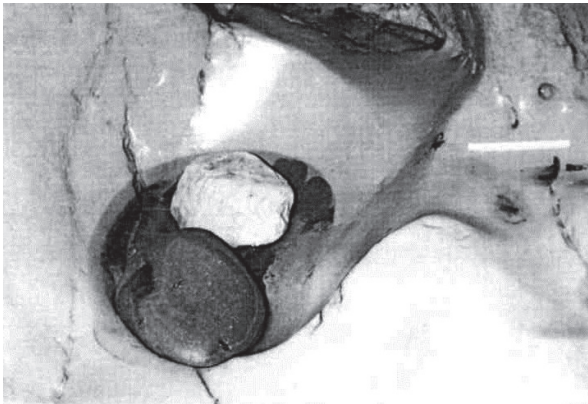
2.1.64 Draslja na skalnem bloku v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah



2.1.65 Draslja v Kopalnici v Mali Boki (merilo = 15 cm)

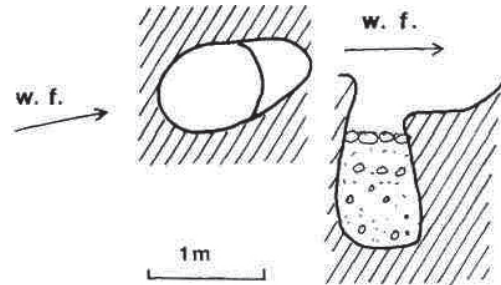
Draslje lahko razdelimo tudi na manjše in večje polkrogelne in na tiste, ki so globlje od premera odprtine (sl. 2.1.94). Manjše draslje prve skupine imajo premer velik 5 do 10 cm in dokaj pravilno obliko polkrogel. Pogosto so podaljšane na odtočni strani. Le redko so manjše draslje globlje od premera odprtine, če pa so že, njihovo obliko pogojuje položaj pred oviro (sl. 2.1.94). Velike draslje, katerih premer preseže tudi meter, so glede na premer odprtine plitke. V njihovo dno se pogosto zajeda polkrožna vdolbina z ravnim dnom (sl. 2.1.66). V drugo skupino sodijo draslje, ki so globlje od premera odprtine. Njihove stene so navpične, draslje se navznoter ožijo (sl. 2.1.64), polkrožno

širijo (sl. 2.1.67, sl. 2.1.68), in so različnih premerov (sl. 2.1.69). Premer imajo velik od 20 cm do več metrov. Draslje na skalnih blokih so pogosto podaljšane v iztočne repe (sl. 2.1.68) ali pa se na odtočni strani nadaljujejo v žlebove (sl. 2.1.69). Pritočni robovi, zlasti polkrogelnih draselj, so nekoliko bolj strmi kot odtočni. Dna

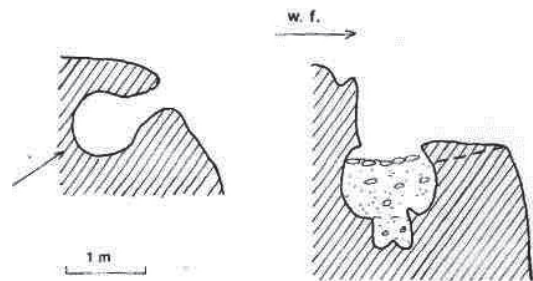


2.1.66 Draslja v Ponoru v Odolini (merilo = 15 cm)

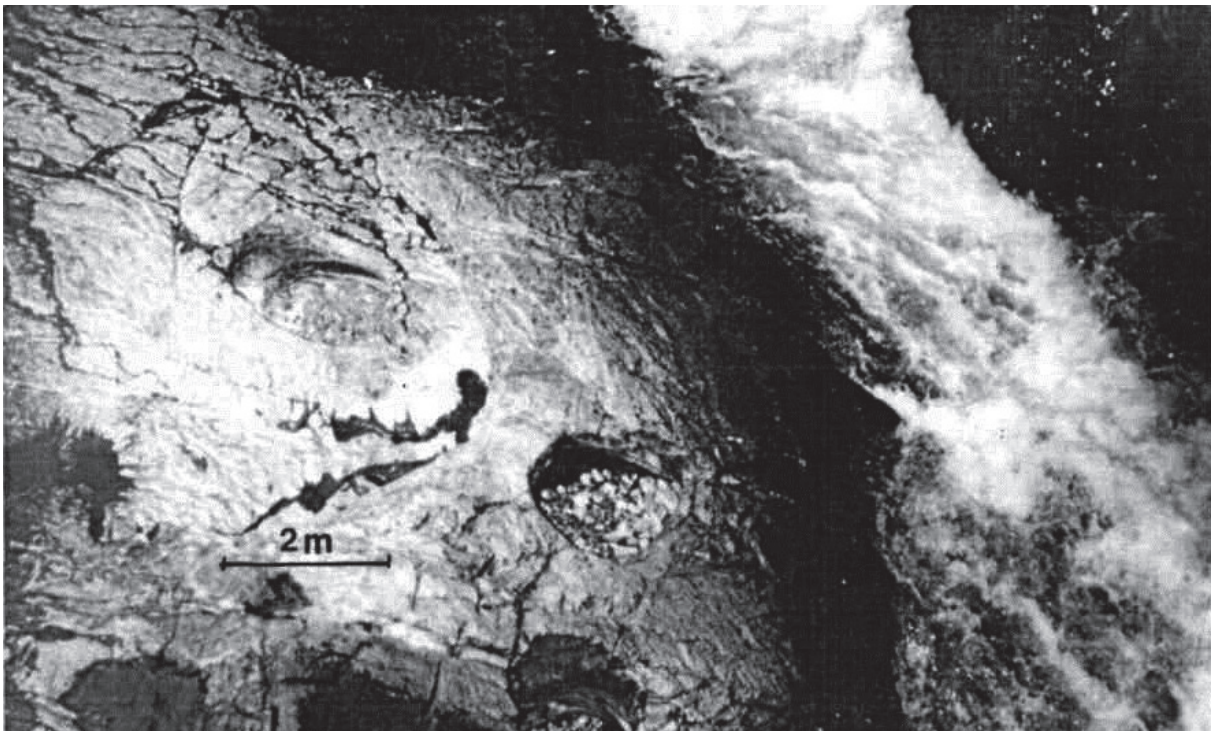
2.1.67 Draslje v Šumeči jami v Škocjanskih jamah



2.1.68 Draslja na skalnem bloku v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah



2.1.69 Draslja na odtočnem delu skalnega bloka v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah





2.1.70 Draslji v Polhovem rovu v Mali Boki (merilo = 15 cm)

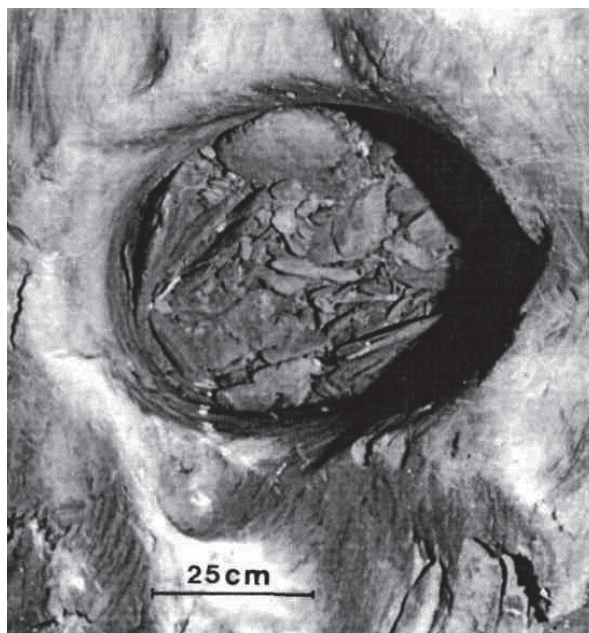
plitkih draselj so polkrogelno zaobljena, dna globljih draselj pa so ravna (sl. 2.1.70), se zožujejo (sl. 2.1.65), imajo na dnu spiralo (sl. 2.1.64) ali pa na sredini široko konico (sl. 2.1.69). Pogosto je v draslji ostalo kamnito jedro, ki je nagnjeno v smeri vodnega toka (sl. 2.1.71). Manjše polkrogelne draslje, ki so nastale ob razpokah, so razpotegnjene v elipse, skorajda vse večje pa imajo bolj ali manj pravilne krožne prečne prereze. Manjše draslje so ob razpokah razvrščene v zaporedne ali vzporedne nize. Draslje imajo praviloma navpične osi, tako da so na nagnjenih površinah (sl. 2.1.67) zgornje stene višje.

Draslje nastanejo na apnencu, breči in peščenjaku.

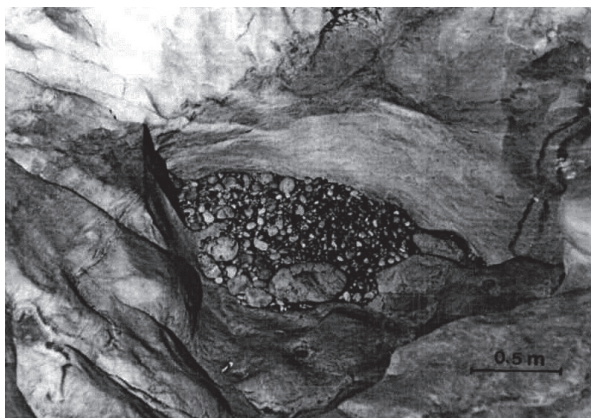
Površina draselj je gladka ali pa so na njej razvidne tanke raze. Te so v globljih drasljah vodoravne. Tudi 10–20 cm pas okoli draselj je pogosto zglajen, za njim pa so na skali fasete. Fasete lahko segajo vse do roba draselj (T. Slabe, 1989, 86, 87; sl. 2.1.65). Obod okoli draslje je erozijsko zglajen v Babji jami, v Polhovem rovu v Mali Boki pa je brečasta skala grobo hrapava (sl. 2.1.70). Tudi obod teh draselj je zglajen, zlasti njihov spodnji del. Prav tako je gladka površina draselj, ki so nastale na kremnovem peščenjaku v Smoganici (sl. 2.1.72). Mikroskopska opazovanja (2.1.4.1.) pričajo o trenju trdnih delcev ob skalno površino, kar povzroči drobno hrapavost površine, ki jo s prostim očesom opredelimo kot gladko.



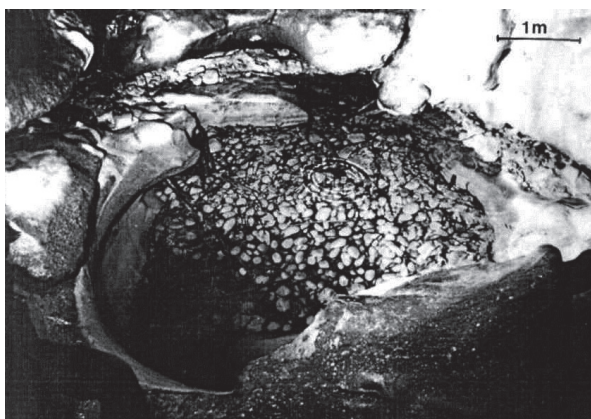
2.1.71 Draslja na robu struge Hankejevega kanala v Škocjanskih jamah



2.1.72 Draslja na peščenjaku v Smoganici



2.1.73 Draslja v Babji jami



2.1.74 Draslja pod breznom v Beško-Ocizeljski jami

2.1.75 Draslje na pritočnem delu skalnega bloka v Škocjanskih jamah (merilo = 15 cm)

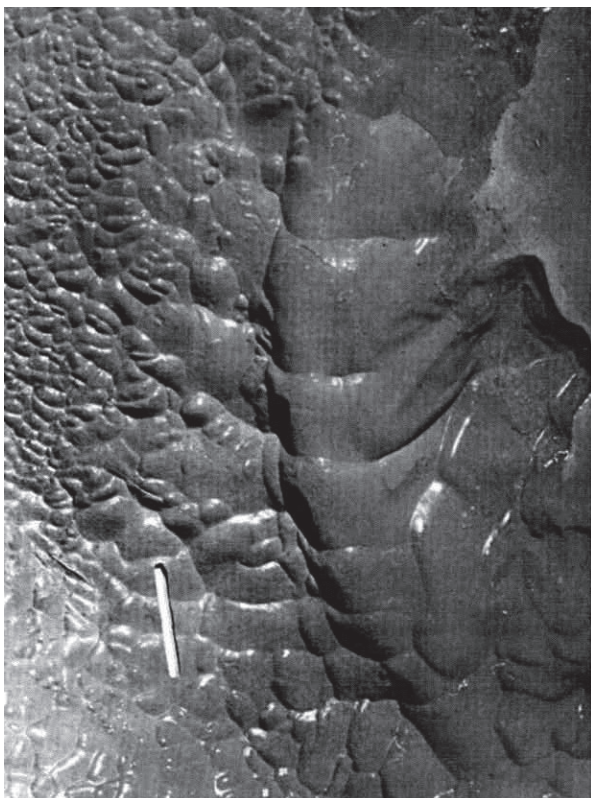


Velike draslje so v prostornejših rovih za ožinami. V Babji jami (sl. 2.1.73) je takšna draslja široka 4 m, do prodnega zasutja pa je globoka 2 m. Manjše, zlasti ožje, so draslje v manjših cevastih rovih, ki imajo do 1,5 m velik premer. Te v celoti preplavi hiter vodni tok. Značilne draslje so na skalnem dnu skokov v strmih strugah, kakršna je v Ponoru v Odolini, kjer draslje dosežejo 1 m premera. V Beško Ocizeljski jami so pod brezni nastale draslje (sl. 2.1.74), ki imajo 5 in več metrov premera, njihovo dno pa zaradi naplavine ni vidno. Draslje so 1–2 metrov oddaljene od stene kamina, so torej na mestu, kamor pade največja količina vode. V Mohorčičevi jami v Škocjanskih jamah so draslje na dnu kanjonske struge, njihov premer je enak širini struge, ločijo pa jih tanke stene. Višje, na robu širšega dela struge, so polkrožne stenske zajede, ki so ostanki draselj. Poseben položaj in obliko imajo draslje na večjih skalnih blokih, ki prekrivajo strugo. Opazoval sem nekaj primerov v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah. Na pritočni zgornji ploskvi bloka nastane polkrožna zajeda (sl. 2.1.75), ki je široka 0,5 m. Na pritočni strani je zajeda plitkejša, na odtočni strani, kjer so v prečni niz razvrščene manjše kotlice, pa je njena stena strma. Na odtočni strani skalnih blokov so kotlice pogosto nanizane v nižjih zajedah in imajo odtočne žlebove. Draslje nastanejo tudi med bloki, ki tesno drug ob drugem prekrivajo strugo. V Markovem spodmolu je kotlica na skalni čeri, katere stene so fasetirane (sl. 2.1.76).

Nastanek in razvoj draselj

Pri nastanku in oblikovanju draselj ima odločilno vlogo material, ki ga v svoje vrtinčenje vključi vodni tok. Zato draslje praviloma nastanejo na spodnjih delih oboda rovov, preko katerih voda prenaša večino grobozrnatega vlečenega tovara (A. Kranjc, 1986, disertacija, 24). V ožjih rovih lahko erozija zaradi hitrega vodnega toka oblikuje ves obod (Babja jama), vendar je tudi v njih vpliv erozije zaradi teže materiala največji na skalnih tleh.

Draslja nastane na mestu, kjer se ustvari izrazit samostojni vrtinec. To mesto je v enakomerno oblikovanih rovih določeno predvsem z nehomogenostjo ali razpoko v kamnini, torej z mestom šibkosti, v razčlenjenih rovih pa z opisanimi položaji, v katerih se razvije izrazito vrtinčenje. Oblika draslje odraža značilnost vrtinca v njej. Draslje, ki so glede na premer plitke in imajo polkrogelna dna, večkrat tudi iztočne repe, oblikujejo vrtinci, katerih tokovnice so pravokotne na steno. Draslje, ki so globlje od premera odprtine, njihova dna pa so ravna ali spiralasta, pa dolbejo svedrasti vrtinci, katerih tokovnice so skorajda vzporedne z dnom. Večji prodniki, ki so v večjih kotlicah, izpričujejo večjo moč dolbenja vode. Velikost draslje torej ni neposredna posledica hitrosti toka. Premeri vrtincev v hitrejšem vodnem toku so manjši, hiter tok pa prenaša več ve-



čjega materiala. Pri oblikovanju draselj je pomembna tudi količina vode, ki z večjim pritiskom deluje na steno ali pa pada preko strmih skokov v strugah. Največje draslje so zato nastale v podzemnih rečnih strugah (Škocjanske jame), pod breznastimi strugami (Ponor v Odolini), slapovi (Beško-Ocizeljska jama) ali na mestih najbolj izrazitega vrtinčenja, kot je to primer za ozkim rovom v Babji jami. Pri nastanku oblik pod slapovi bi lahko sodelovala tudi kavitacija. Tudi nadstropnost draslje lahko razlagamo s spremembo moči vrtinca.

Globina draslje je rezultat razmerja hitrosti in pritiska vode na kamnino ter količine in velikosti materiala, ki ga voda prenaša. Hkrati pa je posledica trajanja njenega oblikovanja. Globlje draslje so nad dnom pogosto zožene ali pa se cela draslja stožčasto zožuje. To je posledica manjše moči vode v globini, še zlasti, če je plast naplavine v njej debelejša. Če je draslja pregloboka in zapolnjena z naplavino ali pa če se zmanjša moč vode, se njeno oblikovanje prekine. Globoke in zapolnjene draslje v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah pričajo o le občasni ali nekdanji večji moči vodnega toka. Zaradi prevladujočega pomena erozije pri nastanku draselj se lastnost kamnine in njena razpokanost na obliki draselj, razen najmanjših, ne odražata. Draslje imajo večinoma pravilne krožne prereze. Erozijski nastanek potrjujejo tudi draslje, ki so nastale na peščenjaku v Smoganici. Osi draselj so zaradi teže materiala, ki jih sooblikuje, navpične. Na obliko vpliva tudi značaj vrtinca, ki je posledica značilnega položaja na obodu. Na odtočni strani skalnih blokov nastanejo zaradi prostega odtoka vode in zato značilnega vrtinčenja, draslje, ki so na odtočni strani bolj plitke ali iz njih vodi odtočni žleb. Na robu struge so v Hankejevem kanalu nastale široke draslje, ki imajo ozko kamnito jedro, nagnjeno v smeri vodnega toka. Je takšna oblika kotlic povezana s položajem v strugi?

Izrazito vrtinčenje pogojuje tudi boljši korozijski izkoristek vode. Nekatere talne kotlice (T. Slabe, 1989, MN, 86; sl. 2.1.76) nimajo sledov brušenja sten. Njihova dna sestavljajo zavita rebra, ki so razporejena v rozeto. So to draslje, ki so bile preoblikovane s korozijo ali pa so kotlice že nastale tako? Polovična kotlica v Markovem spodmolu in stenska kotlica v Velikem Hublju nakazujeta drugo predpostavko. Sklepam, da na tleh lahko nastanejo kotlice tudi brez sodelovanja materiala, ki bi ga prenašala voda. Takšne so tudi polkrogelne manjše talne kotlice, katerih površina je pod mikroskopsko povečavo le delno erozijsko hrapava. Podobna je površini manjših faset (pogl. 2.1.4.1.), ki tudi nastanejo v zatišnih legah.

2.1.76 Stenska kotlica v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)

Draslje nastanejo torej v rovih, skozi katere se pretaka hiter, ponavadi odprt vodni tok, lahko pa jih hiter tok občasno povsem zalije. Nastajajo torej v vadozni in epifreatični coni. Rovi z najbolj hitrim vodnim tokom in večjo količino tovara so pogosti v ponornih jamah (Škocjanske jame, Beško-Ocizeljska jama, Novokrajaska jama) ali pa v izvirnih jamah, ki imajo občasno v zaledju velik vodni pritisk (Babja jama, Matijeva jama). Prod v slednjih je avtohton. Delno erozijsko preoblikovana dna strug so tudi v pretočnih jamah (Križna jama, Vzhodni rov v Predjami). Draslje v teh jamah so manjše. Oblikuje jih počasnejši vodni tok. To je posledica prepustnosti in oblike rovoev.

Hiter vodni tok, ki lahko prenaša grobozrnat material, teži k odnašanju naplavin iz jam (A. Kranjc, 1986, disertacija, 278) ter odkriva in pogloblja skalno dno struge. Draslje so torej značilna skalna oblika v rovih, skozi katere se pretaka voda s hitrostjo, ki je večja od 0,5 m/s, kar lahko razberemo iz velikosti faset na bližnjih stenah. Tako hiter tok s seboj nosi tovor, ki je sestavljen iz delcev, večjih od 3 mm. Seveda pa so za nastanek draselj pomembnejše lokalne hidravlične značilnosti v rovih. V Smoganici, kjer so draslje nastale na peščenjaku pri toku s hitrostjo 0,35 m/s, na bližnjem konglomeratu pa jih v enakih okoliščinah ni, pride do izraza tudi pomen odpornosti kamnine proti erozijskemu delovanju. Peščenjak je manj odporen in lažji, saj voda že pri manjši hitrosti v svoje vrtnčenje vključuje prodnike iz peščenjaka.

Draslje so lahko le sestavni del oblik, ki jih erozija oblikuje v povezavi z drugimi procesi. Delno preoblikovane fasete smo že omenili. V Matijevi jami pa so na tleh nastale ozke (nekaj cm) in razmeroma globoke vdolbinice z navpičnimi stenami. Vdolbinice so nastale kot splet korozije pod drobnozrnato naplavino, ki jo odlaga nižja, poplavna voda, in erozije pod peskom, ki ga vrtniči občasen hiter vodni tok, ko bruha iz jame.

2.1.3.4 Erozijski žlebovi

V Markovem spodmolu so na strmih skoku struge (75°) vzdolžni talni žlebovi (sl. 2.1.77). Široki so 30 cm in globoki 15 cm. Razčlenjeni so v prečne plitke polkrožne zajede. So posledica preliivanja hitrega in plitkega vodnega toka, ki se razdeli v vzdolžne tokovnice. Podobni žlebovi so nastali tudi pri poskusu, ko se je plitek tok pretakal po mavcu. Žlebove razčleni vrtnčenje, podobno tistemu, ki vrezuje rebra.

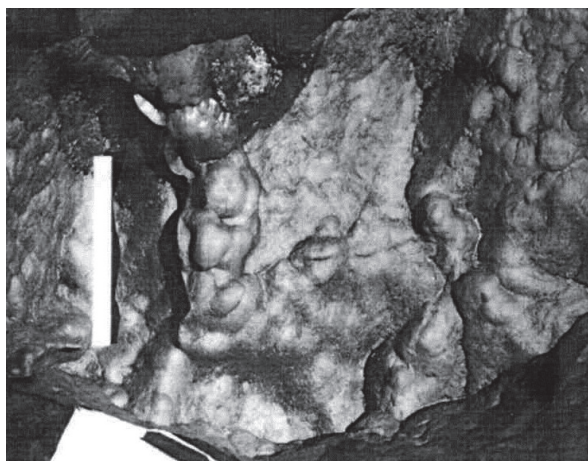
V Ponoru v Odolini je na najnižjem delu strme struge polkrožen vzdolžen žleb (sl. 2.1.4). Njegova površina je fasetirana. Večja količina vode, ki žleb občasno zapolni, vrezuje majhne fasete.

Na pritočnih in odtočnih delih večjih skalnih blokov nastanejo prečne žlebaste vdolbine, kot smo ome-



2.1.77 Vzdolžni erozijski žlebovi na skoku struge v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)

nili tudi pri predstavitvi draselj. V žlebovih, ki so na začetku bloka na pritočni strani plitkejši in na odtočni bolj strmi, na koncu bloka pa je nižja odtočna stena žleba, so namreč pogosto manjše draslje. Takšne primere lahko opazujemo v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah (sl. 2.1.75). Za manjšimi skalami, ki prekrivajo skalna dna strug (Novokrajaska jama), za prečnimi grbinami in ob večjih prečnih razpokah nastajajo manjši prečni žlebovi (sl. 2.1.78). Tudi ti so erozijsko pogloblje-



2.1.78 Erozijski žleb v Novokrajaski jami (merilo = 15 cm)

ni z manjšimi kotlicami. Vse te oblike nastajajo v strugah, ki jih oblikuje hiter odprt vodni tok. So posledica vrtinčenja vode ob ovirah. Tudi na mavcu, ki sem ga prekril s povoščenim papirjem, je na robu nastal zaradi vrtinčenja plitkega vodnega toka 1 cm širok in 0,5 cm globok prečni žleb. Pri oblikovanju se voda razdeli v posamezne vzporedne vrtince in žleb je zato razčlenjen v rebra.

Na odtočni, navzdol nagnjeni površini velikega bloka v Hankejevem kanalu so nastali ozki vzdolžni žlebiči (sl. 2.1.79), ki so različno dolgi. Med njimi so zaobljeni razi. Žlebiči so posledica goste vzdolžne razpokanosti kamnine ali pri njihovem oblikovanju sodeluje tudi voda, ki se preliva čez skalni blok, in kakšen je pomen nihanja vodne gladine, mi še ni uspelo ugotoviti.

Na nagnjenem stropu (45°) so v Ponoru v Odolini pod ponornim breznom plitki in do 5 cm široki vzdolžni žlebiči (sl. 2.1.80). Dna širših delov žlebičev so ravna, ožji pa imajo polkrožne prečne prereze. Med žlebiči so zaobljeni robovi. Na odtočni strani se žlebiči zaključujejo v polkotičaste zajede. Žlebiči so nastali z oblikovanjem previsne stene z večjo količino vode, ki zaradi težnosti hitro odteka s skale.

2.1.3.5 Stebri, roglji, noži, čeri in mostiči

V to skupino oblik združujem večje dele kamnine, ki štrlijo iz skalnega oboda. Omenil sem že manjše štrline na stenah, ki jih obliva vodni tok. Te so sestavni deli hrapavosti in so posledica sestave kamnine. Iz površine štrlijo deli kamnine, ki sestavljajo brečo v Mali Boki, večji kristali apnenca v Velikem Hublju, vezivo konglomerata v Smoganici.

Stebri so večji, navpični deli oboda, ki štrlijo v rov. Imajo oglate prečne prereze. Nastali so ob razpokah, ki pokončno prepredajo kamnino. Ko kamnino obliva počasnejši vodni tok, so razpoke lahko gosteje razporejene in voda se zajeda ob najbolj izrazitih, v hitrem toku pa morajo biti razpoke redkejša, drugače bi se oblikovali noži.

Rogljji so posamične štrline, ki imajo ovalne prečne prereze. Njihova pritrđišča so ponavadi enako široka kot končni deli. Lahko so tudi razčlenjeni. V veliki niši za vhomom v Križno jamo je rogelj (sl. 2.1.81) na steni nastal kot odpornejši del kamnine med velikimi fasetami, torej v zalitem rovu zaradi počasnega pretoka vode.

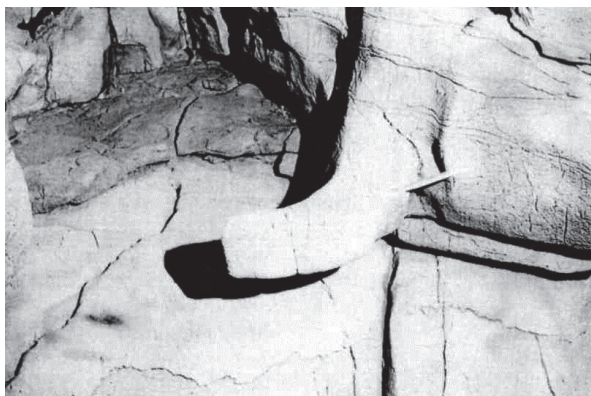
Nože imenujem podolgovate štrline, ki se navzven ožijo. V Divaški jami so na steni širši noži (sl. 2.1.82), ki so polkrožno razčlenjeni in valoviti. Nastali so kot robovi med velikimi fasetami. Večji in širši noži so med stropnimi kotlicami, ki so nastale ob razpokah v Zelških jamah (sl. 2.1.52a) in v Podzemeljski Pivki. Oblikoval jih je počasnejši tok v zalitih rovih. Ožji in ostri noži



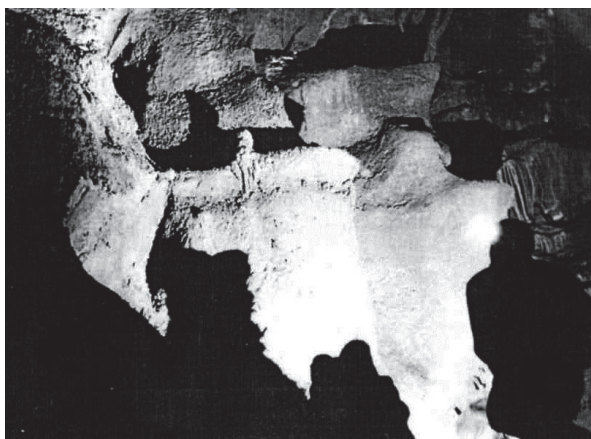
2.1.79 Žlebiči na razpokanem bloku v Šumeči jami v Škocjanskih jamah (merilo = 15 cm)



2.1.80 Stropni žlebiči v Ponoru v Odolini



2.1.81 Skalni rogelj v niši za vhodno dvorano v Križni jami, njegova površina je razjedena s kondenzno korozijo (merilo = 15 cm)



2.1.82 Skalni noži med velikimi fasetami v Divaški jami (merilo = 15 cm)

prepredajo strop v Malih jamah v Postojnski jami in v Mali Karlovinci. Na stenah rogov so srednje velike fasete. Tudi v Krožnem rovu v Črni jami (Postojnska jama) so na stenah tanki noži (sl. 2.1.83), ki so ponekod razčlenjeni, robove pa imajo nazobčane. Nastali so v rovu, skozi katerega se občasno pretaka vodni tok s hitrostjo 0,25 m/s. V pritočnem delu Vzhodnega rova Predjame so kratki noži (sl. 2.1.84), ki imajo razmeroma močna pritrdišča, a ostre robove. Najdemo jih na stenah, stropu in na tleh. Skozi rov se višje vode pretakajo s hitrostjo večjo od 0,5 m/s. Noži so torej lahko na celem obodu rova, so pravokotni na steno, kot so v Krožnem rovu, ali pa so v različnih kotih obrnjeni proti smeri vodnega toka ali stran od nje. Najlepše takšne primere lahko opazujemo v Predjamskem Vzhodnem rovu, ki je oblikovan ob porušeni coni (sl. 2.1.84) in prečno nanjo. Noži so fasetirani, če je njihova površina večja od dolžine faset. V jamah, v katerih voda odlaga naplavino, so na nožih ali med njimi podnaplavinski žlebiči (Krožni rov v Črni jami v Postojnskih jamah, spodnji del Logaške jame).



2.1.83 Skalni nož v Krožnem rovu v Črni jami (Postojnska jama)



2.1.84 Vzhodni rov ob porušeni coni v Predjamski jami (foto S. Šebela)

V Golobini je vodni tok prežrl stenski nož. Nastal je **mostič**.

Posamične štrline so tudi **čeri**. Nastanejo v strugah rogov, skozi katere se pretaka hiter, praviloma odprt vodni tok. Največkrat imajo razmeroma močna pritrdišča (T. Slabe, 1989, 88) navzgor pa se ožijo v konico. Takšne čeri vodni tok preplavi. V Vzhodnem rovu v Predjamski jami

1,5 m visoka čer (sl. 2.1.85), ki je najožja v spodnji tretjini, navzgor pa se razširi. V najožjem delu, na pritočni strani, je nekoliko globlje zajedena. Na ostalih straneh pa čer prekrivajo fasete. Tok je strugo najprej hitro poglobil, nato pa so prevladale srednje visoke vode in čer je ob njihovi gladini zato ožja. V Markovem spodmolu je večja čer, ki ima na vrhu plitko drasljo, na pritočni strani pa polkrožno erozijsko zajedo (sl. 2.1.86). Ostale stene čeri so fasetirane. Za čeri je značilno, da so dokaj oglatih, trikotnih prerezov, pritočna ploskev je ponavadi ravna ali polkrožno zajedena, na odtočni strani pa se zaključijo z ostrim ali širšim razom. To je posledica vrtinčenja vodnega toka ob oviri. Za oviro z obeh strani nastane vrtinčasta cona. Čeri (sl. 2.1.87) v širšem delu vodnega rova v Križni jami so razčlenjene v več krakov. Njihovi robovi so nazobčani in na njih so podnaplavinške vdolbinice. Čeri so le občasno poplavljeni in zato podnaplavinška korozija prevladuje nad kratkotrajnim delovanjem višjega, počasnejšega vodnega toka.

Oblika štrlin, ki so posledica vrtinčenja ob razpokah in lezikah, je rezultat razmerja med obliko in gostoto razpok, ter hitrostjo in pritiskom vodnega toka. Hitrejši je vodni tok, bolj koničaste in kratke so štrline,

seveda če jih ne zaobli erozija. Čeri nastanejo na tleh, kjer je vodni tok najmočnejši, saj pogosto prenaša tudi tovor. Ohrani se torej le najbolj odporen ali proti toku zavarovan del kamnine. V rovih, ki jih oblivajo najhitrejši tokovi, štrline ne nastajajo, saj voda s tovorom izravnava skalni obod.

2.1.3.6 Stenske niše

So večje polkrožne ali podkvaste vdolbine z metriškimi premeri. Niše v zgornji etaži Dimnic in v Križni jami (T. Slabe, 1989, MN, 29) so oblikovali večji vrtinci, na kar kažejo tudi kotlice na zgornjih delih sten in na stropu. Vrtinčenje je povzročilo hitrejše zajedanje vodnega toka v kamnino, ki je bila zaradi pretrtosti manj odporna kot stena okoli niše. To je oblival hiter vodni tok. Na vhodnih stenah so namreč manjše fasete. V Križni jami so fasete v lokalnem zatišju niše večje. V prostornejši niši v Dimnicah (Bar) pa so le kotlice.

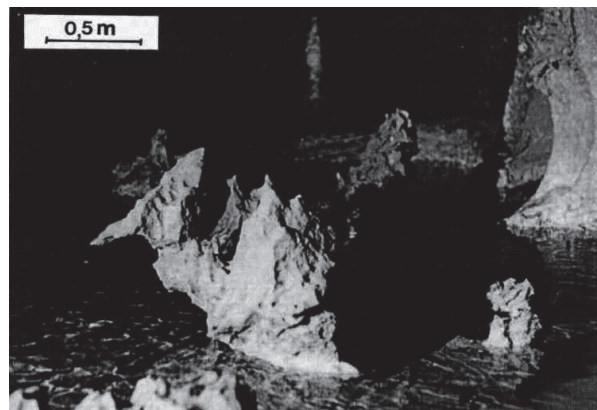
V Blatnem rovu v Križni jami so manjše stenske niše, ki imajo 1–2 m premera. Nastale so zaradi meandriranja počasnega vodnega toka po drobnozrnati naplavini. Tok odlaga naplavino zlasti na notranji strani



2.1.85 Čer v Vzhodnem rovu Predjame



2.1.86 Čer z erozijsko kotlico v Markovem spodmolu



2.1.87 Čeri s podnaplavinškimi vdolbinicami v Križni jami

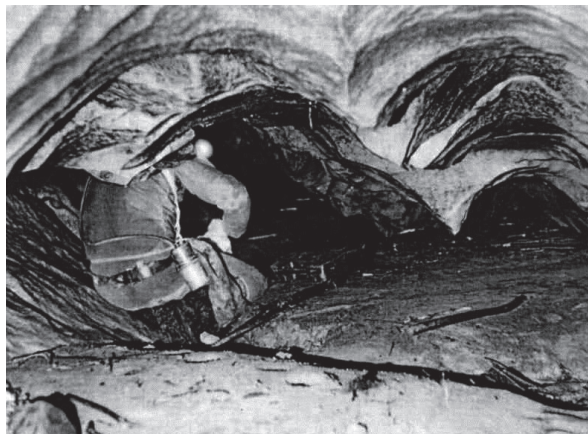
meandrov, na zunanji, če teče ob steni, se zato vrezuje vanjo. Podobno je razčlenjen tudi obod manjšega vhodnega rova v Griški jami. Niše se polkrožno širijo tako, kot se večja premer meandra. Nastanek takšnih niš je opisoval tudi H. Bretz (1956,18).

Podkvaste niše so posledica meandriranja vodnega toka ob pravokotnem sistemu razpok ali razpok in lezik. Njihova oblika je določena s prepustnostjo kamnine. Pogosto so odsev spremenjenih hidroloških razmer. V Križni jami se je rov iz zalitega spremenil v vadozni prevodnik in si skrajšal pot (T. Slabe, 1989, 217). Tudi zaradi zapolnjevanja rogov z naplavinami in sigo, si voda poišče krajšo pot in preseka vijuge. Če se rov nato večja, ostanejo takšne niše oblike v steni, mnogokrat pa so to stranski rovi.

2.1.3.7 Stenske in stropne zajede

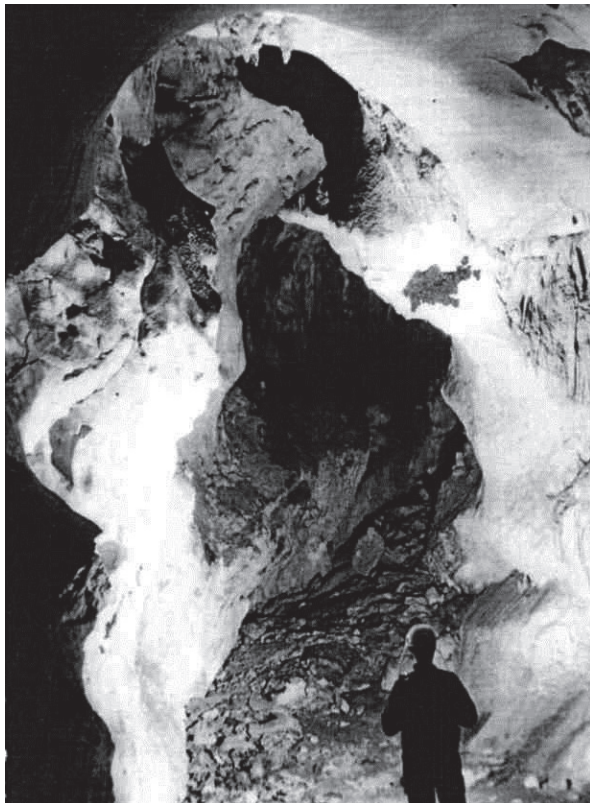
So polkrožne žlebaste zajede, ki potekajo vzdolžno po stenah ali stropu rogov. So večje skalne oblike in lahko zavzamejo večino površine skalnega oboda. Na njih so pogosto fasete in rebra.

Zajede so lahko sledi združevanja rogov. V Fiženci v Predjami (sl. 2.1.88) sta se združila manjši zgornji in večji spodnji rov. V Ponoru v Odolini pa kažejo na vzporedno združevanje manjših rogov (sl. 2.1.89).



2.1.89 Stropna zajeda v Ponoru v Odolini

Plitke zajede so pogosto na vseh stenah večjih rogov (Križna jama, Markov spodmol, Dimnice). Prekrivajo jih fasete. Odražajo dolgotrajnejši nivo vodnega toka. Rov se je poglobljajal (vodni rov v Škocjanskih jamah) ali pa se je voda pretakala nad prodno naplavino (T. Slabe, 1989, MN, 24, 27). V Trhlovci (sl. 2.1.90) je zgornji del meandristega rova razčlenjen v zajede s premerom 1–2 m. Na obodu zajed so fasete, ki so dolge do 15 cm. Stenske zajede so nanizane ena nad drugo. Podobno je skalni obod oblikovan v Rovu koalicije v Postojnski ja-



2.1.88 Stenska zajeda v Fiženci v Predjami



2.1.90 Stenska zajeda v Trhlovci

mi. Tudi na obodu Ključavnice v Vodni jami v Lozi so zajede, ki izpričujejo poglobljanje rova z različnimi količinami vodnega pretoka.

Stenske zajede so tudi na zgornjih delih oboda rogov (T. Slabe, 1989, MN, 23, 36), ki so bili zapolnjeni z ilovico, nad katero se je pretakala voda (Kamenšca, Ciganska jama). V večjih rovih so na stenah zajed tudi večje fasete, ki pričajo o počasnem vodnem toku (Dimnice).

Zajede s premerom manjšim od metra, ki se pod vodno gladino strmo zaključijo, nastanejo tudi v vodnih kotanjah ali pa v jezerih. D. Ford (1988, 46) razlaga njihov nastanek s celično konvekcijo, ko se potaplja težki ioni, konvekcija pa prinese na površje sveže H⁺ ione. Če pa je rov zalit, ta proces, ne glede na geološko osnovo, povzroči nastanek ravnih stropov (D. Ford, P. Williams, 1989, 307). Velikost in oblika zajed sta torej posledici izdatnosti vodnega toka, načina njegovega pretoka in trajanja na določenem nivoju. Enakomerno hitro vrezovanje toka navzgor ali navzdol ustvari kanjonske rove brez stenskih zajed. Povečan vodni pretok lahko preoblikuje manjše zajede. Pomembno je ločiti opisane zajede od zajed, ki so posledica hitrejšega zajedanja vode ob lezikah ali razpokah in od zajed, ki so posledica različne odpornosti skladov (Smoganica). Tako lahko nastanejo tudi navadne ali inverzne stopnice.



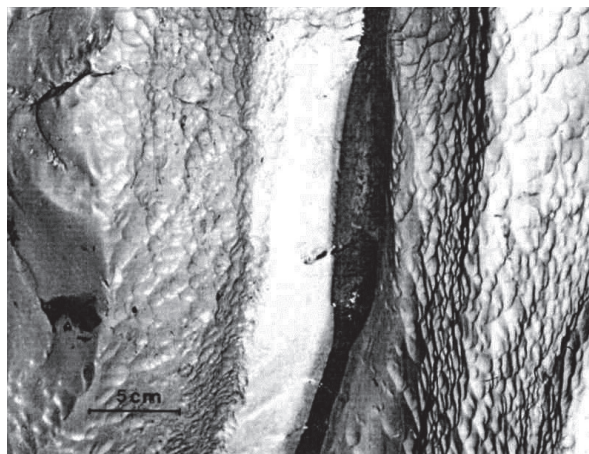
2.1.91 Talni žleb v Markovem spodmolu

Pogosto se zajede preoblikujejo zaradi naplavine, ki jo na njihovih večjih in položnih spodnjih delih odlaga voda. Naplavina jih ščiti pred korozijo. Voda se zato zajeda v bok in zgornji del zajed. Stenske zajede so nastale tudi ob gladini vode pri poskusu oblikovanja nadnaplavinjskih žlebov.

2.1.3.8 Talni žlebovi

V Markovem spodmolu je manjša količina vode, ki se ob nizkih vodah pretaka iz jezera, ujetega nad gladino sifona, vrezala 1 m globok vijugast žleb (sl. 2.1.91). Žleb je zgoraj širok 1 m, spodaj, kjer se pretaka voda, pa le nekaj cm. Majhen naklon tal je povzročil meandriranje manjše količine vode. Na posameznih mestih si je voda že skrajšala pot in zavoje zapustila. Ozko dno žleba je gladko, stene meandra, ki so polkrožno razširjene zaradi pretakanja vodnega toka skozenj, pa so prekrite z manjšimi fasetami.

V bolj strmi strugi v Ponoru v Odolini je nastal žleb (sl. 2.1.92), ki je na dnu širok 5 cm in ima prečni preiz oblike prirezanega V. Spodnjih 10 cm stene žleba je gladkih, na zgornjem delu pa so fasete. Žleb vrezujejo nizke vode, ki v suhem delu leta pritekajo iz stranskih rogov.



2.1.92 Talni žleb v Ponoru v Odolini

Nekoliko večji, tudi vijugasti žlebovi so v Osapski jami. Široki so do 0,5 m in globoki 0,2 m. Njihove stene so gladke. Na tleh Brežanskega rova so nastali dokaj ravni žlebovi, ki so plitkega polkrožnega prereza in so do 5 cm široki. So posledica pretakanja majhne količine vode iz višjih jezer. Rovi se zlasti v pritočnem delu jame dvigujejo navzgor, proti izhodu, in ob nizkih vodah ujeta voda odteka proti smeri vodnega toka.

Meandrast žleb, ki je širok do 50 cm in je 15–20 cm globok, na strmih odsekih pa je globlji in ožji, je tudi na



2.1.93 Talni žleb v Ciganski jami (merilo = 15 cm)

tleh ozkega rova v Ciganski jami. Tla širšega dela žleba so sestavljena iz dveh vzporednih nizov plitkih kotlic (sl. 2.1.93). Po žlebu se pretaka manjša količina vode. Voda se ob večjih sparitnih kristalih, ki štrlijo iz dna žleba, vrtinči in nastajajo plitke kotlice.

V Beško-Ocizeljski jami so majhni meandrasti žlebovi, ki so globoki do 15 cm. Vodijo od žlebičev, ki so na stenah brezen, do velikih draselj, ki so meter ali dva odmaknjene od sten. Po žlebovih se pretakajo vode, ki polzijo v suhih obdobjih leta po stenah brezen. Preko sten občasno pada večji slap.

Oblika, velikost in vijugavost žlebov so posledica količine vode, ki jih vrezuje, naklona kamnine, po kateri se pretaka, in sestave, oziroma razpokanosti, kamnine. Žlebovi so ob nekoliko večji količini vode dokaj ravni, če je nagib kamnine večji od 10° (Osapska jama).

Nastanek žlebov je mogoč le, če tal ne prekrivata naplavina ali podorno skalovje. Gola tla pa so najbolj pogosta v rovih, skozi katere se pretaka hiter in močan vodni tok. In res je takih rovih, v katerih so na višjih delih kotanje z ujeta vodo, manjši talni žleb pogosta skalna oblika. Žlebove pogosto sooblikuje hiter vodni tok. Zgornji deli vijugastega žleba v Markovem spodmolu so polkrožno razširjeni in stene so prekrite

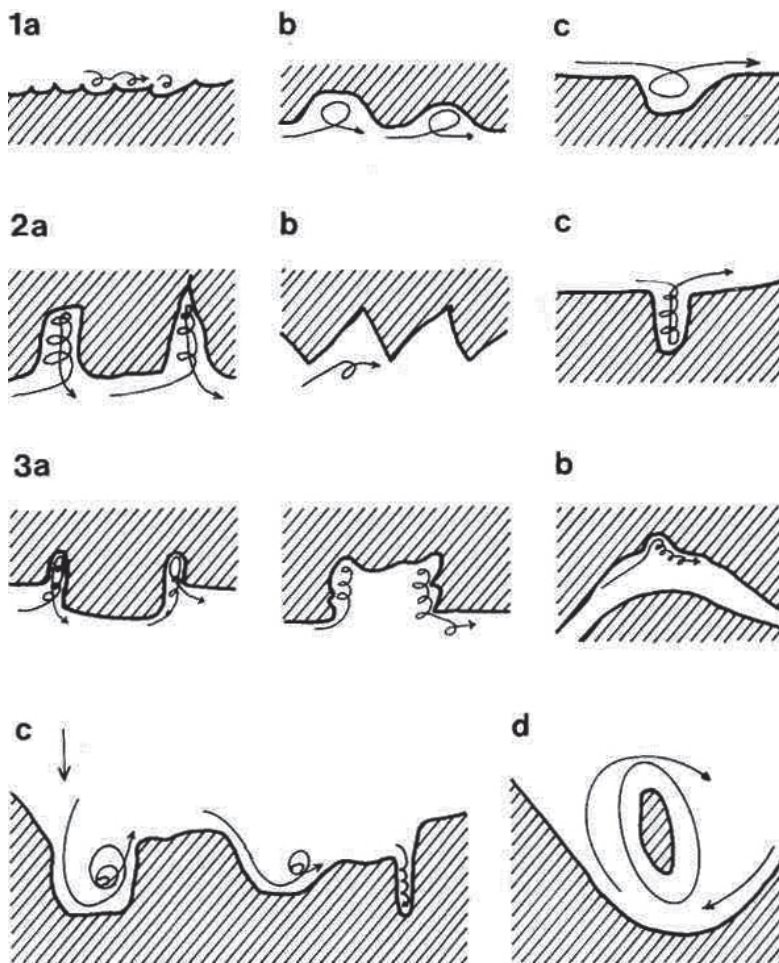
z majhnimi fasetami, zapuščene, višje vijuge pa so preoblikovane v kotlice z večjimi fasetami na robu. Podoben je raven, bolj strm žleb v Ponoru v Odolini, ki ima prav tako gladke le spodnje dele sten. Po njem se pretaka več vode in njeno vrezovanje prevladuje nad delovanjem občasnega hitrega toka. Žlebovi torej nastajajo sočasno z oblikovanjem rovov ali pa kot mlajše oblike v že oblikovanem rovu, kot je to primer v Ciganski jami. Manjši meandrasti žlebiči nastajajo tudi v gorskih jamah pod brezni ali pa na dnu meandrov, ki vežejo brezna (Velika ledenica v Paradani).

2.1.4 Sklep o skalnem reliefu, ki ga vreže vodni tok

Tovrstni skalni relief je odsev hidravličnih razmer v rovih, ki so različno veliki in oblikovani. Vodni tok z različnimi hitrostmi in značilno velikimi vrtinči korozijsko razjeda ali erozijsko gladi različno sestavljeno in pretrto kamnino oboda rovov.

Na homogenih, nerazpokanih skalnih površinah, ki so vzporedne z vodnim tokom in večje od premera vrtincev v toku določene hitrosti, nastanejo fasete, v vzdolžnih zajedah pa rebra. Površino namreč prekrije enakomerno vrtinčenje (sl. 2.1.94, 1a). Fasete prekrijejo celoten obod cevastih rovov, ki niso prepreženi z izrazitimi razpokami. Z večjimi vrtinči ob razčlenjenem stropu in na prehodih med rovi, ki so različno veliki ali različnih naklonov, nastanejo stropne kotlice. Tla izravnava erozija in naplavina. Ob večjih razpokah, ki preprečajo stene, so pogosto niše. Na tleh rovov, skozi katere se pretaka hiter, ponavadi odprt vodni tok, so draslje. Sooblikuje jih material, ki ga prenaša voda. Če je obod izrazito nehomogen, kar onemogoči nastanek manjših faset, ali pa je močno razpokan, kar vpliva na oblikovanje večjih faset in stropnih kotlic, med razpokami nastanejo štrline (sl. 2.1.94, 2b). Kaotičnost vrtinčenja onemogoča nastanek pravilnih vdolbljenih skalnih oblik. Če je vodni tok hitrejši, pridejo do izraza manjše razpoke. Na stropu in na steni so zato pogosti skalni noži. Na tleh, ki jih oblikuje najhitrejši vodni tok, ki prenaša tudi tovor, pa so čeri.

V prilogi (sl. 2.1.94) sem združil nekaj značilnih vrtincev, ki nastanejo v vodnem toku in ponazarjajo zgornje trditve. Ločimo vrtince, katerih tokovnice so pravokotne na steno, ti oblikujejo razmeroma plitke vdolbine, in svedraste vrtince, ki so značilni za globlje kotlice. Velikost in značaj vrtinca sta posledica hitrosti vodnega toka in položaja v rovu. Cone vrtinčenja namreč nastajajo pred ožinami rovov in za njimi, v stropnih zajedah, pod skoki v strugi, na skalnih blokkih in zavojih sten, voda pa se hitreje zajeda tudi ob razpo-



1. vrtinčenje ob homogeni, nerazpokani kamnini
 - a. fasete
 - b. stropne kotlice
 - c. draslja
2. vrtinčenje ob razpokah
 - a. stropne kotlice
 - b. noži
 - c. draslja
3. vrtinčenje, ki ga povzročata oblika rovov
 - a. stropne kotlice
 - b. stenska kotlica na zavoju
 - c. draslje: pod slapom, puščajoči tok, pred oviro
 - d. draslja ob zavoju rova

2.1.94 Značilno vrtinčenje vodnega toka

kah. Spreminjanje nivoja vodnega toka ali pa združevanje rovov odražajo stropne in stenske zajede.

Vodni tok praviloma gladko skalno površino, saj je njegovo delovanje tudi erozijsko, bodisi zaradi vodne mase same ali zaradi materiala, ki ga prenaša. Kamnina, ki je izpostavljena hitremu vodnemu toku, je lahko tudi hrapava, še zlasti ko jo sestavljajo večji fosili, sparitni kristali, je brečasta ali konglomeratna. Na mestih, ki so vodnemu toku najbolj izpostavljeni in se obnje zaletavajo prodniki, je površina skale obtolčena. Takšen je tudi strop za ožino v Babji jami, kjer hitre visoke vode vrtijo prod. Skratka, če je površina, tudi nehomogena, zglajena in skalni robovi zaobljeni, je prevladujoča erozija, če so na površini fasete, skalni robovi pa ostri, prevladuje korozija. Vsekakor pa je trditev, da gladko skalno površino oblikuje le erozija (F. Cser, 1988, 132), preveč poenostavljena, kar se izraža tudi na mikroskopskih posnetkih skalne površine. Največkrat so skalne oblike, ki nastanejo v freatičnih razmerah, pretežno korozijske, delež erozije pa se povečuje s približevanjem k hitrim vadoznim tokovom.

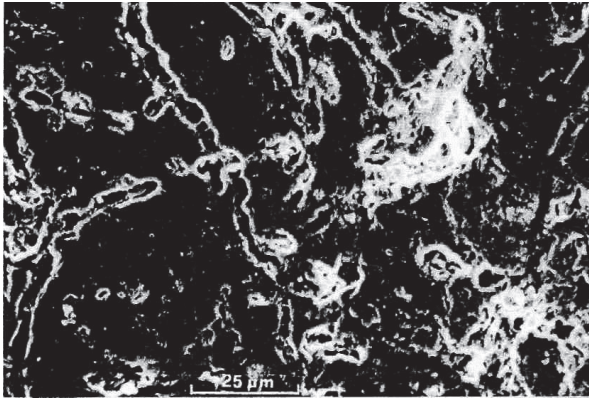
2.1.4.1 Skalna površina pod velikimi povečavami vrstičnega mikroskopa

Očitno je, da so skalne površine, ki jih gladijo hitrejši vodni tokovi, izpostavljene različnim procesom. Zato sem se odločil za njihovo razpoznavanje s pomočjo vrstičnega mikroskopa. Za vzorce smo izdelali tudi zbruske kamnine. Tako lahko primerjamo sestavo kamnine in njeno izpostavljeno površino. Površino, ki je izpostavljena vodnemu toku, lahko razdelimo na gladko, raženo in obtolčeno.

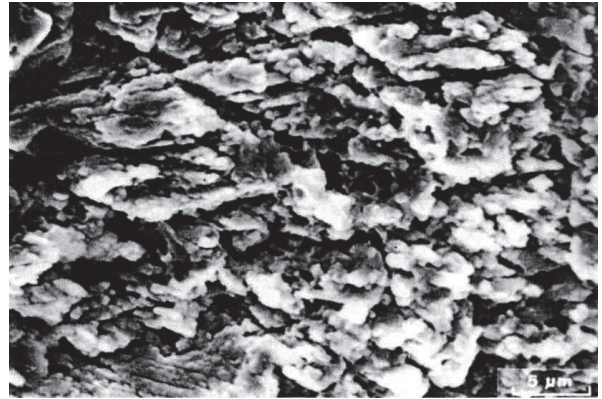
Obod draselj je, če ga opazujemo s prostim očesom, največkrat gladek. Le redko so na njem raze. Gladka je tudi površina faset, zlasti manjših, in sten rovov, v katerih prevladuje erozijsko delovanje vode. Gladki so prodniki, ki prekrivajo dna takšnih strug ali pa so v drasljah. Pod večjimi povečavami pa so jasno razvidne razlike v gladkosti, oziroma hrapavosti, skalne površine. Manjše fasete (sl. 2.1.95), ki so nastale na biomikritnem apnencu v Križni jami in na biomikrosparitnem apnencu v Škocjanskih jamah (sl. 2.1.95a), so najbolj

gladke. Na njih se odražajo le večje nehomogenosti ali pa preprečenost s kalcitnimi žilicami. Površina večjih draselj (sl. 2.1.96, 2.1.96a) na biomikrosparitnem apnencu v Šumeči jami pa je enakomerno, drobno hrapava po vsem prečnem prerezu. Nekoliko bolj gladka je površina manjših, polkrogelnih talnih kotlic. Drobno hrapava je tudi površina prodnikov (paleogeni biomikrit) v Šumeči jami in zaradi erozije zglajenih sten v Babji jami (sl. 2.1.97). Na povečavah površin, na ka-

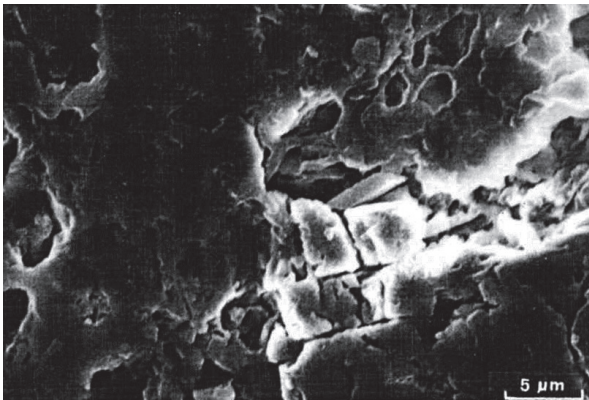
tere deluje erozija, so lepo razvidne raze (sl. 2.1.98) in manjši kraterji (sl. 2.1.99), v katerih je kamnina zdrobljena. Najbolj izrazito je razčlenjena obtolčena površina, ki pa je razvidna že s prostim očesom (sl. 2.1.100). Kraterji v njej so globlji (sl. 2.1.101), kristali različno pretrti in ostro lomljeni. Sestava kamnine se na erozijsko zglajenih površinah ne odraža veliko, nekoliko odstopa le bolj razčlenjen rekrystaliziran in pretrt biomikriten dolomit v Pucovem breznu.



2.1.95 Površina fasete v strugi Škocjanskih jam



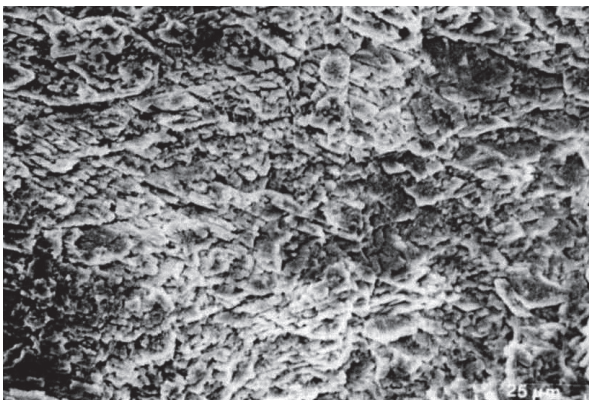
2.1.96a Površina večje drasle v strugi Škocjanskih jam



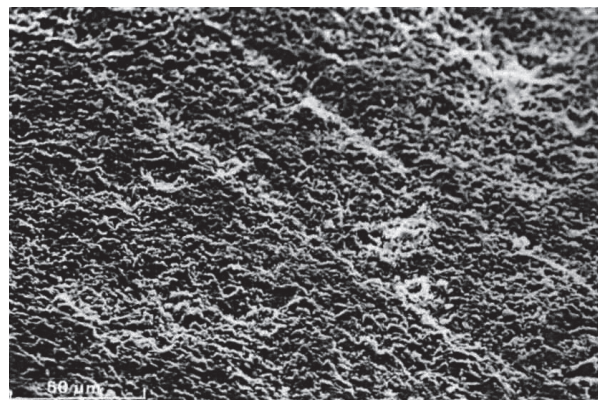
2.1.95a Površina fasete v strugi Škocjanskih jam



2.1.97 Erozijsko zglajena stena Babje jame (merilo = 15 cm)



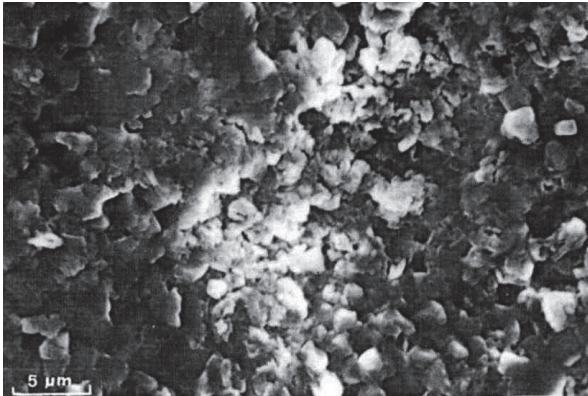
2.1.96 Površina večje drasle v strugi Škocjanskih jam



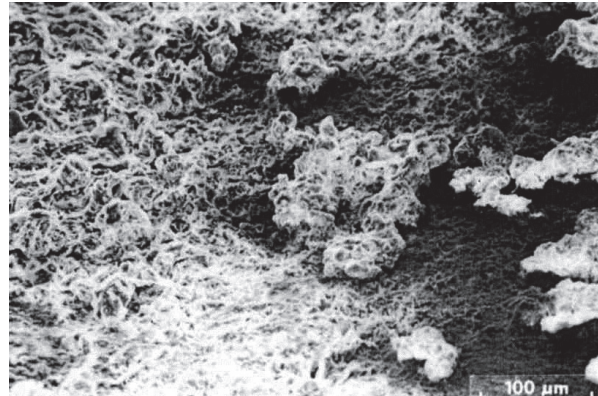
2.1.98 Raze na erozijsko zglajeni steni

Predpostavimo lahko, da je gladkost skalne površine, ki jo nazorno razčlenimo šele pod večjimi povečavami, posledica različnih procesov, ki delujejo nanjo. Zglajena površina manjših faset in manjših kotlic je posledica prevladujočega, pretežno korozijskega delovanja vodnega toka, katerega vrtinčasto jedro se povsem približa steni in odnaša tudi počasneje topne delce kamnine, ki štrlijo iz nje. Za obe obliki je značilno, da sta v zatišnih legah, odmaknjen od vlečenega vodnega

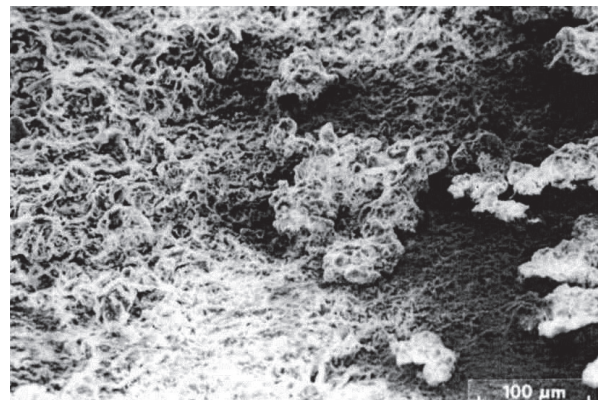
tokova, torej na odtočni strani grbin, zgornjih ploskev skalnih blokov ali pa višje na steni. Erozijsko zglajene površine, ki imajo dokaj ravne osnovne ploskve (sl. 2.1.98), ohranjajo pod velikimi povečavami drobno hrapavost zaradi trenja prodnikov in peska ob skalno strugo. Najbolj izpostavljeni deli skalnih blokov in izboklin na dnu struge pa so pogosto obtolčeni.



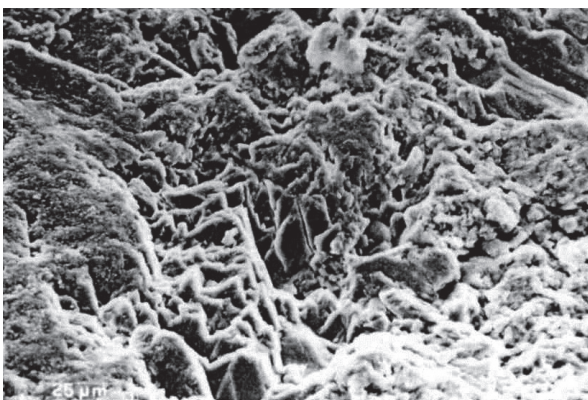
2.1.99 Kraterji z zdrobljenimi zrni



2.1.100 Obtolčena površina stropa za ožino v Babji jami



2.1.102 Smolnata plast na skali v strugi Škocjanskih jam



2.1.101 Obtolčena površina

Površina draselj na dnu struge v Škocjanskih jamah je prevlečena s tanko plastjo smolnate snovi (sl. 2.1.102). Kakšna je, nam še ni uspelo ugotoviti. Težko jo je bilo odstraniti, čeprav smo poskušali z alkoholom in acetonom. Predvidevam, da je ostanek usedline iz onesnažene Reke. V njej so sprijete tudi prinesene diatomeje. V robnih delih struge te prevleke ni. Useda se torej predvsem iz nižjih voda. Visoke vode so bolj razredčene in erozijsko učinkovite. Lahko pa opazujemo, da se v zadnjem letu ta obloga tanjša, saj je bila pred tem struga sluzasta in spolzka.

2.1.4.2 Značilnosti rogov, ki jih oblikuje vodni tok, glede na skalni relief in prečni prerez

Po razporeditvi skalnih oblik in njihovi prepletenosti na obodu rogov lahko sklepamo na pogoje in procese njihovega oblikovanja. Enaki pogoji in procesi se različno odražajo na različno velikih in oblikovanih rovih. To lahko opazujemo zlasti ob njihovem vzdolžnem prerezu. Prekrivanje različnih oblikovalnih procesov pa pogosto razberemo že iz prečnega prereza rogov in skalnega reliefa na njih.

Relief sestavljajo le recentne ali stare skalne oblike ene ali več vrst (Kozinski rov v Lipiški jami: velike fasete in nadnaplavinske anastomoze), stare in recentne (Novi rov v Beško Ocizeljski jami: na velikih fasetah so majhne) ali pa so stare oblike delno preoblikovane s sedanjimi procesi (kondenzna korozija). Pogosto je relief sestavljen iz več oblik, ki jih omogočajo različni sedanji pogoji (Ponikve v Jezerini: manjše fasete, stropne kotlice in podnaplavinski žlebiči).

Prečni jamski profil je ena izmed osnov za študij speleogeneze, je ugotovil I. Gams (1961, 47), ko je po dognanjih iz naših jam in literature pregledno strnil različne prečne prereze rogov in njihovo odvisnost od lege skladov. Sam uporabljam izraz prečni prerez rova (prečni profil jamskega rova v Slovenski kraški terminologiji 1973, 23), saj jame lahko sestavlja več rogov z različnimi prečnimi prerezi. I. Gams (1961, 48) meni, da je prečni prerez rova posledica prvotne oblike rova, strukture in petrografske sestave kamnine, hidravlike, vpliva sosednjih prerezov, predhodnih razvojnih oblik in jamske akumulacije. Prečne prereze je predstavil tudi na fotografijah (I. Gams, 1974, 103). F. Šušteršič (1985, 81), ki se opira na dognanja A. L. Langa, rezultate odnašanja kamnine imenuje speleogene. Izdvoji pasivne faktorje, ki so odsev lastnosti kamnine, in aktivne faktorje, ki so neposredni dejavniki odnašanja kamnine. Poudarja (F. Šušteršič, 1985, 85), da so različne oblike prečnih prerezov lahko le zaporedno stanje v njihovem razvoju. R. Maire (1980, 29) razvojne faze rogov z ustreznimi prečnimi prerezi deli na singenetske in paragenetske ter na obdobja pretakanja odprtih vodnih tokov. D. Ford in P. Williams (1989, 294, 299, 272) rove in njihove prereze delita na freatične, vadozne in paragenetske.

Značilnosti rogov, zlasti raznovrstnih v večjih jamskih sistemih, so torej temelj za razlago speleogeneze kraškega podzemlja. Predstavil bom rove, ki so posledica značilnih hidroloških pogojev oblikovanja izbranih jam.

a. Rovi v freatični coni

Delim jih po skalnem reliefu, ki ga oblikuje različno hiter vodni tok, ki se pretaka skozi. V rovih, ki so

bili globlje zaliti, skozi njih pa se je pretakal počasen vodni tok, so na obodu velike fasete, lahko tudi stropne kotlice. Hitrost toka je dosegala 5 cm/s. V izbranih jamah so to večinoma večji rovi, smer pretoka vode pa je iz skalnih oblik težko razbrati. Voda, ki se je pogosto pretakala nad drobnozrnato naplavino, je omenjene skalne oblike vrezala v položnih rovih ali nagnjenih rovih, kjer se je pretakala navzgor (Vilenica) ali navzdol. V zalitih rovih z nekoliko hitrejšim tokom kot v zgornjem primeru so večje fasete 2. skupine. Dolge so 15 do 40 cm. Na stropu pa so pogosto kotlice. Vodni tok se je v njih pretakal s hitrostjo 5 do 20 cm/s.

Opazoval sem lahko le stare takšne rove (starostna, akumulacijska faza, I. Gams, 1961, 51). Njihov obod je pogosto preoblikovan zaradi razpadanja, odprtih vodnih tokov (sl. 4.2.5) in korozije na stiku z drobnozrnato naplavino (Volčja jama, Kozinski rov v Lipiški jami). Na starih skalnih oblikah so nastale mlajše (majhne fasete na velikih v Novem rovu v Beško Ocizeljski jami) ali pa so mlajše oblike le na spodnjih delih sten (Logaška jama, Fiženca v Predjami). Deloma jih je preoblikovala tudi kondenzna korozija (Križna jama). Podobni odseki votlin so tako v nizkih pretočnih kot v visokih, danes odtočnih predelih našega krasa. V nerazpokani in debelo skladoviti kamnini so prerezi freatičnih rogov (Kozinski rov v Lipiški jami; sl. 2.1.88; 2.1.89) lahko dokaj okrogli (eforacijski profil; I. Gams, 1974, 103), podobni elipsam (niša v Križni jami) ali pa se prilagajajo pretrti in skladoviti kamnini (dolomitu v Turkovi jami).

b. Rovi v epifreatični coni

Rove, ki so občasno zaliti, skozi pa se pretaka hitrejši vodni tok kot v globlje zaliti coni, lahko razdelimo na rove s srednje hitrim in hitrim vodnim tokom.

V rovih, skozi katere se pretaka srednje hiter vodni tok, so na obodu srednje velike fasete 2. skupine, ki so dolge od 5 do 15 cm, na stropu pa kotlice. V širših delih rogov, kjer

so na stenah večje fasete, so pogosti tudi podnaplavinski žlebiči in vdolbinice. Rove, ki imajo razpokan obod, pa razčlenjujejo noži (Vzhodni rov v Predjami). Tok v takšnih rovih doseže hitrost 20 do 50 cm/s. Hitrejši vodni tok preoblikuje morebitne sledi starejšega oblikovanja rova, le redki so primeri, ko so mlajše sledi prek starejših (Novi rov v Beško Ocizeljski jami: manjše fasete na velikih).

Epifreatični, s hitrim tokom občasno zaliti rovi, imajo na obodu majhne fasete 2. skupine, v ožinah pa pogosto 1. skupine. Če pa so rovi le pretežno zaliti, v njih so fasete podskupine 2–3. Fasete so dolge le nekaj cm, torej se skozi takšne rove pretaka vodni tok s hitrostjo, ki večinoma presega 50 cm/s. Hitre, zlasti

ponorne vode prenašajo pesek ali prod in na tleh lahko nastanejo draslje. Hiter vodni tok zabriše vse morebitne sledi starejšega oblikovanja rogov.

V vzdolžnem prerezu rova, ki je različno velik, lahko opazujemo sledi prvega in drugega tipa toka, saj se skozi ožine pretaka voda hitreje. Rovi so položni ali strmi, kot smo lahko opazovali v Mali Boki, kjer so celo navpični.

Značilen odsek rova s sifonon, v katerem se menjavata počasen in srednje hiter vodni tok, je Krožni rov v Črni jami. Občasen, hitrejši vodni tok ob višjih vodah vrezuje srednje velike fasete in stropne kotlice. Iz počasnejšega toka ob nizkih vodah ali iz ujete vode se odlaga drobnozrnata naplavina. Pod njo se preoblikujejo fasete, nastajajo pa tudi podnaplavinske konice. Podobno je oblikovan Blatni rov v Zelških jamah, katerega voda poplavi le še v spodnjih delih.

Izdvojimo lahko še majhne rove, skozi katere se občasno hitro pretaka voda, ki ima velik stolpec pritiska v zaledju. Na stropu rogov so majhne kotlice, tla in stene pa so erozijsko zglajene. Ob povzročenih vrtincih so draslje. Vodni tok v teh rovih pogosto presega hitrost 2 m/s. Prevladujoča erozija onemogoča nastanek majhnih faset. Takšni so rovi v izvirnih jamah na robu visokega krasa (Babja jama, Matijeva jama in Suhadolica), v katerih se vrtinči avtohtoni prod.

Rovi imajo podobne prečne prereze kot freatični, le redko so struge poglobljene zaradi hitrega, odprtega vodnega toka (Tentera, vhodni del Ponorne jame Lokve in Jama v Peklu). Vzdolžno povezanost rogov z okroglim ali elipsastim prerezom s špranjastimi rovi lahko opazujemo v Mali Boki. Okrogli in elipsasti rovi so nastali v debeloskladovitem apnencu, špranjasti pa v gosto pretrti breči. Prve prekrivajo majhne fasete, drugi pa imajo obod razčlenjen v majhne štrline. V enakih hidroloških pogojih torej prevlada pomen kamnine. Špranjasti rovi so značilni tudi za dolomit (Jama v Peklu). Manj primerna je pogosta delitev rogov na erozijske in korozijske. Njihove značilnosti je povzel I. Gams (1961, 49). Prvi imajo bolj zaokrožen profil in obrušene stene, oblika drugih pa se prilagaja sestavi in pretrtosti kamnine. Ugotovimo pa lahko, da imajo tako špranja-

sti rovi (Slepič v Križni jami, del rova v Podpeški jami) kot večina rogov z okroglim prečnim prerezom (Mala Boka, Beško Ocizeljska jama, Zelške jame, Ponikve v Jezerini, Ponor v Odolini) lahko po vsem obodu fasete. Prevladujoč proces oblikovanja faset pa je korozija. Pretežno erozijsko oblikovani rovi imajo skalni obod zglajen (Babja jama).

c. Rovi v vadozni coni

Odperti vodni tokovi z najbolj hitrim pretokom so značilni predvsem za ponorne in izvirske jame, kjer se oblikujejo prave rečne struge (Škocjanske jame, Postojnske jame: del Podzemeljske Pivke, Pivka jama, odtočni del Planinske jame). Na obodu rogov prevladujejo majhne fasete 3. skupine, rebra, draslje, čeri, stenski noži in erozijski žlebovi. Pritočne, izpostavljene skalne površine so mnogokrat obtolčene. Hitrost toka v pretočnih jamah je omejena zaradi manjših vmesnih rogov.

Odpri vodni tok obliva tudi brezna ali navpične rove (Ponor v Odolini, Beško-Ocizeljska jama, skok v Markovem spodmolu). Nastanejo stropni žlebovi, na položnejših odsekih erozijski žlebovi, ki so prekriti z majhnimi fasetami, pod brezni ali strmimi deli struge pa draslje.

Manjši odpri vodni tok se pretaka tudi v dnu meandrov (Kamenšca, Velika ledenica v paradani). V Kamenšci so na dnu meandra manjše fasete, pod skoki pa plitke kotlice.

Prečni prerezi vadozних rogov velikokrat kažejo na poglobljanje freatičnih ali epifreatičnih rogov z odprtim vodnim tokom (Križna jama). Krožni ali elipsasti rovi so tako poglobljeni z meandri (pritočni rov v Brlogu na Rimskem, zgornji rov v Trhlovci, sl. 2.1.90) in kanjoni (sl. 2.1.88; spodnji del v Beško Ocizeljski jami (A. Mihevc, 1991, MN, 46)). Lep primer prereza v obliki ključavnice, ki kaže na poglobljanje rova z različnimi količinami vodnega toka, je v Vodni jami v Lozi. V Smoganici pa je podoben prečni presek rova predvsem posledica različne odpornosti raznovrstnih, položnih skladov kamnine.

2.2 Obnaplavinski skalni relief

Obnaplavinski skalni relief (tabela 4) sestavljajo nadnaplavinske in podnaplavinske skalne oblike. Nadnaplavinski žlebovi in vdolbinice so značilnost rovov, ki so bili zapolnjeni s poplavno naplavino. Zaradi pretoka vode nad ilovico v poplavljenem rovu žlebovi višajo strop in se zajedajo v stene, ko voda odteka navzdol. Voda, ki priteka v zapolnjene rove skozi razpoke, lahko ob njihovem ustju naredi kotlice. Drobne vdolbinice pa nastanejo na kamnini že ob sami vlažni naplavini (Dimnice). V rovih, kjer se naplavina zadrži dlje časa, je kotličasto razjedanje bolj izrazito. Še zlasti značilno je to za jame, kjer so naplavino zaradi hitrega znižanja podzemne vodne gladine le počasi izpirali posamezni curki prenikajoče vode (Volčja jama na Nanosu). Še prej pa je agresivnejša voda, ki je dotekala na stik z naplavino, razjedla skalni obod.

Tabela 4: Obnaplavinske skalne oblike

SKALNE OBLIKE		DEJAVNIKI OBLIKOVANJA	POGOJI OBLIKOVANJA	PROCES NA KAMNINI
NAPLAVINSKE	stropni, stenski žleb	manjši tokovi nad naplavino	zalita cona	korozija
	anastomoze		zalita cona	korozija
	vdolbinice	vlaga v naplavini ali	zalita cona	korozija
	kotlica	dotok vode do naplavine	zalita cona	korozija
PODNAPLAVINSKE	žlebiči	izcejanje vode iz naplavine	občasno zalita cona	korozija
	vdolbinice	vlaga v naplavini	občasno zalita cona	korozija
	stropna kotlica	izcejanje vode iz naplavine	občasno zalita cona	korozija
	stropne konice	voda ob naplavini	zalita cona	korozija

Podnaplavinske skalne oblike sestavljajo skalni relief rovov, skozi katere se občasno pretakajo počasnejši vodni tokovi in na obod odlagajo drobnozrnato naplavino. To so žlebiči in vdolbinice, stenske zajede, stropne konice in kotlice (tabela 4). Nastajajo zaradi izcejanja vode iz naplavine (žlebiči), korozije pod vlažno naplavino (vdolbinice), ko se umaknejo visoke vode, ali pa zaradi raztapljanja gole skale v zalitih rovih (stenske zajede, stropne konice). Naplavina namreč mestoma prepreči vodi stik s steno.

Omenjene skalne oblike nastajajo zaradi raztapljanja kamnine. Raztapljanje je pospešeno s svežimi poplavnimi vodami, ki večinoma pritekajo z nekarbonatnih kamnin. Voda postane agresivna tudi zaradi naplavine, saj so v njej pogosto organske snovi (T. Slabe, 1989, 212), in zaradi prisotnosti ogljika se tvori CO₂. Dokaz za korozijsko razjedanje skale je tudi površina tovrstnih skalnih oblik, ki je drobno hrapava.

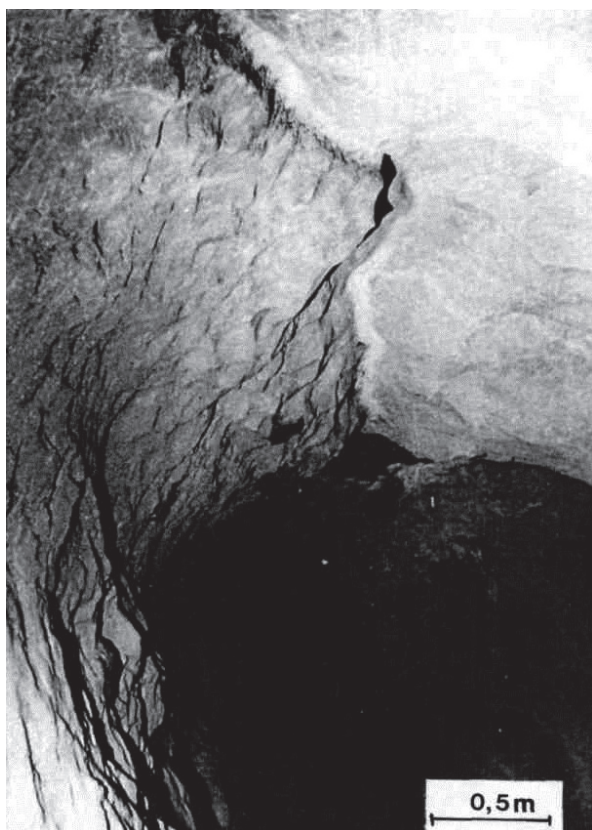
2.2.1 Nadnaplavinske skalne oblike

2.2.1.1 Stropni in stenski žlebovi ter anastomozne mreže

Podrobneje sem že opisal anastomozno mrežo v zgornji etaži Dimnic (T. Slabe, 1987). Po položaju in obliki mreže ter žlebov v njej sem sklepal na njen nastanek in oblikovanje. Predpostavil sem, da je mreža nastala v lokalno zajezeni coni, ko se je po žlebovih na stiku z ilovico pretakala voda. Nastanek zaradi pretakanja vode nad drobnozrnato naplavino je potrdil že S. E. Lauritzen (1981, 407) s poskusom, ko je na mavcu nastal splet majhnih žlebičev, ki so imeli premer velik le 2–3 mm. Takšne velikosti pa so bili tudi delci, ki so sestavljali naplavino. Žlebiči so torej nastali zaradi pretakanja vode med delci naplavine, ki so bili v tesnem stiku z mavcem. Žlebovi v jamah pa so praviloma precej večji, saj znatno presegajo velikost delcev, ki sestavljajo naplavino. S poskusi na mavcu sem zato skušal proučiti nastanek in razvoj stropnih žlebov.

Oblika nadnaplavinskih stropnih žlebov in anastomoz

Veliki **žlebovi** zavzemajo ves zgornji del rova, manjši žlebovi pa so le na najvišjem delu stropa. Prvi so v rovih (T. Slabe, 1989, MN, 23, 36) z navpičnimi stenami (Turkova jama; D. Ford in P. Williams, 1989, 272). Dosežejo več metrov premera. Manjši žlebovi imajo omega prečne prereze in so vijugasti (sl. 2.2.1). Z velikostjo žlebov se povečuje njihova premočrtnost (sl. 2.2.2). Če so žlebovi nastali ob razpokah, so razmeroma ozki in visoki ter imajo polkrožne vrhove. Ob razpokah so ohranjeni tudi žlebovi, ki imajo prečne prereze v obliki obrnjene črke V in ostro vijugajo. To je posledica mreže razpok. Premer manjših žlebov meri od 1 cm do metra. Majhni žlebovi pogosto vodijo tudi iz stropnih kotlic, ki so nastale ob razpokah (T. Slabe, 1989, MN, 29).

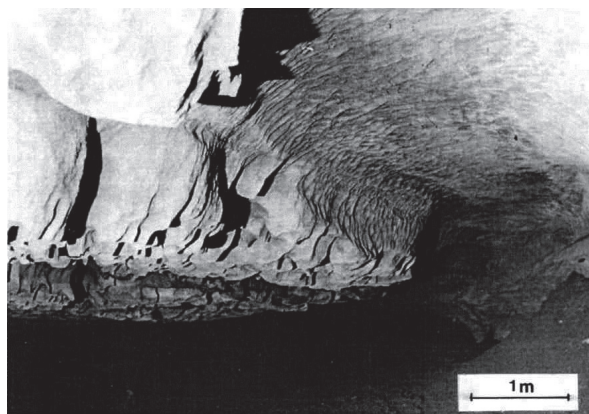


2.2.1 Stropni žleb v Blatnem rovu Predjam

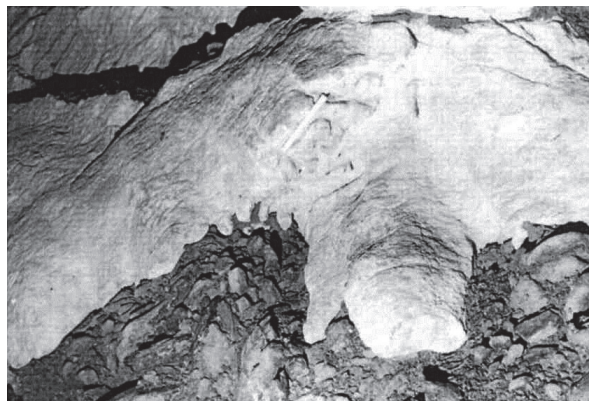


2.2.2 Stropni žleb v Blatnem rovu Beloglavke

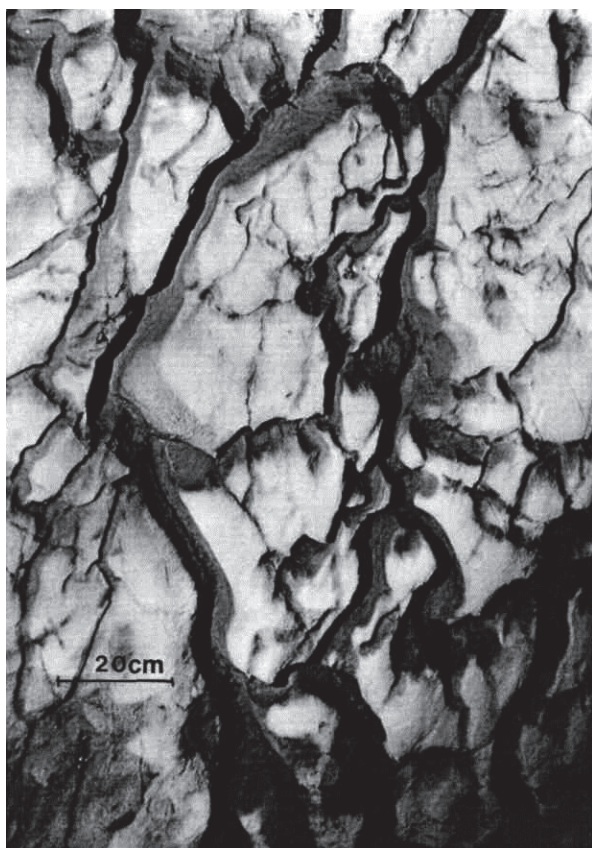
Stropne žlebove, ki so prepleteni v mrežo, imenujemo **anastomoze** (T. Slabe, 1987, 169); ker so nastale nad naplavino, jih poimenujemo še z izrazom nadnaplavinske. Poznamo namreč tudi medskladovne in medrazpoklinske anastomoze. Površina anastomoz, ki prekrivajo ves strop rova (Havaji v Brlogu na Rimskem (sl. 2.2.3), Kozinski rov v Lipiški jami), del stropa ali pa le podvise na stenah (Dimnice (T. Slabe, 1987, 171), Trhlovca, Turkova jama (sl. 2.2.4)) meri od 10 cm² do več m². Mreže so samostojne ali pa jih je več povezanih z žlebovi (T. Slabe, 1987, 172). Ločimo dva načina povezav žlebov in anastomoz. Prvi so žlebovi in anastomoze, ki so na stropu. Anastomoze na stenskih podvisih povezujejo stenski žlebovi. Mreže anastomoz nastanejo na površinah, ki so nagnjene do 30°; večji je nagib površine, bolj je izrazita usmerjenost žlebov v smeri padca, seveda če se je voda pretakala navzdol, saj so žlebovi nastali v lokalno zaliti coni. Usmerjenost je razvidna od 10° naklona naprej (Kozinski rov v Lipiški jami (sl. 2.2.5)). Žlebovi v anastomozah so podobni posameznim žlebovom. Za mreže, ki jih sestavljajo žlebovi različnih velikosti, je značilna nadstropnost (Brlog



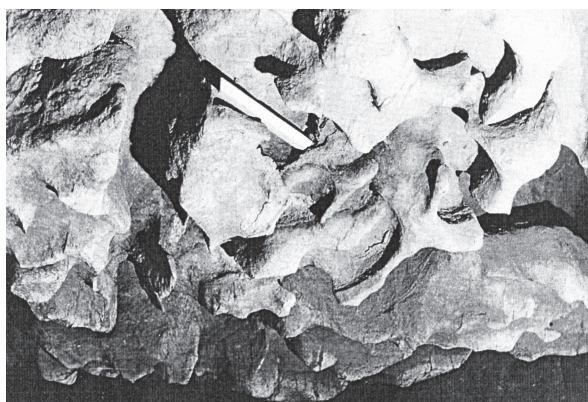
2.2.3 Anastomozna mreža v Havajih v Brlogu na Rimskem



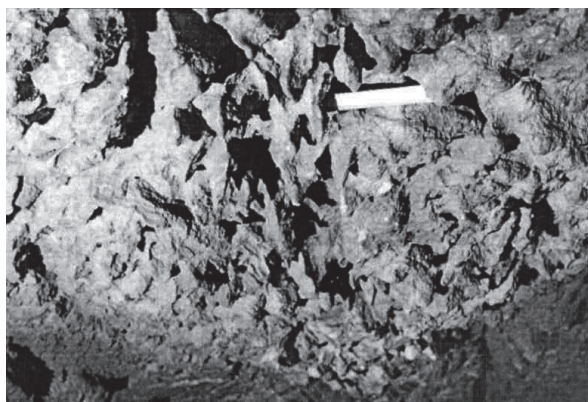
2.2.4 Anastomozna mreža na podvisu Velikega rova v Turkovi jami (dolomit) (merilo = 15 cm)



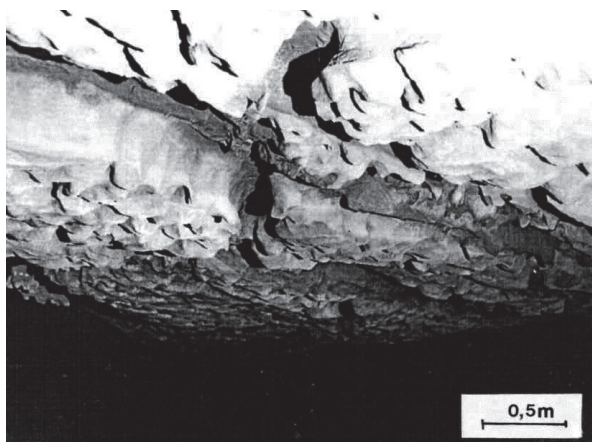
2.2.5 Anastomoze na stropu Kozinskega rova v Lipiški jami



2.2.7 Del anastomoz v Havajih v Brlogu na Rimskem (merilo = 15 cm)



2.2.8 Anastomoze na dolomitu v Turkovi jami (merilo = 15 cm)



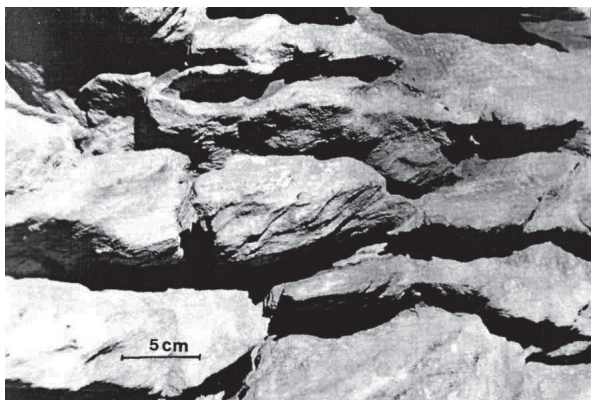
2.2.6 Anastomoze v Havajih v Brlogu na Rimskem



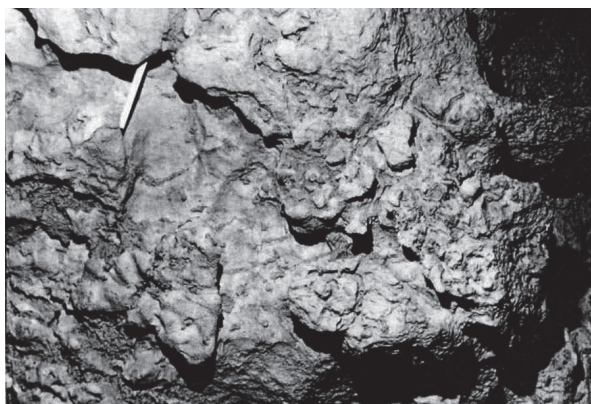
2.2.8a Rov z anastomozami na stropu v Turkovi jami

na Rimskem (sl. 2.2.6), Dimnice (T. Slabe, 1987)). Najmanjši žlebovi, ki imajo premer velik le nekaj cm, so najnižje. Srednje veliki žlebovi, katerih premer meri od 10 do 15 cm in so omega prečnih prereзов, so za velikost premera globlji. Največji žlebovi, ki so veliki tudi preko metra (Havaji v Brlogu na Rimskem), pa so odprtega omega prereza. Manjši, zgornji žlebovi, ki so praviloma najbolj vijugasti, so obviseli nad večjimi, globlje

zajedenimi žlebovi. V anastomozah z gosto mrežo žlebov, ki niso nastali ob razpokah, so med žlebovi krožne ali zaobljene večkrake štrline (sl. 2.2.7). Spodnja ploskev kamnine, v katero so žlebovi zajedeni, je dokaj ravna. Na dolomitu žlebovi pogosto nimajo pravih omega prečnih prereзов in so tudi na istem nivoju različnih velikosti in oblik. Štrline med njimi, ki so bolj koničaste, so drobno razčlenjene (sl. 2.2.8, 2.2.8a).



2.2.9 Mrežasti splet žlebov na dolomitnem stropu Jame v Peklu



2.2.10 Anastomoze na konglomeratu v Smoganici (m. = 15 cm)

Značilna krojivost dolomita na tanke, a prekinjene plosče, se odraža tudi na obliki anastomozne mreže s pravokotno povezanimi žlebovi (sl. 2.2.9). V anastomozah, ki so nastale na konglomeratu v Smoganici, so med manjšimi žlebovi štrline, ki so sestavni deli kamnine (sl. 2.2.10). V večjih žlebovih se kamnina ne odraža, saj segajo prek različnih sestavnih delov.

Na površinah, ki so nagnjene več kot 30°, so stenski žlebovi. Žlebovi, ki potekajo po stenah navzdol, so večji in ravni. Če pa potekajo vzporedno z rovom ali poševno po steni, so vijugavi. Na njihovih zavojih so nastale manjše štrline.

Na gosto razpokani kamnini so na stenah in na stropu pogosto manjše cevi s premerom do 10 cm in so v celoti nastale v kamnini (Dimnice, Ledenica na Dolu (T. Slabe, 1989, MN,153)). Takšne cevi so nastale tudi pri poskusu na mavcu.

Izdvojimo lahko še eno skupino nadnaplavinjskih skalnih oblik. Gre za gost splet stropnih žlebov, ki so dokaj ravni, saj so zlasti večji nastali ob razpokah. Med žlebovi so zaobljene koničaste štrline. Žlebovi, ki večinoma vodijo po nagnjenem stropu navzdol, so različnih velikosti. Na najvišjem delu stropa so žlebovi široki le cm, nižje na stropu pa so globoki tudi meter in več. Imajo prečne prereze, podobne obrnjeni črki V. Za manjše žlebove je značilno, da niso povezani v mrežo, temveč se navzdol izklinjajo. Lep takšen primer je v Tihi jami, v Škocjanskih jamah (sl. 2.2.11). Po obliki vmesna sto-

2.2.11 Stropne štrline v Tihi jami v Škocjanskih jamah
↓ (merilo = 15 cm)



pnja med temi in zgoraj opisanimi anastomozami so tudi v Ponoru v Odolini in na dolomitu v Pucovem breznu.

Stropni žlebovi so tudi v jamah, ki so začele nastajati ob stiku zgornje karbonatne kamnine s spodnjim flišnim laporjem. Prvotni kanali, ki so imeli značaj medskladovnih anastomoz (R. O. Ewers, 1982), so prerasli v rove zaradi erozije laporja, Takšen primer je v Piskovici (M. Jekič, M. Zlokolica, 1988, 71; A. Mihevc, 1991a, 21). Žlebovi so razvrščeni ob pravokotni mreži razpok. Vzdolžni žlebovi, ob katerih so nastali rovi, so večji. Podobni žlebovi so ohranjeni tudi v Poljanski buži in Kubiku. Nastanek tovrstnih stropnih žlebov ni predmet tokratnega proučevanja.

Poskusi ustvarjanja nadnaplavinskih žlebov na mavcu

Dosežki ustvarjanja nadnaplavinskih stropnih žlebov na mavcu so zaradi majhnega števila poskusov še omejeni. Največja pomanjkljivost poskusov je onemogočeno sprotno spremljanje njihovega oblikovanja. Poskus pa je moč opazovati in uravnavati na pritočku vode v sistem in na iztoku iz njega. Vsekakor pa kaže s poskusi (sl. 2.2.12) nadaljevati, saj so doprinesli pri proučevanju pretakanja vode nad drobnozrnato naplavino mnogo razlag in iztočnic zanje.



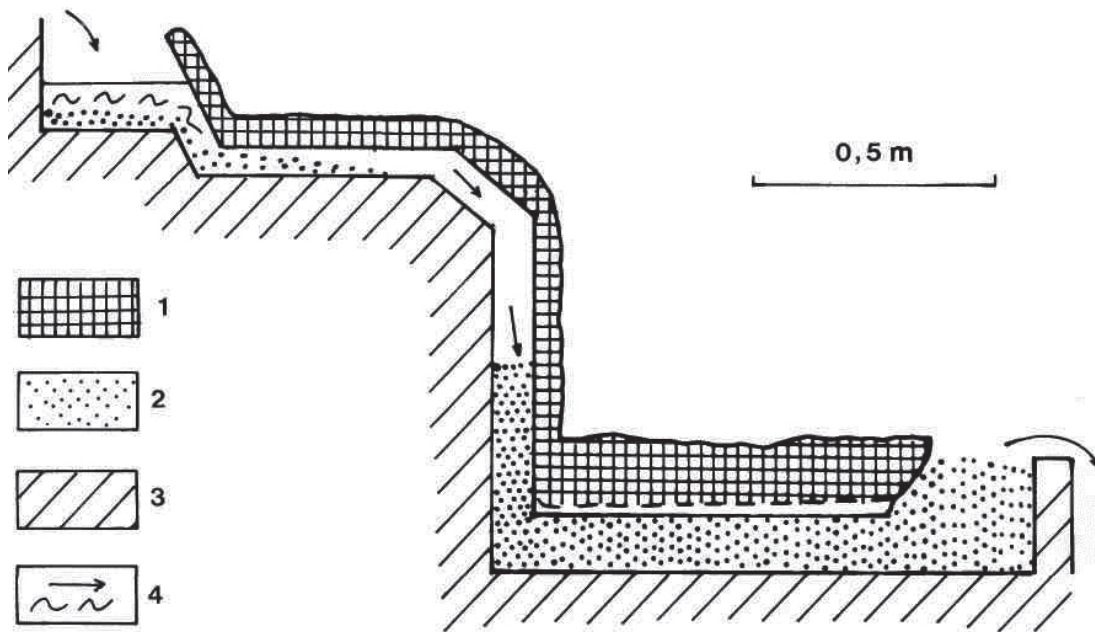
2.2.12 J. Hajna pripravlja poskus z nadnaplavinskimi žlebovi

Pri delu smo uporabljali vodo iz vodovoda, industrijski mavec ($\text{CaSO}_4 \times 1/2$ vode) in ilovico iz Blatnega rova v Predjami. V litru vode se je pri sobni temperaturi raztopilo 1,4 grama mavca. Ilovica je vsebovala tudi 0,5% organskega ogljika. Ko se je ilovica dlje časa namakala v vodi, se je v vodi raztopilo nekoliko več mavca (1,7 g/l). Pod ilovico se v jami oblikujejo podnaplavinski žlebiči.

Pod različno velike plošče mavca (0,3–0,7 m²), ki so bile vodoravne, navpične, ali različnih naklonov, smo naplavili 5 do 8 cm debelo plast ilovice. To smo dodajali pritočni vodi, ki je imela pretok 1,5 l/s. Pred iztokom iz sistema so bile plošče pod gladino izvira, v zaledju pa nad njo. Ilovica je hitro zapolnila prostor pod ploščami, ki so bile pod gladino izvira. Najprej se je voda prelivala čez zaporo izvira enakomerno, nato pa so nastali posamezni izviri z vrtinci, ki so bili dokaj enakomerno razporejeni vzdolž preliva. Število izvirov se je sčasoma manjšalo in končno je prevladal en sam, v nekaterih poskusih pa tudi dva izvira. Ilovico smo pritočni vodi dodajali sproti, nekaj jo je tudi odtekalo. Pretok skozi sistem se je občasno upočasnil ali pa celo zastal. Ker pa je bil v zaledju možen 1,5-metrski stolpec pritiska, se je čez 1 do 5 minut pretok odprl z manjšim ali večjim sunkom vode. Po največjih sunkih se je obnovilo več izvirov. Večina je kmalu prenehala prevajati vodo. Obnovila se je podoba izpred zamašitve sistema. Če smo dodali preveč



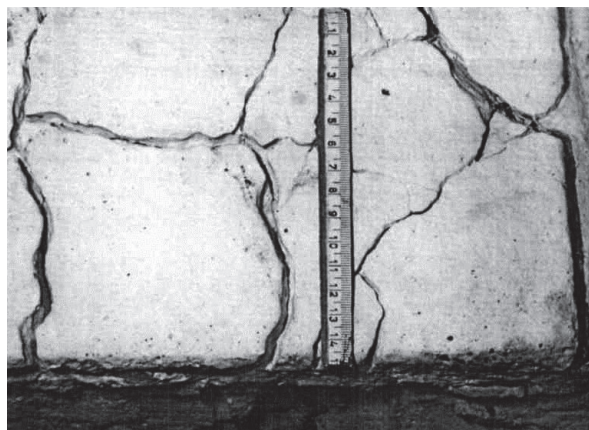
2.2.13 Stropni žleb na izviru



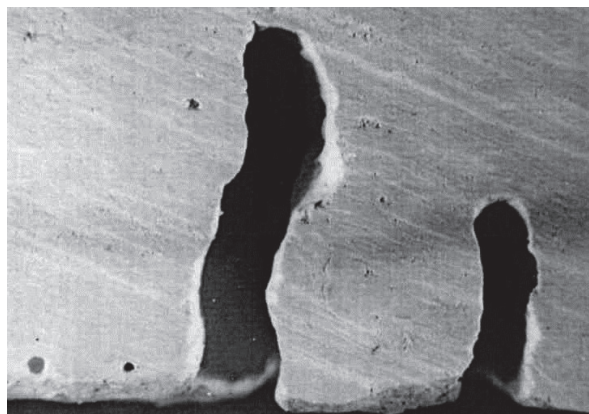
2.2.14 Prečni prerez poskusnega modela

ilovice, smo pretok obnovili le z osuševanjem sistema. Ilovica se je takrat vsedala in razpokala in s poskusom smo lahko nadaljevali. Že pri prvih poskusih se je pokazalo, da so žlebovi nastali ob stikih mavca, ki so bili posledica sestavljanja in zapiranja sistema, ter ob razpokah. V poskusu, ko je bila plošča le nekaj cm pod gladino izvira, sta ob stiku mavca nastala žlebova. Prvi je imel 1 cm velik premer in omega prečni prerez. Po nekaj urah se je prerez odprl, razširil (2 cm) in povišal (2,5 cm) (sl. 2.2.13). Drugi žleb je bil širok 5 cm in globok 3 cm. Žlebova sta delovala hkrati, nato pa je ves pretok pod mavčno ploskvijo prevzel večji žleb. Manjši se je zaradi sprotnega dodajanja ilovice zamašil, njegov vrh pa je pred tem že malo presegel gladino izvira. Njegovo rast navzgor je omogočala sipina, ki je nastala pred ustjem. Manjši žlebovi so nastali tudi na mavčnih ploščah, ki so bile dokaj visoko nad gladino izvira. Oblikovali so se na ostrih pregibih med ploščami, ki so se stikale pod različnimi koti. Pod pregibi se je nakopičila ilovica.

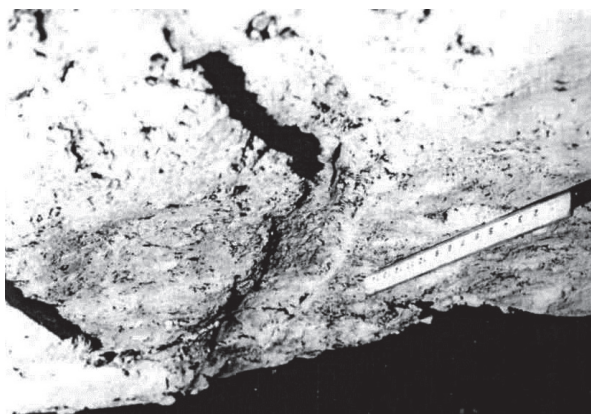
Najbolj izrazit splet žlebov je nastal na plošči, ki je bila dolga 0,5 m, široka 1 m in katere dno je bilo 0,2 m pod gladino izvira (sl. 2.2.14). V sistem, ki je deloval 120 ur, smo sproti dodajali ilovico. Polovica potopljene površine je bila drobno razpokana, v drugo polovico pa smo vrezali pravokotno mrežo zarez, ki so bile 5 mm globoke in 3 mm široke. Najprej so na vsej površini, tudi med zarezami in razpokami, nastale majhne anastomoze. Premeri žlebov v njih so merili le nekaj mm. Večji žlebovi so nastali na razpokani plošči (sl. 2.2.15). Globlji žlebovi (sl. 2.2.16) (do 2,5 cm) so ožji (do 8 mm),



2.2.15 Stropni žlebovi na mavcu



2.2.16 Stropna žlebova na mavcu



2.2.17 Del cevi, ki je nastala na stiku plasti mavca

plitkejši žlebovi (do 1,5 cm) pa širši (1,2 cm) in imajo omega prečne prereze. Globlji žlebovi imajo polkrožne vrhove, po velikosti izstopa žleb, ki dokaj premočrtno povezuje razčlenjeno mrežo razpok. Nekateri žlebovi so slepi. Ugotavljanje prevodnosti žlebov pa je bilo otežkočeno, saj se je voda pretakala tudi skozi mavce. Razpokano ploščo smo namreč povezali z nekaj cm debelo plastjo mavca in na stiku obeh je nastala 5 cm široka cev z ravnim dnom (sl. 2.2.17). Ob robu je cev polkrožno razširjena. Ima širok omega prečni prerez. Cev je dokaj premočrtna. Manjši žlebovi na površini plošče so se zapolnili z ilovico. Sledi ilovice na stiku mavčnih plošč nam dokazujejo, da je voda z ilovico zapolnila najprej manj prevodne poti, hkrati pa si je utrla najbolj prevodno. Za iztokom iz žlebov, na navpičnem robu

plošče, nastanejo plitki in 1 cm široki ravni žlebovi (sl. 2.2.18). Le ob večjem izviru za osrednjim žlebom ima iztočni žleb večje lijakasto ustje. Tudi ti žlebovi so nastali pod vodno gladino izvira in sicer na stiku s sipinami, ki jih je voda odložila pred zaporo izvira.

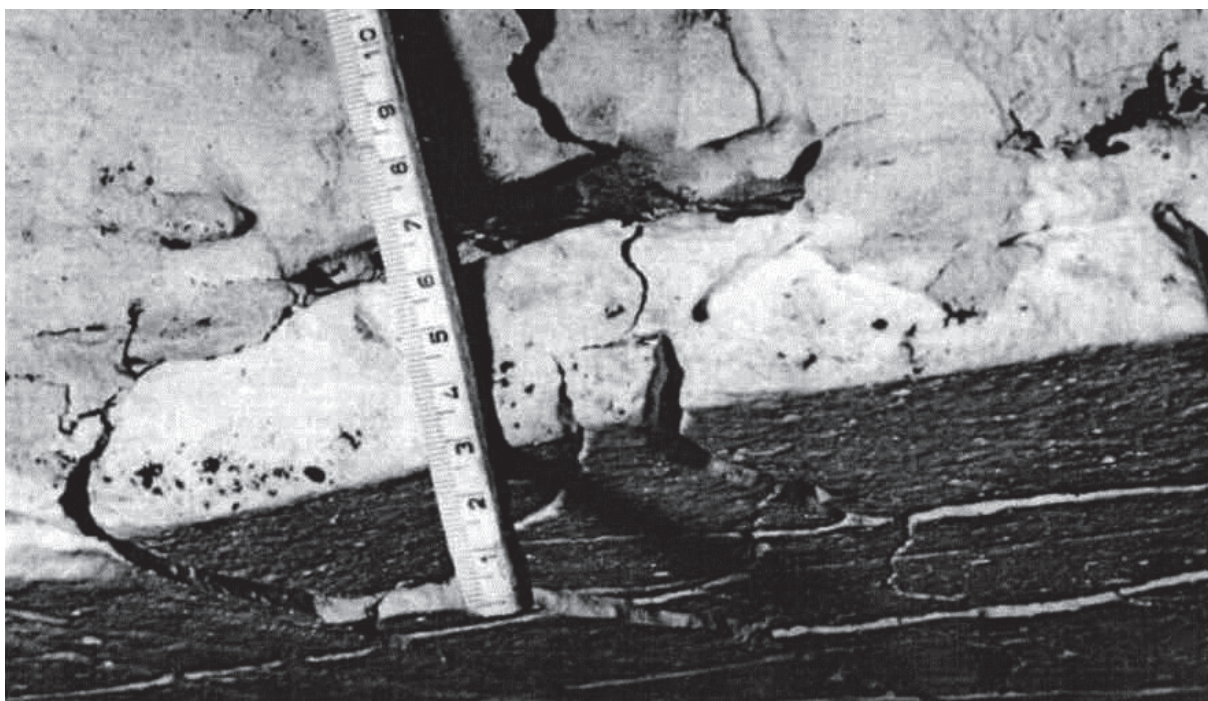
Na spodnji ploskvi mavca so med žlebovi nastale krožne štrline, ki imajo premer 10 mm in so do 3 mm visoke. Na ostali površini pa so majhne vdolbinice, ki imajo 1–3 mm premera ali pa iz površine štrlijo majhni drobcji peska, ki je v mavcu. Površina žlebov je gladka, na njej so le posamezne, do 1 mm velike, polkrogelne vdolbinice.

Pred zaključkom poskusov smo obarvali ilovico, ki jo je voda nanese v sistem. Na mavcu in ilovici so jasno razvidni kanali, ki so bili pretočni zadnji.

Nastanek in razvoj nadnaplavinjskih žlebov ter anastomoz

Počasnejše poplavne vode postopno odlagajo drobnozrnato naplavino, ki zapolnjuje rov najprej v zatišnih legah, nato pa od ovire navzgor in od tal proti stropu. Če je pretok vode počasen, kar je posledica pritiska v zaledju in prepustnosti rogov, tok pa prenaša dovolj drobnozrnatega materiala, zapolni naplavina rove skorajda v celoti. Le tik pod stropom se lahko ohrani manjši vodni tok. Voda se po naplavini pretaka pod pritiskom in v strop se vrezujejo žlebovi. Ob povečanem pritisku v zaledju hitrejši vodni tok lahko začne

2.2.18 Iztok iz stropnih žlebov



odnašati naplavino. To je potrdil tudi poskus. Zaradi manjše hitrosti pretoka pa se odloži preveč ilovice, kar je primer pri gostem blatnem toku, in žlebovi se zamašijo. Pri poskusih, ki so imeli omejen stolpec pritiska, se je pretok obnovil šele po dolgotrajnejši prekinitvi in osušitvi naplavine, ki se je usedala in razpokala. Velikost, oblika in vijugavost žlebov so posledica oblike in prepustnosti rovov, hitrosti pretoka vode ter značilnosti materiala, ki ga prenaša voda. Večja količina vode se pretaka skozi ves zgornji del rova (Dimnice), manjša količina vode pa si poišče najbolj prevodne poti pod stropom rovov. Premočitnost žlebov je posledica njihove prevodnosti. Na stropu rova, ki je slabše prevoden, kar je posledica njegove velikosti in oblike, nastajajo anastomoze. V Brlogu na Rimskem so v večjih in višjih rovih na stropu večji žlebovi, v nižjih Havajih pa je velika anastomozna mreža. Manjša prevodnost rova povzroči počasnejši pretok vode in pospešeno odlaganje naplavine. Voda se pod pritiskom razdeli v razvejano mrežo vijugastih žlebov. V Turkovi jami, kjer so v naplavini tudi večji prodniki, je v žlebovih in nekaj cm pod stropom plast drobnozrnate naplavine. Večji stenski žlebovi (sl. 2.2.4) pod anastomozami nam pričajo, da si voda ob takšni naplavini lažje utre pot navzdol, ko iz rova odteka poplavne vode. Če je naplavina homogena, so stenski žlebovi praviloma manjši od žlebov v anastomozni mreži.

Za anastomoze, ki jih sestavljajo tudi večji žlebovi, je značilna nadstropnost. Voda si na začetku oblikovanja mreže, ob hitrem odlaganju naplavine, poišče več najbolj prevodnih poti. Takšen način pretakanja nam potrdi tudi vrsta izvirov na začetku poskusa in majhne anastomoze na mavcu. Voda nato izbere najbolj prevodne žlebove, manjše pa zapolni z naplavino. Tudi pri poskusu so bili manjši žlebovi in zareze, ki smo jih naredili na plošči, zapolnjeni z ilovico in brez sledu barve, ki smo jo spustili v sistem pred koncem poskusa. Sčasoma so prevladali le največji žlebovi. To so potrdili tudi poskusi, v katerih je praviloma ostal le en pretok, in pa primeri večjih anastomoz v jamah. V Brlogu na Rimskem veliko anastomozno mrežo preči premočrten žleb, ki ima premer velik preko metra. Manjše mreže z enako velikimi žlebovi imajo vse žlebove v istem nivoju. V večjih mrežah pa manjši žlebovi obvisijo nad večjimi. Če se veliki žlebovi, ki prepredajo mrežo, povečujejo in prevladajo, lahko prekrijejo ostale žlebove in med njimi ostanejo le še posamezne štrline. Zaradi počasnega zapolnjevanja rova se strop nad naplavino najprej izravna, nato pa se začno vrezovati žlebovi.

Razvoj žlebov iz majhnih v večje z omega prečnim prereзом sem predpostavil ob primeru jamskih anastomoz v Dimnicah (T. Slabe, 1987, 176). Domneve je poskus na mavcu potrdil. Ob sprotnem dodajanju ilovi-

ce je najprej nastal ožji žleb, nato pa se je ta spričo večje prevodnosti, ki jo je dobil kot prevladujoča vodna pot, oblikoval v žleb z omega prečnim prereзом. Žleb se je nato višal in širil v odprt omega prečni prerez. Oblika je torej povezana s prevodnostjo žleba. Pri oblikovanju žlebov sta pomembna tudi razpokanost kamnine in količina naplavine, ki jo pri določeni hitrosti odlaga voda. Na mavcu so ob izrazitejših razpokah nastali ozki in globoki žlebovi, ob manj izrazitih razpokah pa so ti bolj plitki in imajo omega prečne prereze. Ozki in visoki žlebovi so nastali tudi zaradi hitrega dodajanja ilovice v vodo. Ilovica se je odlagala in povzročila hitro vrezovanje vode v kamnino. V istem žlebu so lahko odseki z omega prečnim prereзом ali pa je žleb ozek in visok. V jamah so žlebovi najgloblje vrezani v pregibe na stropu. V istem žlebu se torej z odlaganjem naplavine in vrezovanjem v strop izravna gladina pretoka. Ilovica in glina, nad katerima nastajajo žlebovi, sta skorajda neporozni in večina vode se obdrži nad njima. Najmanjše delce lahko prenaša zelo počasen tok in ko se usedejo, je za njihov ponovni prenos potrebna precej večja hitrost od tiste, ki jo je imela voda, ko je te delce prenašala in odlagala (A. E. Scheidegger, 1961, 135). Ilovico, katere delci so veliki 0,01 mm, odlaga voda pri hitrosti 1,2 cm/s, erodira pa jo šele pri hitrosti 40 cm/s. Manjši so delci naplavine, večji je razkorak hitrosti, pri kateri se odlagajo, ali pa jih voda zopet vključi v svoj tok. To je osnovni vzrok za zapolnjevanje rovov z drobnozrnato naplavino in seveda za izrazito vrezovanje vode, ki se pretaka nad naplavino, in zajeda v strop. Ko se žlebovi dovolj povečajo, da se poveča tudi hitrost pretoka skozi njih, se voda vrezuje tudi v ilovico pod njimi (T. Slabe, MN, 1989, 69). Večji žlebovi so zato polkrožni, spodnji polkrog cevi je namreč že v ilovici. Hitrost vode skozi anastomozne žlebove je, če sklepamo po velikosti delcev v naplavini in je premer žleba velik 10 cm, 0,1 do 8 cm/s. Tok je na podlagi Reynoldsovega števila laminaren. Turbulenten je tok v žlebovih, ki imajo premer večji od 20 cm. To kaže tudi razširjenost večjih žlebov na zunanjih robovih vijug. Vijuganje je lahko tudi posledica vrtinčenja vodnega toka z vrtinci, ki so enaki ali večji kot premer žleba ali cevi.

Ob gostih razpokah in lezikah si voda sčasoma lahko poišče pot skozi kamnino in nastanejo cevi, ki smo jih opazovali v Dimnicah in Ledenici na Dolu. Tudi poskus nam je potrdil njihovo oblikovanje. Ob sprotnem dodajanju ilovice si je voda hitro utirala pot ob razpokah navzgor, vse dokler ni nastal ob stiku mavcev enoten prevodnik.

Žlebovi nad naplavino nastajajo zaradi korozijskega delovanja vode na karbonatno kamnino. Pretok vode skozi žlebove je namreč počasen in površina žlebov je drobno hrapava (T. Slabe, 1989, MN, 197).

Omenil sem že dva sistema povezanosti žlebov in anastomoz. Stropni sistem (Brlag na Rimskem) nastane, ko je cela jama potopljena in se voda pretaka nad naplavino v najvišjih delih rovov. Stenski sistem pa nastane zaradi odtokanja vode, ki je ujeta nad naplavino, ob stenah rovov navzdol. Žlebovi v stropnem sistemu so praviloma večji, seveda, na velikost vpliva tudi čas njihovega oblikovanja. Količina ujete vode pa je praviloma manjša in tako tudi stenski žlebovi. Žlebovi v stropnem sistemu imajo omega prečne prereze, v stenskem sistemu pa imajo takšne prereze le anastomozni žlebovi.

Kako nastajajo žlebovi, med katerimi so koničaste, a zaobljene stropne štrline (Tiha jama v Škocjanskih jamah, Ponikve v Odolini, Kamenšča), še ne znam razložiti. Predvidevam, da so nastali zaradi občasnega strnjenege pretoka vode tik nad naplavino in selektivnega oblikovanja nad sklenjeno plastjo vode. Takšne oblike so značilne za rove v višjih nadstropjih ponornih jam.

Manjši stropni žlebovi, ki so široki le nekaj cm, vodijo tudi z vrha kotlic. Nastali so zaradi pretakanja vode iz razpok, ob katerih so se oblikovale kotlice. V razpoki, ki je tanka, a visoka, lahko torej nastane dovolj velik pritisk, da si voda prebije pot v zapolnjen rov.

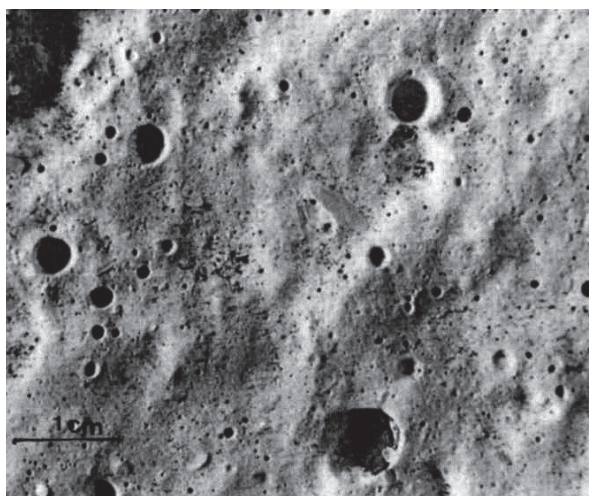
Po nadnaplavinskem skalnem reliefu sklepam, da so bili rovi v izbranih jamah pogosto paragenetsko preoblikovani. Večje poplavne zapolnitve so torej obnovile oblikovanje več jamskih nadstropij hkrati (Dimnice). V aktivnih jamah so nadnaplavinske oblike ohranjene v visokih rovih, kjer jih hitrejši vodni tok ne dosega. Če pa jih, so široke štrline med žlebovi priostrene (Križna jama, Markov spodmol).

2.2.1.2 Vdolbinice in kotlice

Rovi, ki so bili povsem ali pretežno zapolnjeni z drobnozrnato naplavino, imajo pogosto cel obod ali pa stene razjedene z dokaj pravilnimi polkrogelnimi vdolbinicami in kotlicami. Vdolbinice s premerom do 5 cm so značilne za nerazpokane stene, kotlice s premerom od 5 do 20 cm pa so značilne zlasti za razpokano kamnino. Največje so ob najbolj izrazitih razpokah. Vdolbinice (sl. 2.2.19) so skoraj v vseh primerih enako globoke, kot je premer njihove odprtine, ali pa celo globlje. Vdolbinice nastajajo zaradi korozijskega razjedanja nerazpokanih ali manj razpokanih sten in sicer z vlago, ki jo vsebuje naplavina. Korozija, ki deluje enakomerno na vso skalno površino, vdolbinice zaobli (A. Lang 1959). Gosto razporejene vdolbinice so povezane in stene med njimi so razčlenjene v tanke štrline (Volčja jama na Nanosu). Razjedanje je bolj izrazito na stiku s porozno naplavino, ki o, mogoča obnavljanje korozijsko agresivne vode. Majhne polkrogele vdolbinice (sl. 2.2.20) s premerom nekaj mm so nastale tudi na mavcu. Učin-



2.2.19 Nadnaplavinske vdolbinice v Volčji jami

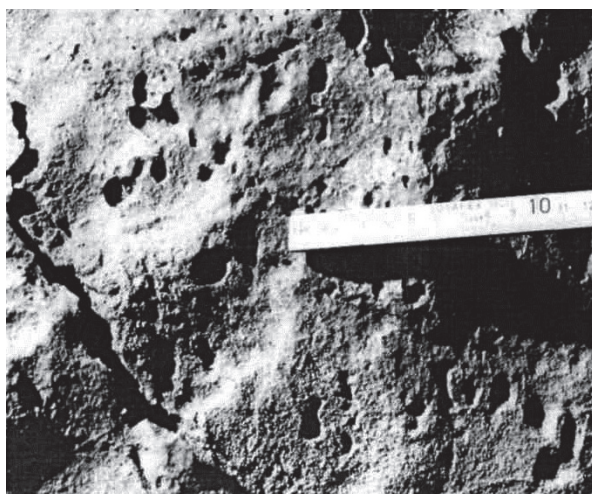


2.2.20 Nadnaplavinske vdolbinice na mavcu

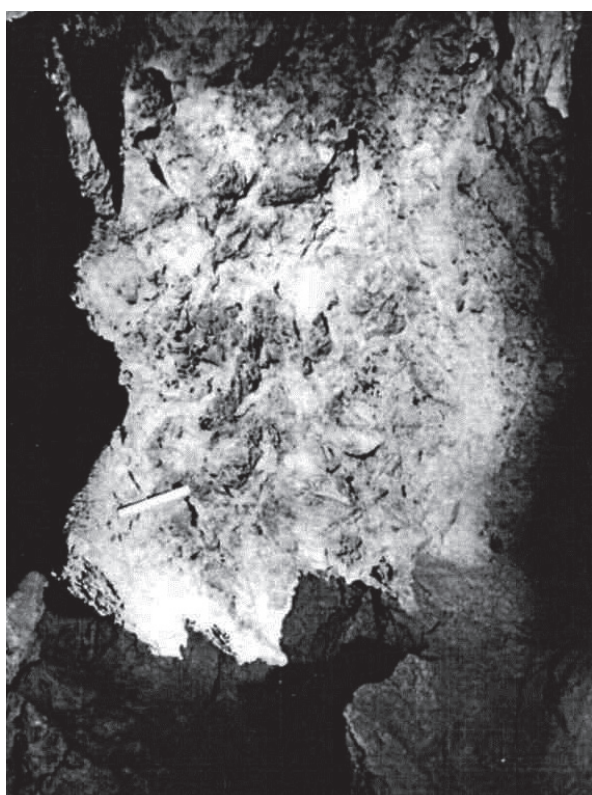
kovitost razjedanja sten je torej posledica sestave, poroznosti in razpokanosti kamnine, vlažnosti naplavine in dolgotrajnosti procesa.

Kotlice, zlasti večje, pa nastanejo tudi zaradi pritekanja vode skozi razpoko v kamnini na stik z naplavino, kjer se razliva in razjeda kamnino. Redko je pritisk vode dovolj velik, da strnjeno odteka iz razpoke in vreže majhen žleb (Bar v Dimnicah).

Vdolbinice na stenah jam, ki so bile kratkotrajno zapolnjene s poplavno naplavino s flišnega zaledja (Južni rov v Dimnicah (sl. 2.2.21), Matevžev rov v Postojnski jami), so dokaj pravilno polkrogele in imajo gladke stene. Vdolbinice in kotlice, na stenah jam (Volčja jama na Nanosu (T. Slabe, 1990, 173), Velika lednica v Paradani (sl. 2.2.22)), v katerih je bila naplavina ohranjena dlje časa, pa so pogosto zapolnjene s kroglicami strnjene naplavine. Hitro znižanje vodne gladine



2.2.21 Nadnaplavinske vdolbinice v Južnem Dimnic



2.2.22 Skalni nož, ki ga je razjedla vlaga pod naplavino (Velika ledenica v Paradani) (merilo = 15 cm)

je povzročilo, da je naplavina v jamah obvisela in le počasi so jo izpirali razpršeni curki prenikajoče vode. Naplavina je bila pogosto deloma karbonatna. Nastajala je namreč tudi z dolgotrajnim preperevanjem površja nad jamami. Zato je pogosto rekristalizirala v kroglaste konkcije (N. Zupan, 1990, 18). Temna prevleka površine vdolbinic so Mn minerali, ki so preostanek preperevanja karbonatov.

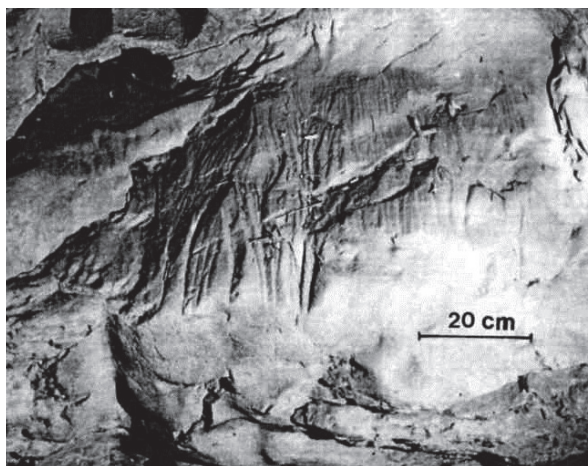
2.2.2 Podnaplavinske skalne oblike

2.2.2.1 Podnaplavinski žlebiči. katerih nastanek sem skušal razložiti s poskusom na mavcu

V zatišjih epifreatičnih rovh nastajajo podnaplavinski žlebiči. So praviloma na spodnjih delih jamskih sten. Žlebiči nastanejo na položnih, navpičnih, pa tudi na previsnih stenah. Največji žlebiči dosegajo do 15 cm globine (sl. 2.2.23), bolj pogosti pa so manjši (sl. 2.2.24, sl. 2.2.25). Imajo prečne prereze v obliki



2.2.23 Veliki podnaplavinski žlebiči v Vodni jami v Lozi



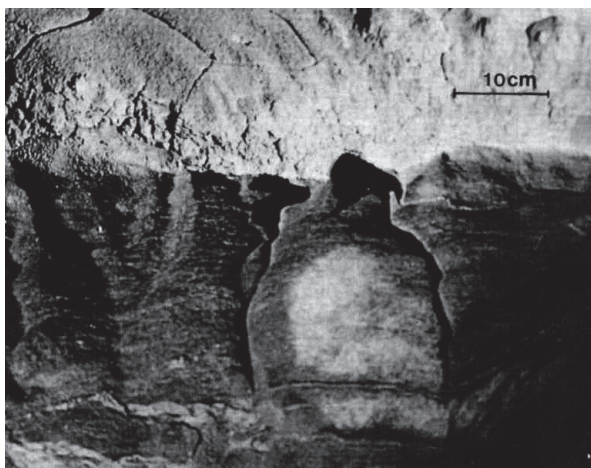
2.2.24 Majhni žlebiči v Blatnem rovu Predjame



2.2.25 Podnaplavinski žlebiči v Markovem spodmolu
(merilo = 15 cm)



2.2.27 Z erozijo zaobljeni podnaplavinski žlebiči v Ponikvah v Jezerini (merilo = 15 cm)



2.2.26 Podnaplavinski žlebiči na previsni steni Griške jame

črke V z zaobljenim dnom. Med njimi so dokaj ostri razi. Na položnih površinah med žlebiči, kjer se tudi lahko odloži ilovica, nastajajo manjši žlebiči, ki vodijo po razih v večje. Na previsnih stenah nastajajo pod ostrim ustjem na robu lijakasti žlebiči (sl. 2.2.26), ki se po steni navzdol širijo, med njimi so le ozki razi. Pogosto lahko opazujemo oblikovanje žlebičev v povezavi z

drugimi skalnimi oblikami. Členijo stenske nože (Črna jama v Postojnskih jamah, spodnji del Logaške jame) ali pa vodijo iz stropnih kotlic (sl. 2.1.59), ki imajo položne stene. Razi med žlebiči, ki so izpostavljeni korozivnemu delovanju vodnega toka, se zaostrijo, erozija pa jih gladi in zaobli (sl. 2.2.27). Sklepal sem, da žlebiče oblikuje voda, ki se izceja iz sveže odložene ali razmočene stare naplavine. To vodni tok odlaga na položnih odsekih skalnega oboda.

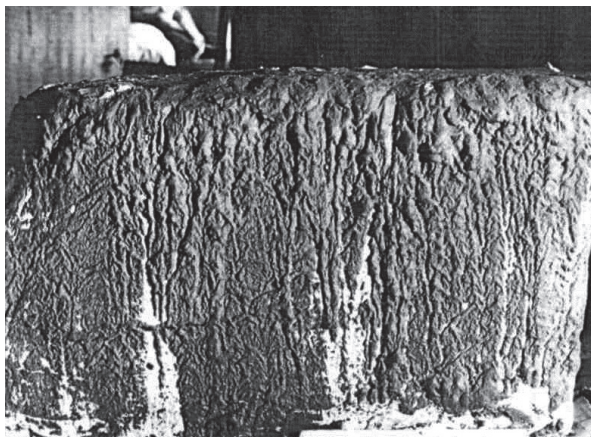
Nastanek žlebičev sem skušal ponazoriti s poskusom na mavcu. Mavčni blok (sl. 2.2.28) z ravno zgornjo ploskvijo in različno nagnjenimi stranskimi: z navpično, položno, z naklonom 60°, previsno, z istim naklonom in podvisno, smo izpostavili poplavljanju z vodom, katerim smo primešali ilovico iz Blatnega rova v Predjami. Pod njo v jami nastajajo žlebiči. Ko se je ilovica iz vode usedla, smo znižali njeno gladino. Iz vlažne naplavine, ki je prekrila zgornjo, vodoravno ploskev bloka in zgornje dele položne ter navpične stranske ploskve, se je izcejala voda. Nastale so proge izpranega mavca, v ilovici pa plitke zajede.

Po ponovnem poplavljanju si je voda znova izbrala pot po zajedah v izprane proge. Začeli so nastajati žlebiči. Tako kot na kamnini v jamah so žlebiči najbolj

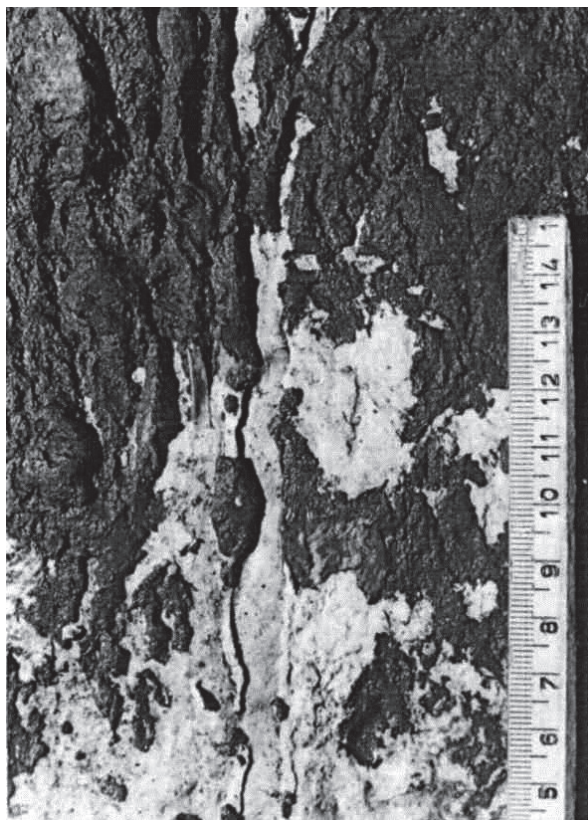


2.2.28 Mavčni blok z žlebiči (merilo = 15 cm)

gosto razporejeni, a majhni, na zgornjem delu položne ploskve, navzdol pa se širijo (sl. 2.2.28). Voda se namreč združuje v manjše tokove. Na navpični ploskvi so žlebiči dokaj enakomerno široki po vsej dolžini (sl. 2.2.29). Ustja med zgornjo vodoravno površino in stenami imajo ostre pregibe ter določajo smeri polzenja vode. Če se po previsnih stenah pretaka večja količina vode, nastajajo lijakasti žlebiči. Takšno je značilno oblivanje previsnih sten. Na zgornjem delu so žlebiči globlji, navzdol pa se enaka količina vode razlije na večjo površino in so zato žlebiči bolj plitki. Manjša količina vode se na stropu razleze in povzroči nastanek konic, večja pa vreže širše, kratke in polkrožno zaključene žlebiče, iz katerih kaplja. Izkazali sta se dve omejitvi poskusa. Površina hitro topnega mavca je postala hrapava, in ker je ni oblival vodni tok, se je na nanjo prijelo več ilovice kot na apnenec. Hkrati pa je bila količina odložene ilovice razmeroma majhna in iz nje so se izcejale le manjše količine vode. Voda se je v manjših časovnih presledkih iz naplavine izcejala po kapljicah in na posameznih odsekih so žlebiči zato vijugasti (sl. 2.2.30).



2.2.29 Žlebiči na navpični steni mavčnega bloka (merilo = 15 cm)

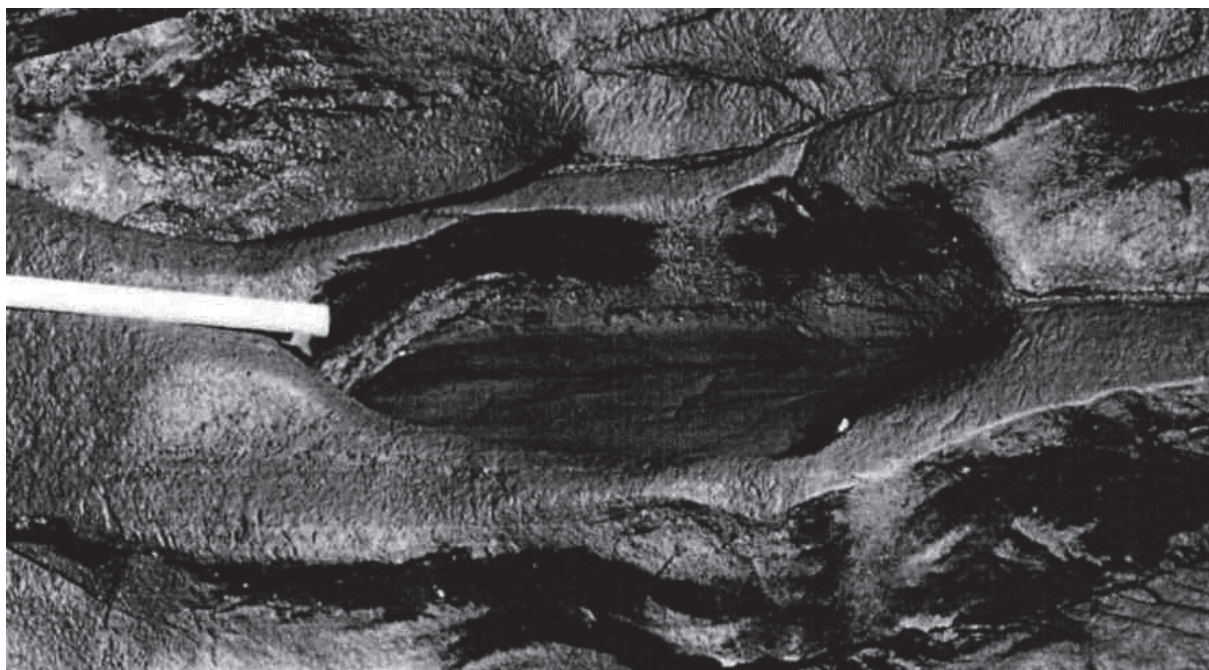


2.2.30 Del žlebiča na navpični steni mavčnega bloka

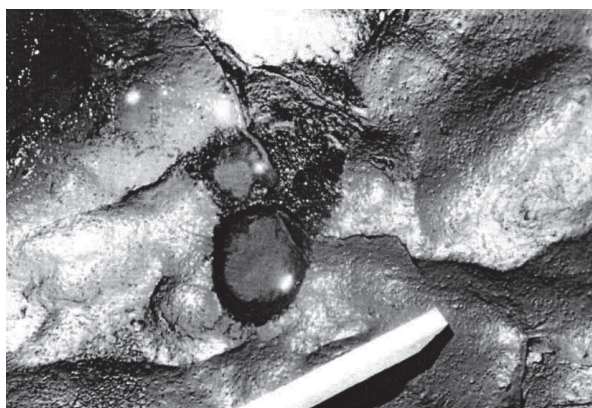
Gostota mreže žlebičev in njihova velikost sta posledica količine vode, ki se izceja iz naplavine, oblika pa je posledica nagiba površine, po kateri polzi voda. Večja količina vode vreže gosto nanizane, ravne in, glede na širino, plitke žlebiče, manjša količina pa žlebiče, ki so razporejeni redkeje in globlji, lahko tudi vijugasti. Zmanjšanje količine polzeče vode se odraža v majhnem žlebiču znotraj večjega. Količina vode pa je pogojena s količino naplavine. Za nastanek žlebičev na jamskih stenah so torej potrebne velike količine naplavine ali pa pogostost poplavljanja.

2.2.2.2 Podnaplavinske vdolbinice

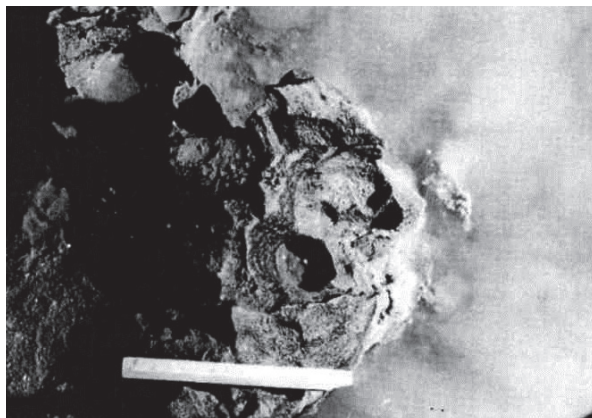
So večinoma manjše polkroglaste vdolbinice, katerih premeri povprečno dosegajo 5 cm. Odstopanja od polkrogelne oblike so posledica sestave in razpokanosti kamnine, na kateri se vdolbinice oblikujejo. Večje vdolbine so redke. V Kompoljski jami so vdolbine (sl. 2.2.31) na stenskih zajedah dolge do 20 cm in nad dnom nekoliko razširjene. Za vse globlje vdolbinice je značilno, da imajo navpične stene v zgornjem delu in manjše razširitve nad dnom, ki je dokaj ravno. Plitke polkrogelne vdolbinice, ki so izpostavljene hitrejšemu vodnemu toku, postanejo pod naplavino poglobljena



2.2.31 Podnaplavinska kotlica v Kopoljski jami (merilo = 15 cm)

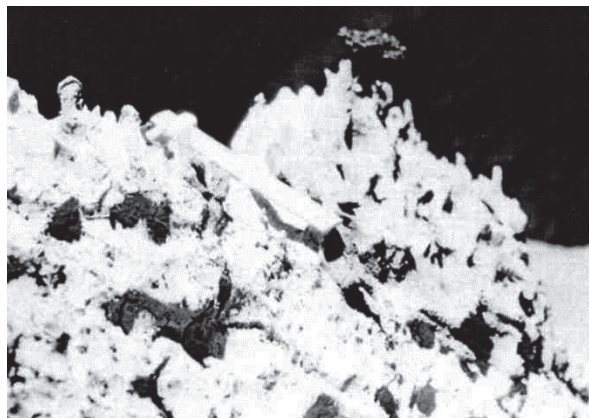


2.2.32 Podnaplavinske vdolbinice na fasetah v Osapski jami (merilo = 15 cm)



2.2.33 Vdolbinice na skalni čeri v Križni jami (merilo = 15 cm)

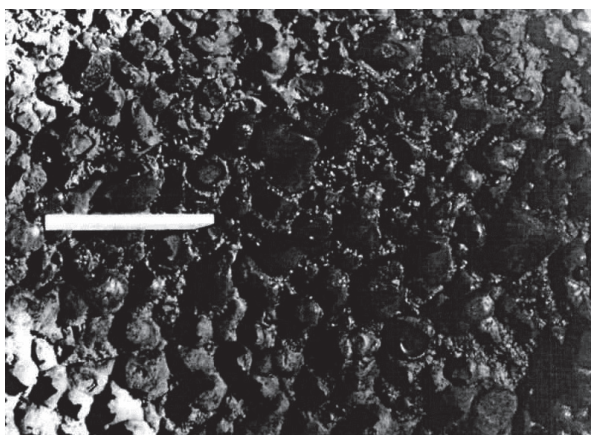
dna srednje velikih faset (sl. 2.2.32). Za večino vdolbinic je značilno, da so nastale višje nad dnom struge, bodisi na položnih stenah bodisi na skalnih blokih in čerih (sl. 2.2.33). Vdolbinice začno nastajati zaradi korozije pod naplavino, ki se odlaga na vboklih delih kamnine. Najprej se valjasto poglobljajo, ko pa so dovolj globoke, se na njihovem dnu odloži več naplavine, ki se ne obnavlja in preprečuje vodi stik s kamnino. Nad naplavino se po umiku visokih voda zadrži voda. Korozija zato prevladuje na bokih vdolbinic. Gosto razporejene vdolbinice se začno združevati in med njimi ostanejo le še posamezne štrline (sl. 2.2.34). Vdolbinice nastajajo le v rovih, skozi katere se občasno pretakajo hitrejši vodni tokovi. Ti odnašajo naplavino s sten oziroma se ta obdrži le točkovno, na vboklih mestih. V manjših vbo-



2.2.34 Štrline med vdolbinicami v Matijeji jami (m. = 15 cm)



2.2.35 Podnaplavinske vdolbinice, ki jih sooblikuje vodni tok v Podzemeljski Pivki (merilo = 15 cm)

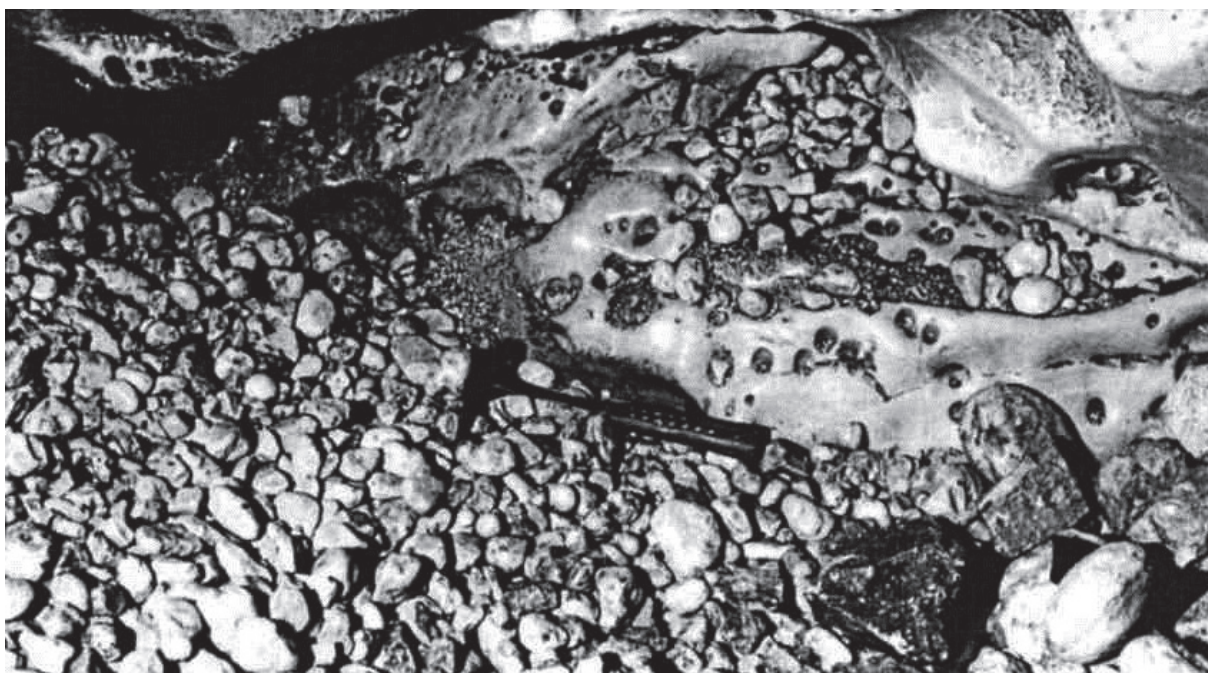


klinah se obnovlja. Počasnejši tokovi namreč pogosto odlože naplavino v debelejših plasteh, ki preprečujejo vodi stik s steno (Griška jama). Prav zaradi izrazitejših vodnih tokov, ki jih občasno oblivajo, pa je oblikovanje podnaplavinskih vdolbinic pogosto povezano z oblikovanjem drugih oblik. Nastajajo na dnu faset, hitri tokovi pa jim lahko dodajo iztočne repe (sl. 2.2.35). Pogosto jih sooblikuje tudi erozija. Ta gladi dna vdolbinic (sl. 2.2.36) in jih občasno dolbe (sl. 2.2.37).

2.2.2.3 Kotlice, ki nastanejo zaradi prenikanja vode

Po položaju stropnih kotlic na skladu kamnine, ki štrli iz zgornjega dela stene v Južnem rovu Zelških jam in njihovi obliki so namreč zvonaste in se navzgor ožijo v majhno cev (sl. 2.2.38) sklepam, da so kotlice preoblikovale penikajoče vode, ki se izceja iz drobnozrnate naplavine. To občasni visoki vodni tok odlaga na polici sklada, proces oblikovanja takšnih stropnih kotlic, le da se v tem primeru voda izceja iz naplavine, sem opisal v poglavju o polzenju vode po stenah (2.3.). Takšno izcejanje pa je mogoče le, če voda naplavino obnovlja; torej vodni tok najprej odnese staro, in ko se upočasni, naplavi novo. Če bi se naplavina le odlagala, bi polico prekrila z debelejšo plastjo, ki bi preprečila vodi stik z razpoko. Pri poskusih na mavcu so nastale stropne vdolbinice tudi, ko se je voda izcejala iz spužve, ki je prekrivala mavčno ploščo. Predpostavljam, da je opisa-

2.2.36 Vdolbinice v Mali Karlovinci (merilo = 15 cm)



2.2.37 Podnaplavinske vdolbinice, ki jih sooblikuje erozija v Matjevi jami



2.2.38 Podnaplavinske stropne kotlice v Blatnem rovu Zelških jam

ni proces kotlice le preoblikoval. Namreč, tudi okoliški strop je razčlenjen v kotlice, le da so te plitke, polkrogelne. Strop je najprej oblikoval vodni tok. Sčasoma je rov dosegal le redko, bil je počasnejši in odlagal je naplavino. Voda, ki se je izcejala iz naplavine po umiku visokih voda, je kotlice, ki so nastale ob razpokah, preoblikovala, predvsem poglobila.

2.2.2.4 Stropne konice

V rovih, skozi katere se pretaka in jih poplavlja počasen vodni tok, ki odlaga tanko plast drobnozrnate naplavine, so strop in previsne stene razčlenjene v podnaplavinske konice. V Črni jami v Postojnskih jamah je tako oblikovan obod sifona v Krožnem rovu. Stropne konice so tudi v občasno poplavljenih rovih Vodne jame v Lozi in Zelških jam. Film naplavine obda hrapavo kamnino. Konice (sl. 2.2.39), ki so dolge do 1 cm, nastanejo zaradi težnostnega kopičenja naplavine na štrlečih delcih kamnine, ki so tako zaščiteni pred korozijo. Konice se po skalnem obodu navzdol postopoma spreminjajo v podnapiavinske vdolbinice. Konice nastajajo, ko je rov zalit, vdolbinice pa predvsem po osušitvi rova, ko korozija deluje le ob stiku z vlažno naplavino. Velikost in gostota konic sta posledica sestave kamnine in časa njihovega oblikovanja.



2.2.39 Podnapiavinske stropne konice v Krožnem rovu v Črni jami (Postojnske jame)



2.2.40 Podnaplavinske stropne konice na dolomitu Turkove jame

Stropne podnaplavinske konice nastajajo tudi zaradi polzenja vode iz stropnih razpok. Voda prenaša drobnozrnato naplavino, ki se v tankem filmu razleže po stropu. Na konicah se nabere tanka plast ilovice, kar zavira njihovo raztapljanje. Takšne so tudi konice na dolomitnem stropu Dvorane jeze v Turkovi jami (sl. 2.2.40).

2.2.2.5 Stenske zajede in niše

Stenske zajede, nastale ob nivoju vodnega toka, ki se počasi pretaka nad drobnozrnato naplavino, in stenske niše, ki nastanejo zaradi meandriranja počasnega odprtega vodnega toka ob drobnozrnati naplavini, sem opisal že v poglavju o skalnih oblikah, ki jih vrezuje vodni tok. Zato naj dodam še primere značilnega razjedanja sten ob naplavini, ki je odložena v debelih plasteh na položnih površinah. Naplavina ščiti skalo pred korozijo. Tako se lahko širijo spodnji deli rovov

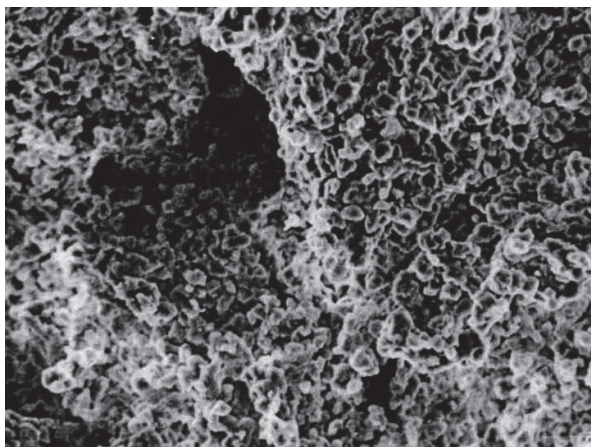
z okroglim prečnim prereзом. Voda širi njihove bočne dele. Ob nizkem vodnem stanju se voda izceja iz naplavine in vrezuje žlebiče (sl. 2.2.26). Manjše stenske zajede so pogoste tudi ob lezikah v rovih, ki so se oblikovali vzdolžno s skladovitostjo kamnine. Voda, ki razjeda kamnino najhitreje ob lezikah, na zgornjih delih skladov odlaga naplavino. Le-ta povzroča, da je kamnina pod njo zaščitena pred korozijo. Polkrožne zajede so zato spodaj prisekane. V Kompoljski jami (sl. 2.2.31), skozi katero se občasno pretaka hitrejši vodni tok, so takšne zajede globoke do 20 cm. Na njih so podnaplavinske kotlice. V Vodni jami v Lozi so zajede, ki so nastale ob lezikah in vzdolžnih razpokah, skozi jamo pa se pretaka počasnejši vodni tok in voda odloži več naplavine, globoke do 1 m. Na njihovih robovih so vrezani podnaplavinski žlebiči, ki dosegajo 0,15 m globine. Zaradi naplavine se preoblikujejo tudi druge skalne oblike. Odložena je namreč na vseh položnih površinah, tako tudi na stenah stropnih kotlic, ki imajo poševne osi (Griška jama, Križna jama).

2.2.3 Površina obnaplavinskih skalnih oblik

Za gladkost oziroma hrapavost skalne površine je odločilno razmerje med učinkovitostjo korozije ter sestavo in drobno razpokanostjo kamnine. Korozija, ki deluje enakomerno na vso površino skale, večje nehomogenosti ne izravna. Drobne kalcitne žilice zato sestavljajo »boxwork« (sl. 2.2.41). Iz kamnine štrlijo večji fosili, silikatni delci, še najbolj hrapava pa je praviloma površina dolomita, ki ga sestavljajo različno veliki kristali, prepredajo pa kalcitne žilice.



2.2.41 Skalna površina anastomoz



2.2.42 Podnaplavinska skalna površina

Pod velikimi povečavami elektronskega vrstičnega mikroskopa so tudi na oko gladke površine obnaplavin-skih skalnih oblik drobno hrapave (sl. 2.2.42). Iz površine štrlijo posamezni večji kristali ali skupki manjših. Drobna hrapavost je posledica zrnate kamnine, ki je podvržena enakomerni ploskovni koroziji. Ta hitreje topi manjše delce kamnine. Tudi manjši tokovi v žlebovih so prešibki, da bi s površine trgali štrleče kristale.

Pogosto je skalna površina, ki je bila prekrita z naplavino, preperela. Na njej so netopni ali počasneje topni ostanki kamnine. Preperelost je posledica počasnega odplakovanja produktov raztapljanja. Dolomit na stiku z ilovico postane mehak, po Ph. Renaultu (1968, 561, 562) kisljena nenasitena glina absorbira Ca^{2+} .

2.3 Skalni relief, ki nastane zaradi polzenja in kapljanja vode

Polzenje pomeni oblivanje kamnine z manjšo količino vode oziroma z vodnim filmom. Če se po stenah zliva večja količina vode, je to navpični vodni tok.

Polzeča voda, ki votline dosega skozi razpoke ali lezike v stropu in stenah, ali po stenah brezen, obliva kamnino, ki je različno sestavljena, pretrta in z različnim naklonom tvori skalni obod. Različna količina vode obliva večje površine skale ali pa jo doseže le na določenem mestu, točkovno torej. Če v kamnini ni večjih ovir, vodni film dokaj enakomerno prekrije skalno površino (stropne kotlice) ali pa se združuje v tokove (žlebiči).

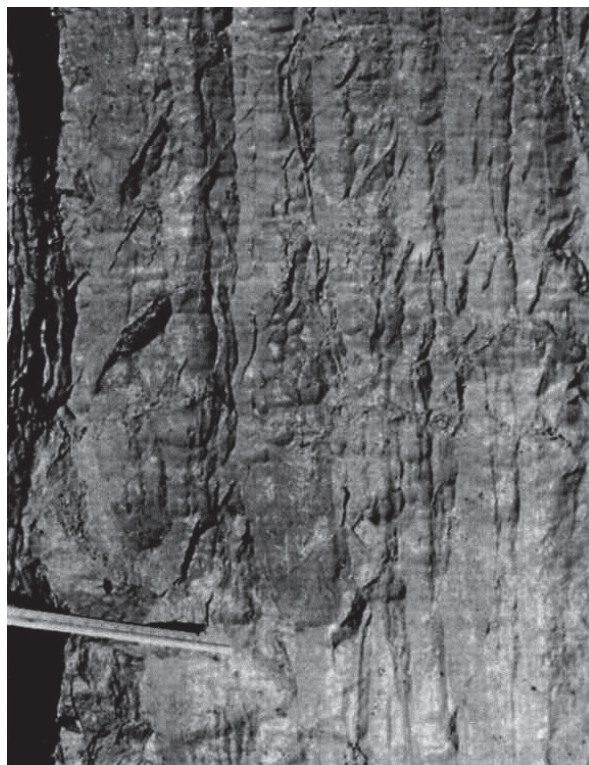
Tovrstni skalni relief je značilen predvsem za gorske jame, bodisi brezna, gorske jamske sisteme ali pa poligenetske jame (Ciganska jama, Volčja jama), in za vhodna brezna v nižinskih jamah (Logaška jama, Dimnice). Izrazit je tudi v nižinskih jamah, nad katerimi je tanek flišni pokrov (Kamenšca). Za jame, ki so nad 1000 metri nadmorske višine, je I. Gams (1975, 114) označil temperaturo $6-7^{\circ}\text{C}$ kot prag, ko preidejo neaktivne in agresivne prenikajoče vode v sigotvorno. V visokogorskih jamah imajo kapnice nižjo trdoto, zato običajno niso sigotvorne (I. Gams, 1963a, 10). Vzorcju polzeče vode, ki sem jo zajel na steni v spodnjem delu Ledenice na Dolu v času, ko je po njej polzela manjša količina vode (oktober), smo določili količino karbonatov in korozijsko sposobnost. Voda je vsebovala $95\text{ mg CaCO}_3/\text{l}$. Skoraj enaka količina CaCO_3/l (96 mg) je bila v njej tudi, ko smo izmerili dodani kalcijev karbonat (pro analysis). Voda je bila torej na meji korozijske aktivnosti. Sklepamo lahko, da so oblikovno bolj učinkovite večje količine polzeče vode, ki hitreje priteče s površja. V jamah, kjer stene prekrije ledena

obloga, pa je lahko učinkovita voda, ki se izceja iz ledu, ko se topi. Res pa je, da so količine takšne vode razmeroma majhne. Voda se v brezni razprši v tanek film ali »spray« in zato je enaka vodna količina bolj učinkovita kot združena v vodnem toku (A. N. Palmer, 1982, 190).



2.3.1 Žlebiči na steni Kamenšce (merilo = 15 cm)

a. Na navpični površini, ki je, če je kamnina homogena, lahko tudi gladka, nastanejo pogosto podolgovate vdolbinice, ki so dolge 10 do 30 mm in 5 do 10 mm široke. Povezane so v navpične nize. Na nekoliko nagnjeni (do 20°) površini, kjer se voda začne združevati v majhne tokove, nastanejo plitki, polkrožni žlebiči s premerom največ 1 cm. Tudi ti žlebiči so pogosto, zlasti na bolj nehomogeni kamnini, razčlenjeni v vdolbinice (sl. 2.3.1, 2.3.2). Vdolbinice so posledica polzenja vode po nehomogeni kamnini. Kot robovi ostanejo počasneje topni delci fosilov (Ledenica na Dolu) ali pa večji kristali, ki sestavljajo kamnino. Bolj je kamnina homogena, bolj so žlebiči pravilnih oblik. Na gosto in drobno razpokani kamnini so njihove oblikovne značilnosti le težko razvidne (sl. 2.3.3). Iz površine žlebičev v Bazinovi jami pri Podlaških topolih izstopajo kalcitne žilice. Majhni žlebiči pogosto sestavljajo obod večjih polkrožnih žlebov, ki imajo premere velike do 15 cm (sl. 2.3.2). Le ti so nastali pod razpokami, skozi katere prenika večja količina vode. Točkovno razporejeni curki polzeče vode so oblikovali tudi večje navpične polkrožne žlebove v Smoganici (sl. 2.3.4). Med večjimi žlebiči so pogosto izraziti robovi, ki se navzven širijo, kar kaže na hitro premočrtno razjedanje sten.



2.3.3 Žlebiči na razpokani steni vhodnega brezna v Logaški jami (merilo = 15 cm)



2.3.2 Žlebiči na steni Smoganice (merilo = 15 cm)



2.3.4 Žlebiči na stiku grobozrnatega in drobnozrnatega apnenca v Smoganici (merilo = 15 cm)



2.3.5 Stena brezna v Veliki ledenici v Paradani, stik apnenca in dolomita (merilo = 15 cm)

Pri nastanku in oblikovanju žlebičev je pomembna tudi sestava kamnine, po kateri polzi voda. V Smogancih se stik med grobozrnato in drobnozrnato apnenčasto brečo na oblikah skorajda ne odraža (sl. 2.3.4), je pa površina prvega bolj hrapava. Na stenah brezen v Veliki ledenici v Paradani, ki so ponekod dolomitne ali pa dolomitne in deloma apnenčaste, značilnih oblik, ki bi jih vrezala polzeča voda, ni. Iz dolomita štrlijo oglati kosi kamnine (sl. 2.3.5). Površina apnenca je bolj gladka in na njej so vdolbinice. Večji skupki kristalov rekristaliziranega dolomita prevladajo nad razmeroma šibkim delovanjem polzeče vode. Tudi v Čo meandru na Kaninu, kjer iz stene štrlijo veliki fosili, značilnih sledov polzenja vode ni (T. Slabe, MN, 1989, 212). V prelomnih conah so nastali ozki in drobnonazobčani roglji, ki štrlijo iz sten (Ledenica na Dolu). Poleg polzeče vode njihovo površino oblikuje tudi krušenje pretrte kamnine. Navpična površina skale, ki je homogena in nerazpokana, je gladka. Po stenah brezen se tanka plast vode namreč pretaka v superkritičnem laminarnem režimu s hitrostjo 0,3 do 2 m/s, kar povzroči nastanek navpičnih sten. Če pa vodna količina naraste,



2.3.6 Kotlice na steni vhodnega brezna v Logaški jami (merilo = 15 cm)

se delci vode odlepijo od sten v majhne slapove, kar še poveča hitrost vode, ki doseže superkritični turbulentni režim. Tako se še hitreje oblikujejo navpične stene, saj ob ovirah nastajajo hidravlični skoki, ki povzročajo erozijo (W. B. White, 1988, 168, 297). Voda trga tudi večje kristale kamnine, ki štrlijo iz površine. Pod brezni se zato kopiči drobnozrnat pesek (N. Zupan, A. Mihevc, 1988). Na vodoravnih odsekih sten brezen, ki so posledica skladovitosti kamnine, natajajo plitke kotlice (sl. 2.3.6). Erozija je tu najbolj izrazita, saj je nad njimi praviloma navpična stena.

b. Na položni steni prevladujejo večji, zlasti globlji žlebiči v obliki črke V. Bolj je položna stena, globlji so. Dosegajo 10 cm globine. Žlebiči so posledica večje količine mestoma zbrane vode. Na površinah, ki so le malo nagnjene in na katere doteka le majhna količina vode, nastajajo majhni meandristi žlebiči s premerom 1 cm (Ciganska jama pri Predgrizah). Če pa je površina gosto preprejena z razpokami in je bolj strma (80°), nastanejo vdolbine, ki so širše na spodnji strani (T. Slabe, 1990, 189). Razpoke združujejo polzečo vodo.

c. Zaradi polzenja vode po previsni nehomogeni steni (90° do -30°) nastajajo plitke vdolbinice (T. Slabe, 1990, 187), ki so povezane v mrežo. Njihovi premeri merijo od 1 do 3 cm. Na steni z večjim naklonom so nekoliko manjše, njihovi robovi pa poudarjeni. Nastanejo zaradi oblivanja previsne nehomogene kamnine z manjšo količino vode, večja bi namreč, če bi to dopuščala sestava kamnine, steno gladila. Majhne vdolbinice so že prehodna oblika k stropnim konicam.

d. Zaradi polzenja vode po stropu nastanejo kotlice, konice in žlebiči. O nastanku opisanih oblik sem sklepal predvsem na podlagi številnih primerov v naših jamah. Razlago oblikovanja stropa, zlasti kotlic, pa sem skušal dopolniti s poskusi na mavcu.

2.3.1 Laboratorijski poskusi oblikovanja vdolbinic na mavcu, ki nastanejo zaradi polzenja vode iz stropne razpoke

Skozi navpične kanalčke s premerom 1,5 mm, se je iz vdolbine na vrhu mavčne kocke, ki je imela ravno dno, pretakala voda. Že po dveh urah je nastala vdolbinica s premerom 5 mm in globoka 2 mm. Čez uro se je poglobila še za milimeter, premer pa je ostal enak. Začel pa se je širiti dotočni kanal in z večjim pretokom se je vdolbinica poglobljala le še ob ustju, kjer je nastalo 2 mm široko in 3 mm globoko konkavno dno. Mavec je hitro topljiv (1,4 g/l) in kanal se zato razširi. Tok se je iz laminarnega spremenil v turbulentnega in v kanalu so začele nastajati vdolbinice.

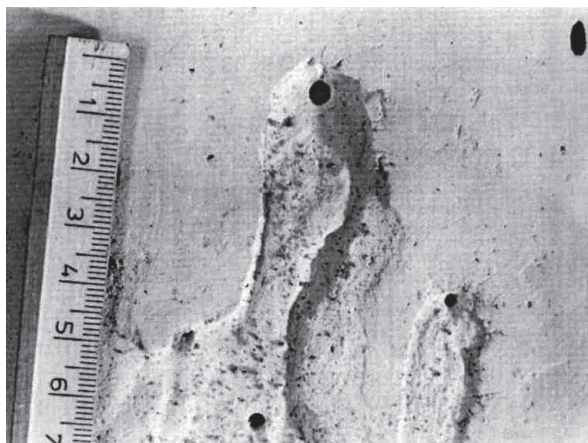


2.3.7 Stropna vdolbinica na mavcu

Pri ostalih poskusih smo zmanjšali dotok vode, da bi preprečili hitro širjenje kanalov. Mavec smo prekrili s spužvo, iz katere je enakomerno pronicala voda v kanal. Ob ustju so se razlivale posamezne kaplje. Nastala je vdolbinica, ki se je enakomerno širila in poglobljala. Po dveh dneh, ko smo poskus prekinili zaradi razširitve kanala, je bila vdolbinica široka 25 mm, globoka pa 7 mm. Opaziti je bilo tudi počasno širjenje vdolbinice na 50-mm pas okoli nje (sl. 2.3.7). Površina vdolbinice je gladka.

Na stropnih površinah, ki so bile nagnjene pod kotom 30°, so nastale ožje vdolbinice (sl. 2.3.8). Vdolbinice so bile globoke do 1 cm in so se v smeri nagiba površine zaključevale v širše žlebiče. Po njih je odtekala večina vode, ki je prenikala skozi kanal. Zgornji rob kotlic je bolj strm.

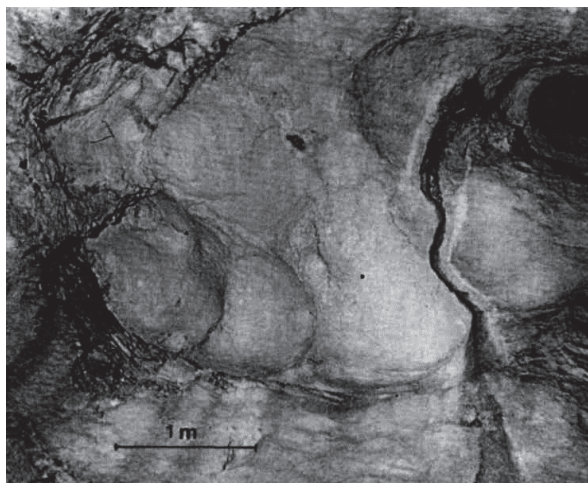
Največja težava pri poskusih na mavcu je njegova prehitra topljivost, ki onemogoča nastanek večjih vdol-



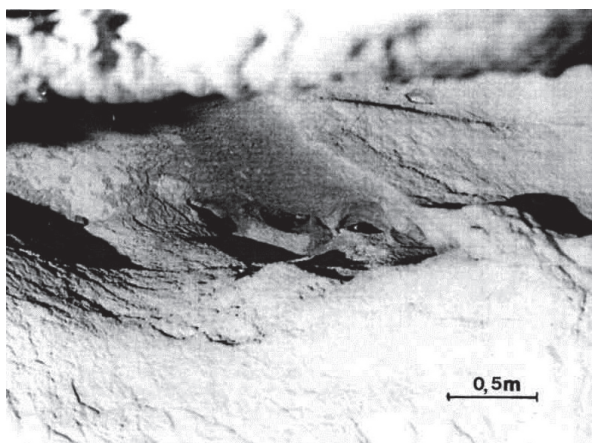
2.3.8 Stropne vdolbinice na mavcu

binic ali kotlic, saj se dotočni kanali prehitro razširijo. Potrdili pa smo možnost nastanka stropnih kotlic, ki jih oblikuje prenikajoča voda.

Zaradi prenikanja vode so stropne kotlice nastale v Volčji jami na Nanosu in v vhodnem delu Trhlovce. V Zelških jamah se je prenikajoča voda izcejala iz drobnozrnate naplavine, ki jo je voda odložila na stenskih pollicah. Ko voda priteče iz razpoke, se razleže po stropu. Kotlice, ki imajo premere večinoma velike 10 do 15 cm in so do 15 cm globoke, v Trhlovci so globoke celo 1 meter (sl. 2.3.9), so pokončnih zvonastih oblik. Po robu slednjih se manjša količina vode pretaka po žlebu. Os kotlic je zaradi težnostnega oblivanja površine z vodo navpična, kot je potrdil tudi poskus na mavcu. Kotlice so sestavljene, če je dotokov vode v premeru njihovega oblikovanja več. W. H. Franke (1975) je ugotovil, da je premer kotlic sorazmeren s količino in agresivnostjo prenikajoče vode. Z večjim dotokom se premer poveča, z večjo korozivno močjo vode pa zmanjša in kotlica se hitreje pogloblja. Na hitro topljivem mavcu so se ob



2.3.9 Stropna kotlica v vhodnem delu Trhlovce



2.3.10 Stropne kotlice v Logaški jami

večjem dotoku vode kotlice hitreje poglobljale. Prenikajoča voda lahko preoblikuje tudi stropne kotlice, ki so jih ob razpokah vrezali vrtinci vodnega toka. So tako poglobljene tudi kotlice (sl. 2.3.10) v Logaški jami? Na stropu, ki ga je v tej jami oblikoval počasnejši vodni tok, so namreč kamini, ki so nastali zaradi penikanja vode s površja.



2.3.11 Stropne konice v Ciganski jami

Pri poskusu na mavcu so nastale tri značilne površine, ki so koncentrično razporejene okrog dotočnega kanalčka. Notranja površina kotlice je gladka. Kotlica je bila dokaj enakomerno oblita z vodo. Njena gladka površina je posledica težnostnega zbiranja vode na štrlečih delcih kamnine in ti so podvrženi hitrejši koroziji. Srednji kolobar je hrapav in koničast. Vodni film, ki ga je oblival, je bil tanjši. Enaka količina vode kot v prvem primeru se je razlila preko večje površine. Zunanja površina pa je razčlenjena v ozke ali široke, a plitke žlebiče, po katerih se je voda pretakala strnjeno. Sklepamo lahko, da sta oblikovanost površine in njena gladkost posledica različne količine vode, ki obliva kamnino različne sestave.

Kot lahko opazimo v Volčji jami in Ledenici na Dolu, pa v Kamenšci in Ciganski jami pri Predgrizah, so stropne konice (sl. 2.3.11) trikotnega prečnega prereza in imajo zaobljene vrhove. Dolge in široke so do 1 cm. Pod vrstičnim mikroskopom (T. Slabe, 1990, 178, 179) so vidne v vdolbinicah med konicami globlje zajede. Na konicah je kamnina manj razčlenjena. Konice nastajajo pod tankim filmom vode, ki se zbira na delcih kamnine, štrlečih s stropa. Ker pa je ta voda že manj agresivna, odlaga celo raztopino, se razlika med konicami in vmesnimi vdolbinicami še povečuje.

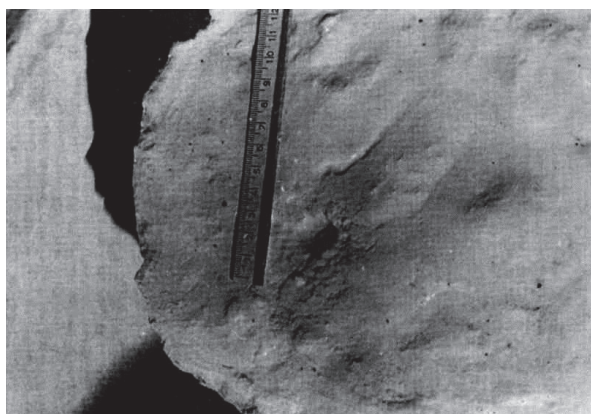
V Ciganski jami so na nagnjenem stropu majhni žlebiči (sl. 2.3.12), katerih robovi so ozki in razčlenjeni v konice. Na sosednji vodoravni površini stropa pa so konice (sl. 2.3.11). Žlebiči sledijo razčlenjenosti skalne površine in so v smeri večje prevodnosti razvrščeni v nize, ki so široki 10 do 15 cm. Tudi pri poskusu na mavcu, ko je bila stropna površina nagnjena, je voda odtekala iz kotlice v smeri padca površine po plitkih žlebičih.



2.3.12 Stropni žlebiči v Ciganski jami

2.3.2 Talne vdolbinice, ki nastanejo zaradi kapljanja vode

Vdolbinice nastanejo na skalnih tleh, na katere kaplja ali curlja manjša količina vode, ki prenika skozi strop. R. Gospodarič (1985, 14) je tiste, ki so nastale na koncu Obhoda pred Modrijanovo dvorano v Divaški jami, imenoval korozijske luknje. Premer vdolbinic, katerih dna so polkrogelno zaobljena, meri 5 do 15 cm, do 10 cm pa so globoke. Večje talne vdolbine, v katere pada navpični vodni tok in vrtinci tudi material, ki se kopiči pod stenami, uvrščam med draslje. Takšna kotlica je pod kamninom v Ledenici na dolu (T. Slabe, 1990, 193), večje pa so pod vsemi stopnjami v strugah vodnih tokov (Beško ocizeljska jama, Ponikve v Odolini). Proces oblikovanja talnih vdolbinic sem skušal ponazoriti tudi s poskusom na mavcu, na kateri je z višine 1,2 m kapljala voda. Najprej je nastala polkrogelna vdolbinica s premerom 1 cm. Kapljice, ki



2.3.13 Talna vdolbinica na mavcu

so padale na njeno dno, so se razpršile. Obod vdolbinice je zato gladek, površina okoli nje pa zaradi pršenja vode, ki se je odbijala iz vdolbinice, drobno luknjičasta (sl. 2.3.13). Ko se je vdolbinica večala, se je širila v spodnjem delu. To je posledica spodjedanja sten vdolbinice zaradi pršenja kapljic iz dna. Pri poskusih, ko je bilo kapljanje na mavec bolj izdatno, bolj pogosto, ali celo združeno v curek, se je v vdolbinicah zadrževala voda, ki je razčlenjevala stene in jih sčasoma celo prežrla v odtočne žlebiče. Pokončne vdolbinice, ki imajo zgornje stene strme, spodnje pa bolj položne, so nastale tudi na nagnjenih površinah mavca. Pri oblikovanju vdolbinic je torej odločilen način in količina dotoka vode vanje, višina padca vode ter nagib površine, na kateri nastanejo. Talne vdolbinice, toda stare in deloma zapolnjene z drobnozrnato naplavino, so tudi na skalnih tleh v Ciganski jami pri Predgrizah (sl. 2.3.14). Lahko bi jih uvrstili med podnaplavinske vdolbinice, toda njihova oblika s polkrogelnim dnom kaže na nastanek zaradi kapljanja vode in torej tudi na poligenetski značaj jame.

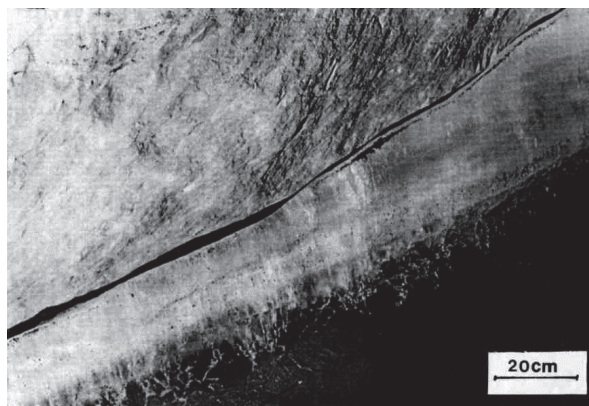


2.3.14 Talne vdolbinice v Ciganski jami

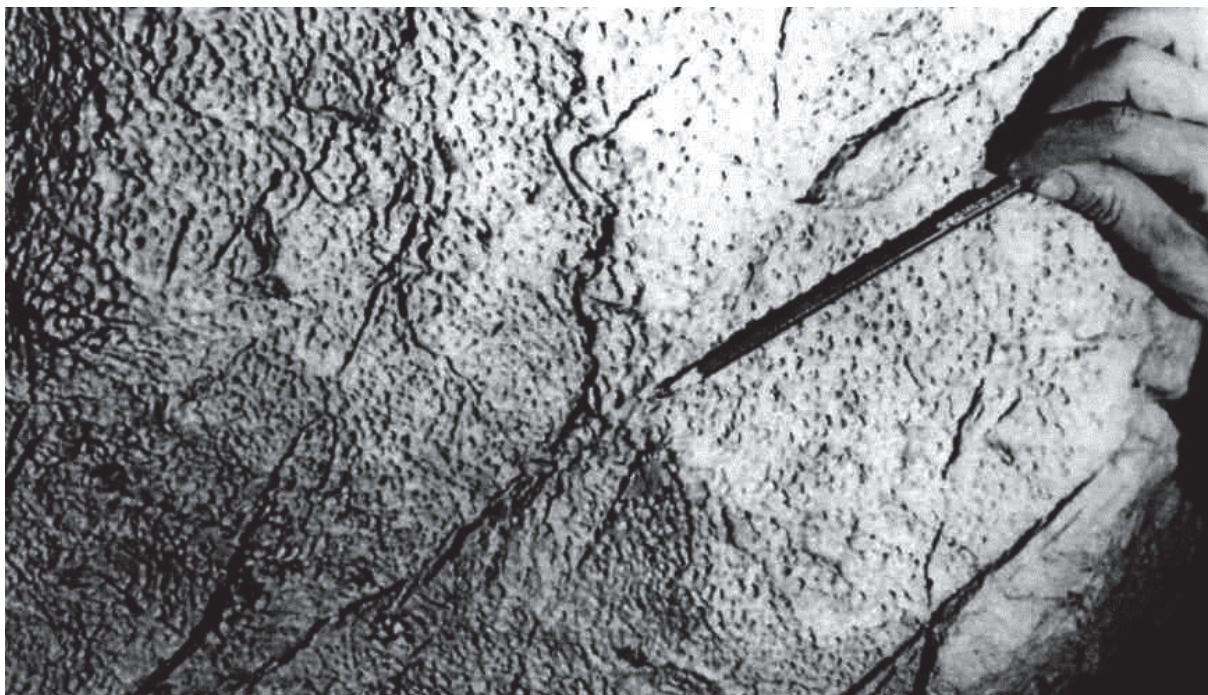
2.4 Podledni skalni relief

Obod jam, ki ga vlaži prenikajoča voda in hladi mrzli zimski zrak, je pogosto obdan z ledom. Manjša količina zmrznjene vlage na steni povzroča predvsem razpadanje in krušenje kamnine. Debelejše ledene obloge pa skalo preoblikujejo s korozijo, ko se led topi. Voda iz ledu Ledenice na Dolu je imela dokaj nizko karbonsko trdoto (18 mg CaCO_3/l), ko pa smo ji dodali kalcijev karbonat, se je trdota povečala za 4 mg. Nizko trdoto ledeniških voda je ugotavljal I. Gams (1967, 55).

V vhodnem delu Velike ledenice v Paradani, ki je skorajda celo leto obdan z ledom, so stene zaobljene in dokaj gladke. Spodnji del rova, kjer je led najdlje, je nekoliko razširjen in stene ob njem so previsne (sl. 2.4.1). Podledne zajede so posledica enakomerne korozije po



2.4.1 Gladka stena podledne zajede



2.4.2 Podledne vdolbinice

vsej površini ob stiku z ledom, ki se začne topiti ob steni. Manjše štrline imajo večjo površino izpostavljeno koroziji in zato se izravnavajo. Skala je nekoliko vboklo razčlenjena le ob razpokah. Okoliška skala, ki je dokaj gosto pretrta, ni pa obdana z ledenimi oblogami, razpada in obod sestavljajo manjše in večje, dokaj ravne ploskve. Pogosto se pod ledom, ki je najbolj debel prav na tleh rogov, preoblikujejo skalni bloki iz oglatih v zaobljene (Volčja jama). Na stropu v že omenjenem vhodnem delu Velike ledenice v Paradani so na nerazpoka-

ni kamnini majhne vdolbinice (sl. 2.4.2). Predvidevam, da so nastale ob taljenju tanke ledene obloge, ki obdaja strop rova. Kratkotrajno vlaženje kamnine z manjšo količino vlage je povzročilo raztapljanje najhitreje topnih delov kamnine.

Ob topljenju ledene obloge se deloma preoblikujejo tudi skalne oblike, ki nastanejo zaradi polzenja vode, in sicer bolj izrazito na položnih in navpičnih stenah. Žlebiči so zato širši. S strnjanim pretokom vode bi se žlebič le še poglobljajal.

2.5 Oblikovanje skalnega reliefa zaradi kondenzne korozije

Skorajda v vseh votlinah, v katerih kroži zrak, se na skalnem obodu kondenzira vlaga. Kondenzacija zračne vlage je posledica ohlajevanja toplejšega zraka na stiku z mrazom ali pa oblivanja hladnih sten s toplejšim zrakom. Pri ohlajevanju toplejšega, razmeroma bolj vlažnega zraka se izloči presežek vlage na skalni obod. Kondenzacija je izdatnejša v jamah z izrazitim dotokom zraka (Trhlovca) ali večjega vodnega toka (Škocjanske jame, Postojnske jame, Križna jama) s površja. Sam sem izmeril njeno količino ter jo dokazal z meritvami temperature in kroženja zraka v žepasto zaprtem, spuščajočem Komarjevem rovu v Dimnicah (T. Slabe, 1988, 84). Na pomen kondenzne korozije pri oblikovanju votlin opozarjata A. A. Cigna in P. Forti (1986). Na primeru termalne jame sta izračunala

tudi količino raztopljenega apnenca v kondenzni vodi. Vzorci vode iz Komarjevega rova so bili nasičeni (30 mg Ca/l), čeprav je očitno, da je stena razjedena pod poletno kondenzno vlago. Nasičenost vode je verjetno posledica občasnega izhlapevanja vlage iz zbiralnika. Kondenzacija se namreč zaradi značilnega zračnega kroženja, ki je posledica mikroklimatskih značilnosti, prekinja. Na suho podlago se izločajo najprej kapljice vode, na vlažni pa nastane vodni film (C. Andrieux, 1970). G. Pasquini (1975) poudarja vlogo prenikajoče vode, ki v rovu poveča vlažnost in povzroči kondenzacijo. D. Ford in P. Williams (1989, 303) ugotavljata, da je v primeru večjega števila jamskih netopirjev na privetni strani, kondenzna korozija lahko tudi biogena.

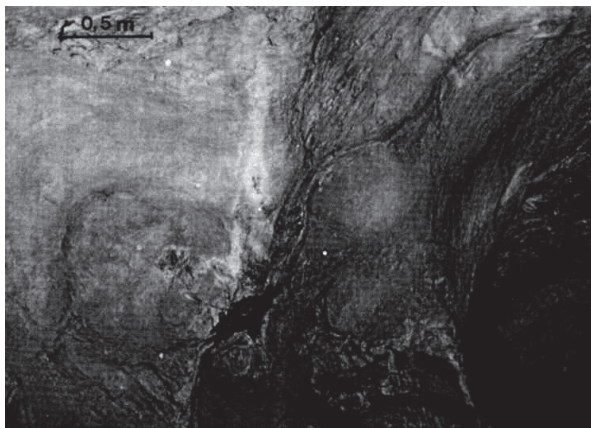
Učinkovitost in značilnost oblikovanja skalnega reliefa zaradi kondenzne korozije sta odvisna predvsem od količine kondenzirane vlage in od gibanja zračnega toka, iz katerega se kondenzira. Predvidevam, dokazov za to še nimam, razen manj izrazitih skalnih oblik in pa vlažnega skalnega oboda, da so zaradi kroženja zraka nastale stropne kotlice, fasete in stropni žlebovi. Kroženje zraka in kondenzacija sta najbolj izrazita v vhodnih delih jam, ali pa v rovih, povezanih z vlažnim zrakom, ki ga v jame prinesejo večji vodni tokovi. Na teh mestih so praviloma našteje skalne oblike. Ph. Renault (1968, 571) trdi, da je kondenzna korozija mogoča le v vhodnih delih votlin.

Kotlice (sl. 2.5.1) na stropu vhodnega rova Trhlovce so široke 1 m in 0,3 m globoke. Na vboklih delih stropa so podobne mreži velikih faset. Njihova površina je dokaj zglajena in vlažna, kaže, da je sveže korodirana. V zadnjem delu Tihe jame, nad Šumečo jamo, v Škocjanskih jamah je del leta na stropu izdaten kondenz, ki je razjedel tudi sigo. Na stropu so nastale plitke fasete (sl. 2.5.2), ki so dolge do 20 cm in globoke 7 cm. Zrak iz Šumeče jame, kjer ga ogreva poletna toplejša Reka, se dviguje in odteka tudi v Tiho jamo, pri dnu pa se iz nje pretaka hladnejši zrak. Takšno kroženje zračnih mas povzroča izdatno kondenzacijo. Ugotovili bi lahko tudi pomen organskih, hlapljivih snovi, ki jih (je) prenašala onesnažena Reka. Velikost in oblika plitkih kotlic sta posledici značilnega vrtinčenja zračne mase. Hitrejši je zračni tok, manjši so njegovi vrtinci.

Zaradi počasnega pretoka toplejšega zraka pod stropom rogov nastanejo žlebovi. V vhodnem delu Trhlovce je v rovu, ki je že nekoliko odmaknjen pred neposrednimi zunanji vplivi, plitek, polkrožen žleb, ki je širok 1 m. Njegova površina je bolj grobo hrapava kot okoliška skala. Opisane oblike so nastale na dokaj homogeni kamnini. V vhodnem rovu Zadlaške jame pa so na stropu štrline (sl. 2.5.3), ki so dolge do 10 cm in so



2.5.2 Fasete na stropu med Šumečo in Tiho jamo v Škocjanskih jamah



2.5.1 Velike fasete v vhodnem delu Trhlovce



2.5.3 Stropne štrline pod sprijeto naplavino v Zadlaški jami (merilo = 15 cm)



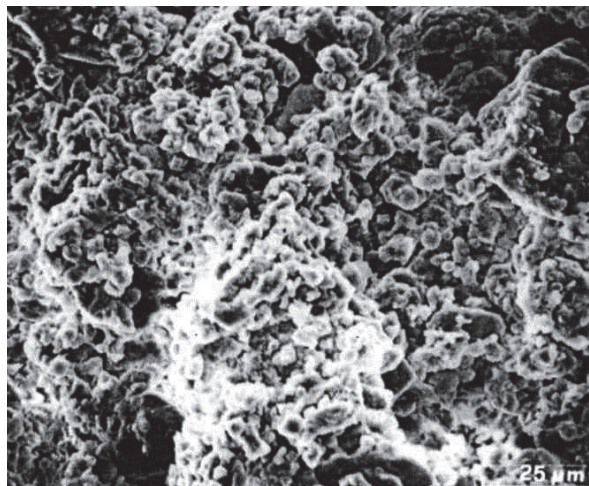
2.5.4 S kondenzno korozijo razjedena kalcitna žila, ki štrli iz stene Zadlaške jame

nazobčano razčlenjene. To so ostanki rekrystalizirane, le deloma topne naplavine, ki se je sprijela s karbonatno kamnino. Iz stene štrlijo tudi posamezne večje debelozrnate kalcitne žile (sl. 2.5.4). Tudi te so počasneje topne kot okoliška kamnina. Manjše in plitke vdolbine na breči so vezane na hitreje topne dele kamnine (sl. 2.5.5). Fasete, kotlice in stropne žlebove omenjata tudi A. A. Cigna In P. Forti (1986), kamnite čipke in kotlice pa B. Gèze (1965, 134, 135).



2.5.5 S kondenzno korozijo razjedena breča v Zadlaški jami (merilo = 15 cm)

Skalno površino, ki je izpostavljena kondenzni koroziji, s prostim očesom lahko razdelimo na gladko in hrapavo ter preperelo. Pod povečavo vrstičnega mikroskopa je v vseh primerih dokaj hrapava (sl. 2.5.6; T. Slabe, 1989, 216). Gladkost oziroma hrapavost površine je posledica razmerja med učinkovitostjo korozije, ki je zlasti posledica količine vlage, izločene iz zraka, ter nehomogenostjo in razpokanostjo kamnine, na katero se vlaga izloča. Na kamnini z večjimi, netopnimi vložki ne nastanejo značilne sledi vrtničenja zraka, čeprav je očitno, da je količina kondenzirane vlage precejšnja. V Komarjevem rovu v Dimnicah smo ugotovili, da iz površine, ki je gladka, odpadajo večji sparitni kristali, ko se hitreje stopi mikritno vezivo. (T. Slabe, 1988, 90). Na delih oboda, kjer pa je vlage premalo, da bi raztopila in razločila tesneje povezane skupke sparitnih zrn, nastajajo med njimi drobno razjedene luknjice. Podolgovate vdolbinice so pogoste tudi na drobno razpokanih stenah ali na tanko plastoviti kamnini (T. Slabe, 1989, 214). Na delih kamnine, kjer je bilo kondenzne vlage v Komarjevem rovu še manj, pa iz mikritne osnove štrlijo zrna sparita. V Medvedjem rovu v Križni jami spričo šibke kondenzne korozije iz stene štrlijo žilice kalcita – »boxwork« (T. Slabe, 1989, 214), ki so počasneje topne od okoliške mikritne kamnine. Pogosto so površine, ki so izpostavljene kondenzni vlagi, preperele. Skalo obdaja mehka plast neraztopljene kamnine, ki se ob dotiku razmaže. Takšni primeri so v vhodnem rovu Volčje jame na Nanosu, Križni in Ciganski jami. V slednji je preperela plast kamnine debela 3 mm. Iz podpisov in datumov na steni, v katero so bili vrezani s trdim predmetom v mehko površino leta 1890, sklepam, da je v stotih letih preperel 1 mm skale. Preperela skalna površina ovira dostop vlage in onemogoča hitrejše razjedanje stene.



2.5.6 Skalna površina, ki jo je razjedla kondenzna korozija

2.6 Biogeni skalni relief

Manj pozornosti mi je zaenkrat uspelo posvetiti tudi biogenim dejavnikom, ki pogojujejo ali pospešujejo raztapljanje karbonatne kamnine. Ti dejavniki so lahko avtohtoni, največkrat pa so v podzemlje prineseni z vodo. Vodni tokovi odlagajo tudi drobnozrnato naplavino, v kateri smo že ugotovili večje deleže organskega ogljika. Prenikajoča voda v votline prinaša prst. I. Gams (1974, 65) poudarja pomen bakterij pri razkrajanju karbonatne kamnine. V Križni jami deleži organskega ogljika dosega 1%, v Predjami pa 0,5%. Kaže, da takšna naplavina vodi poveča sposobnost raztapljanja. V vodovodni vodi se je raztopilo 132 mg CaCO₃ in 1,4 g mavca na liter. V litru vode, kateri smo primešali naplavino pa je bilo 1,76 g mavca in 184 mg CaCO₃. Je to posledica povečane učinkovitosti vode ali pa le raztapljanja karbonatov v naplavini? Alohtnost poudarjata tudi B. Delay in A. Aminot (1975). W. Caumartin (1959) pa ugotavlja, da mikroorganizmi v drobnozrnati naplavini s tvorjenjem amonijakovih in nitritnih kislin povzročajo nastanek gorskega mleka iz dolomita in z razkrajanjem organskih snovi pospešujejo nastajanje CO₂.

Do sedaj sem opazoval razjedenost skale pod lišaji, ki prekrivajo stene rogov, in razjedenost skalnih tal pod iztrebki jamskih netopirjev.

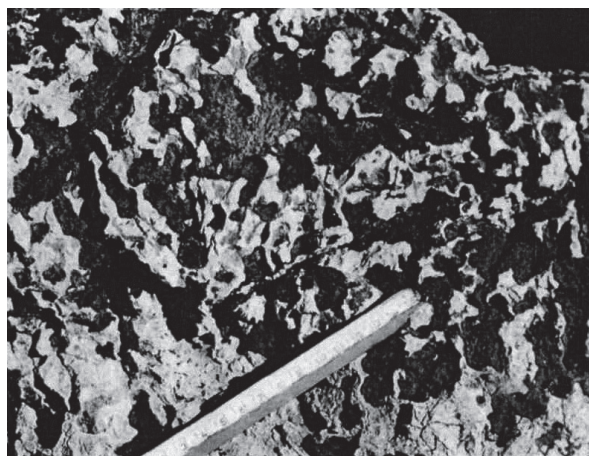
O vplivih lišajev na oblikovanost skalnega površja je pisal H. Viles (1987). Vplive organskih kislin na karbonatno kamnino je s poskusi proučeval S. T. Trudgill (1979) in teoretično dokazoval S. Dreybrodt (1988, 33). Trudgill je ugotovil, da pod organskimi kislinami skalna površina postane gladka. Deli stene v vhodnih metrih Volčje jame so poraščeni z lišaji. Svetloba prodi-

ra v jamo vzporedno s steno. Skalna površina pod lišaji je razčlenjena v luskinasto se prekrivajoče štrline, ki so usmerjene proti izhodu. V razjedah med štrlinami so lišaji. Predpostavljam, da raztapljanje skale pospešuje tekočina, ki se v kapljicah zadržuje v lišajih (T. Slabe, 1990, 182). Podobno, a v obliko luknjic, je pod tanko plastjo lišajev (sl. 2.6.1) razjedena površina stene v vhodnem delu Velikega Hublja. Svetloba pada naravnost na steno. Lišaji so verjetno prekrili vso skalno površino in hitreje razjedli bolj topne dele kamnine. Sedaj so ohranjeni v vdolbinicah in v zajedah ob drobnih razpokah. Kaže, da je to tudi posledica občasnega obilvanja stene z vodnim tokom, ki spira izpostavljene dele kamnine. Potrebne bi bile natančnejše analize neposrednega vpliva lišajev na razjedanje kamnine.

Še enemu primeru biogenega oblikovanja skale smo priča v rovu za vhodom v Veliki Hubelj, kjer so skalna tla in podorni bloki na njih drobno razčlenjeni. Razčlembe, to so posamezne ali sestavljene vdolbinice (sl. 2.6.2) s površino 1 do 10 cm² in globoke do 3 cm, so zapolnjene z iztrebki jamskih netopirjev. Tudi površina med vdolbinicami je drobno hrapava. Pod iztrebki se raztopijo najprej hitreje topni deli kamnine, ki se polkrožno poglobijo. V vdolbinah je iztrebkov največ. Voda, ki jamo občasno zalije, spere izpostavljene dele kamnine, v vboklih pa namoči iztrebke. To povzroči hitrejšo raztapljanje kamnine. Razčlembe se poglobljajo in širijo. Ali razjedanje skale povzročajo iztrebki sami ali pa le večja količina vode, ki se zadrži v njih, ko presahne vodni tok, še nisem ugotovil, predvidevam, da so razjede podobnega nastanka kot podnaplavinske vdolbinice.



2.6.1 Razjede pod lišaji v vhodnem delu Velikega Hublja



2.6.2 Razjede pod iztrebki netopirjev v Velikem Hublju

2.7 Skalni relief, ki ga oblikuje razpadanje kamnine

Zaradi razpadanja kamnine nastane odlom (Slovenska kraška terminologija, 1973, 8). Njegova površina meri od 1 dm² pa preko 1 m². Če je manjši, ga imenujem odkrušek. Odlome omejujejo ravne ali malo zakrivljene ploskve. Zaradi strnjene razpadanja stropa nastanejo kupole ali pa obokani stropi, ki so značilni zlasti za prostornejše votline (vhodni deli Dimnic, dvorane v Postojnski jami). Primere iz epifreatičnih rogov omenjata A. Bini in G. Cappa (1978, 60). Tudi v manjših rovih je strop obokan, če je kamnina gosto pretrta. Takšen je spodnji del vhodnega rova v Volčji jami (T. Slabe, 1990, 175) in v Paradižu v Škocjanskih jamah.

Na razpadanje vplivajo sestava kamnine, mehanski, hidravlični in klimatski dejavniki (Ph. Renault, 1957). Spleti naštetih dejavnikov se odražajo v načinu razpadanja in krušenja ter tako v oblikovanosti skalnega reliefa.

Sestava različne kamnine se odraža v načinu razpadanja pretrtega apnenca in dolomita. Apnenec v Volčji jami (T. Slabe, 1990, 176) razpada počasneje, odkruški pa so kockastih ali kvadrastih oblik z ravnimi ali malo krivimi ploskvami. Dolomit se pogosto kroji v tanjše luske vzdolžno ali prečno pretrtega sklada. Tudi tanko plastoviti skladi apnencev se luščijo v plošče, kakršen je del stropa v Paradižu. Ob lezikah nastane skladovni odlom. Tako se je oblikoval raven strop vhodnega rova Volčje jame (T. Slabe, 1990, 175). Na izrazitost krušenja vplivajo tudi drobna diagenetska razpokanost kamnine (J. Čar, 1979) in glinene plasti med karbonatnimi sloji.

Prevladujoči vzroki razpadanja so mehanski, predvsem tektonski. Kamnina je najbolj močno pretrta v prelomnih conah. Med prelomnimi ploskvami je razpadanje zato najhitrejše, če kamnina ni strnjena v brečo. Na stenah ali stropu nastanejo zajede, kakršne so tudi v Ledenici na Dolu (T. Slabe, 1990, 186) in v Paradižu, kjer so na gosto razpokani kamnini le drobne cevčice. Večji kapniki, kakršni so na okoliški manj pretrti kamnini, se zaradi teže ne morejo obdržati. Značilno je tudi oblikovanje oboda ob lečasto porušeni conah (J. Čar, 1982, 87), v katerih gost splet neurejeno razporejenih krajših in daljših razpok deli kamnino v bloke (T. Slabe, 1990, 174). Zaključimo lahko, da so tektonsko pogojeni odlomi omejeni z različno velikimi, dokaj ravnimi ploskvami. Zato so oglate tudi oblike skalnega reliefa. Tovrstne odlome imenujemo tudi blokovne.

Dekompresija skalnega oboda se najpogosteje odraža pri oblikovanju večjih jamskih prostorov (E. Gilli, 1985), če pa je kamnina bolj izrazito pretrta, pa tudi v manjših votlinah. Zaradi blokovnega ali skladovnega podiranja so obokani stropi pogosto inverzno stopničasti.

Tudi teža kamnine vpliva na razpadanje sten. Položni skladi v spodnjih delih vhodnih metrov Volčje jame so preprejeni s pokončnimi razpokami.

Razpadanje kamnine je hitrejše, če je izpostavljena vodi ali vodnemu toku. Kamnina se najhitreje raztaplja ob razpokah, kar še poveča njeno nestabilnost. Vodni tokovi s sten odtrgajo kose kamnine, ki so manj trdno vezani na obod. Obod rogov se tako členi zlasti ob pretrtih conah, pa tudi ob razpokah ali lezikah, med katerimi ostajajo kompaktnjši deli kamnine kot štrline. Lep primer takšnega rova je Vzhodni rov v Predjami, ki poteka vzdolžno, pa tudi prečno na prelomno cono. Gosta pretrtost in nestabilnost oboda onemogočata nastajanje oblik, ki so značilne sledi vrtničenja vodnega toka. Tudi nihanje vodne gladine z menjavanjem pritiska na stene (I. Gams, 1961, 50) in stiskanjem zraka v stropne vdolbine lahko pospeši razpadanje kamnine. V gorskih jamah je razpadanje pospešeno zaradi korozijsko aktivne vode, ki prenika ob razpokah in lezikah ter jih širi.

Klimatske dejavnike, ki vplivajo na oblikovanje skalnega reliefa zaradi razpadanja in krušenja, lahko razdelimo na zmrzovanje vlage in njeno kondenzacijo na kamnini ter termične spremembe v kamnini. Krušenje kamnine, kar je v Predjami ugotavljal tudi A. Kranjc (1983), je pospešeno zaradi zmrzovanja vlage na obodu. Večji pritisk ledu v razpokah rahlja kamnino. Takšno razpadanje je značilno za votline, v katere se useda in obdrži mrzel zimski zrak (Ledenica na Dolu, vhodni deli Velike ledenice v Paradani, Grgorečeva pečina v Matarskem podolju). Vpliv zmrzovanja je izrazit le na razpokani skali. Vpliv kondenzne korozije na razpadanje skale je šibkejši. Vлага kamnino hitreje raztaplja ob razpokah. Na nerazpokani kamnini pa povzroča, ko raztopi hitreje topne dele kamnine, odpadanje večjih sparnih zrn, ki štrlijo iz površine (Komarjev rov v Dimnicah). Same termične spremembe v kamnini so za razpadanje manj pomembne, saj so temperaturna nihanja v naših jamah razmeroma počasna. Večje temperaturne razlike (do 10°C) so v vhodnih delih nižinskih jam in v odprtih gorskih brezni.

2.8 Preplet dejavnikov in procesov, ki odločajo o oblikovanju skalnega reliefa

Oblika skalnega reliefa je predvsem odsev razmerij in učinkovitosti delovanja večjih količin vode na kamnino. Aktivne rove oblikujejo predvsem vodni tokovi, brezna pa polzeča voda. Kamnina je različne sestave in pogosto pretrta, zato razpada. Ostali procesi so praviloma manj učinkoviti. Kateri tip skalnega reliefa prevlada, je odvisno tudi od trajanja njegovega oblikovanja. Na obod rogov lahko deluje več dejavnikov hkrati, ali pa se ti razvrstijo v razvoju votline.

Že sama oblika rogov in znaten delež skalnega reliefa, ki jim dajejo pečat ravne površine odlomov ali obokani stropovi, kažeta, da je tako pri nastanku votlin kot pri oblikovanju njihovega skalnega oboda, pomembna tektonska pretrtost kamnine, v kateri so nastale. Rovi imajo pogosto ostre zavoje in skokovite spremembe velikosti prečnega prereza. Pri razvoju votline so pomembne predvsem prelomne cone ali večje razpoke, pri oblikovanju oboda pa pride do izraza že drobna razpokanost kamnine. Obod vodnih rogov, ki imajo okrogle ali zaobljene prečne prereze, je razčlenjen v lepše razpoznaven skalni relief. Gosto pretrte stene rogov, ko so površine med razpokami manjše, kot je velikost vrtincev v različno hitrih vodnih tokovih, se namreč oblikujejo v štrline ali niše. Fasete nastanejo takrat le na posameznih manjših nerazpokanih površinah, kjer je kaotičnost vrtinčenja znatno manjša kot ob razpokah. V večjih votlinah, ki so zlasti posledica izdatnejšega odnašanja kamnine z vodnim tokom, je kamnina rogov pogosto preoblikovana zaradi razpadanja. Razčlenjenost rogov, skozi katere se pretakajo vodni tokovi, povzročata nastanek večjih predelov poudarjenega vrtinčenja vode.

Na oblikovanje oboda rogov vpliva tudi kamnina, ki je sestavljena iz delcev različnih velikosti in različne topnosti. Že sama velikost delcev vpliva na možnost nastanka skalnih oblik. Večje ovire onemogočajo nastanek faset, zlasti manjših, ki jih vrezuje hiter vodni tok. Značilno se oblikujeta apnenec in dolomit. Večji kristali sparita, ki so praviloma počasneje topni kot manjši delci mikritnega veziva, pogosto štrlijo iz sten. Šibkosti v kamnini so namreč manjši sestavni delci, ki nudijo raztapljanju večjo površino. Kamnina se najhitreje raztaplja ob stiku zrn, ki jo sestavljajo, redko pa nastanejo vdolbinice na kristalih (J. S. Herman, W. B. White, 1985). Štrleči delci kamnine so bolj izpostavljeni vodnemu toku polzeči vodi, ali pa zaradi teže sami

odpadajo. Pod vrstičnim mikroskopom lahko opazujemo, da so večji kristali na površju kamnine, ki je korozivno razjedena, obdržali svoje pravilne oblike. Tudi C. Ek in H. Roques (1972, 71) ugotavljata, da je počasnejše raztapljanje velikih kristalov posledica večje odpornosti njihovih ploskev in omrežne energije. Dolomit pogosto hitreje razpada. Če pa ga povezuje kalcitno vezivo, je v vodnem toku odpornejši od apnenca (Križna jama). Bolj je kamnina porozna, učinkovitejša je korozija. Skalne oblike so pravilnejše, čimbolj so enotni sestavni deli kamnine. Skalni relief učinkovito oblikujejo tudi večje količine polzeče vode, čeprav je v njem vpliv sestave kamnine poudarjen. Velik delež skalnega reliefa opisanih votlin sestavljajo tudi nadnaplavinske skalne oblike. Izpričujejo pogosto poplavno zapolnitev rogov z drobnozrnato naplavino in razmeroma dolgotrajno pretakanje vode nad njo. Izrazitejša drobna razčlenjenost kamnine, ki jo narekuje njena sestava, je posledica razjedanja reliefa z manj učinkovito kondenzno korozijo. Večja količina kondenzne vlage in vode iz debelejših ledenih oblog pa skalo lahko zaobli in zgladi. Vendar pa slednji dejavniki le redko izrazito oblikujejo skalni relief. Pogosto ga le delno preoblikujejo.

Glede na skalni relief, ki je rezultat prepleta različnih dejavnikov in njihove učinkovitosti, lahko opredelimo tudi značilnosti rogov. Ti so razvojno enotni ali sestavljeni. V prvih prevladuje eden izmed izrazitih dejavnikov, bodisi vodni tokovi, zlasti v zalitih rovih, bodisi polzenje vode v brezni. To so torej predvsem sledi prevladujočih današnjih procesov, ki oblikujejo votlino. Kot prvi tip oblikovno raznovrstnih rogov lahko izdvojimo tiste, v katerih se prepleta več današnjih dejavnikov hkrati: vodni tokovi, razpadanje, odlaganje drobnozrnate naplavine in izcejanje vode iz nje. Taki rovi nastajajo v zaliti coni, kjer se prepletata prva dva dejavnika. Najbolj pogosti pa so v epifreatični coni, kjer se odlaga tudi večja količina naplavine. Visoke vode lahko povsem zalijejo, nizke vode pa oblikujejo le dno struge ali pa so celo sigotvorne. V drugem, pogostejšem tipu oblikovno mešanih rogov, ki jih imenujemo tudi poligenetski (T. Slabe, 1990), skalni relief sestavljajo sledi današnjih in nekdanih pogojev in procesov njihovega oblikovanja. V takšnih rovih se vodni tokovi pretakajo le po strugah v njihovem dnu, rovi so suhi ali pa deloma prekriti s sledmi polzenja vode, kar je predvsem značilnost gorskih jam.

3. SKALNI RELIEF IZBRANIH JAM IN NJEGOV SPELEOGENETSKI POMEN V KRAŠKIH PREDELJIH SLOVENIJE

Skalni relief v izbranih jamah (tabela 2) sem skušal ovrednotiti tudi kot speleogenetsko sled. Jame sem povezal po regionalnih in tipoloških značilnostih.

Za popolnejšo predstavitev speleogeneze v izbranih kraških predelih je proučenih premalo jam. Nudijo pa se predpostavke za nadaljnje proučevanje. Izkazalo se je, da imajo kraški predeli, v katerih sem izbral jame in predstavil nastanek njihovega skalnega reliefa, pogosto tudi samosvoje speleogenetske značilnosti, čeprav

z mnogimi lokalnimi različicami. Težavno je časovno opredeljevanje obdobj, ki so zapustila sledi v jamski podobi. Skalni relief nam nudi le vpogled v njihovo časovno razporeditev. Mlajše skalne oblike namreč prekrivajo starejše. Čas oblikovanja starih skalnih oblik je moč opredeliti le v povezavi z drugimi speleogenetskimi kazalci: nadstropnost skalnega reliefa, zapoljenost jam z naplavinami in starost sig. O slednjih pa bo treba zbrati še mnogo dokazov.

3.1 Skalni relief in njegov speleogenetski pomen v izbranih jamah Tržaškega in Istrskega krasa

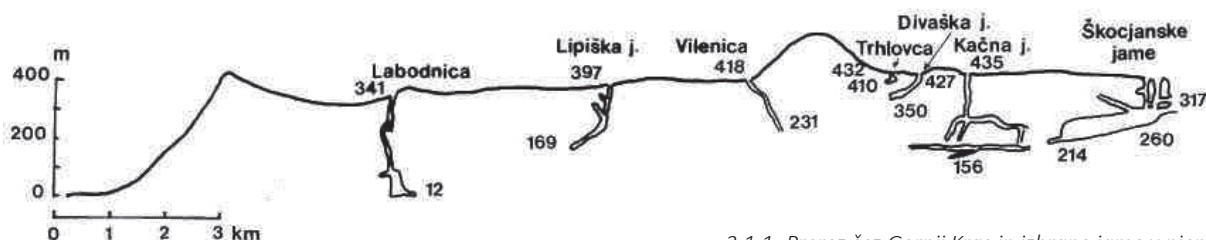
3.1.1 Skalni relief in njegov pomen pri proučevanju razvoja izbranih jam na Krasu

Kras je ozemlje med Vipavsko dolino na S in SV, Brkini na JV, Tržaškim zalivom na JZ in Soško dolino na SZ. Tako ga opredeli tudi A. Melik (1960, 188). Skozenj se pretakajo vode, ki se zbirajo na flišnem zaledju Brkinov, Senožeske in Vipavske doline ter Pivške kotline. S površja vode razpršeno ponikajo do podzemnih tokov, ki izvirajo ob morski obali. Na stiku s flišem so nastale večje ponorne jame, kot so Škocjanske, Reko pa dosežemo še v Kačni jami in pod brezni v Labodnici. Piitkeje pod površjem so velike suhe jame, v katerih so v skalnem reliefu ali naplavinah ohranjene sledi vodnega toka. V proučevanje sem vključil (sl. 3.1.1) ponorne Škocjanske jame, pretočno Labodnico ter suhe Divaško jamo, Trhlovco, Vilenico, Petnjak in Lipiško jamo.

I. Gams (1974, 197) meni, da je Kras dobil glavne reliefne značilnosti v terciarni dobi, ko je bil nižje od fliša Vipavske doline in Brkinov. Obdobje pretakanje vode po kraškem površju je dokazoval z ostanki paleo-fluvialnega gradiva D. Radinja (1972, 214). Po bočenju antiklinale, ki se je začelo v miocenu, se je fliš ohranil le na vzpetinah. Potoki so ga kot naplavino nanašali v jame (Divaška jama, Vilenica, Lipiška jama; I. Gams, 1974, 197). Po mnenju W. Mauccia (1960) naj bi se zakrasevanje pričelo ob koncu pliocena.

Skalni relief Škocjanskih jam, Labodnice, Trhlovce, Divaške jame, Vilenice in Lipiške jame

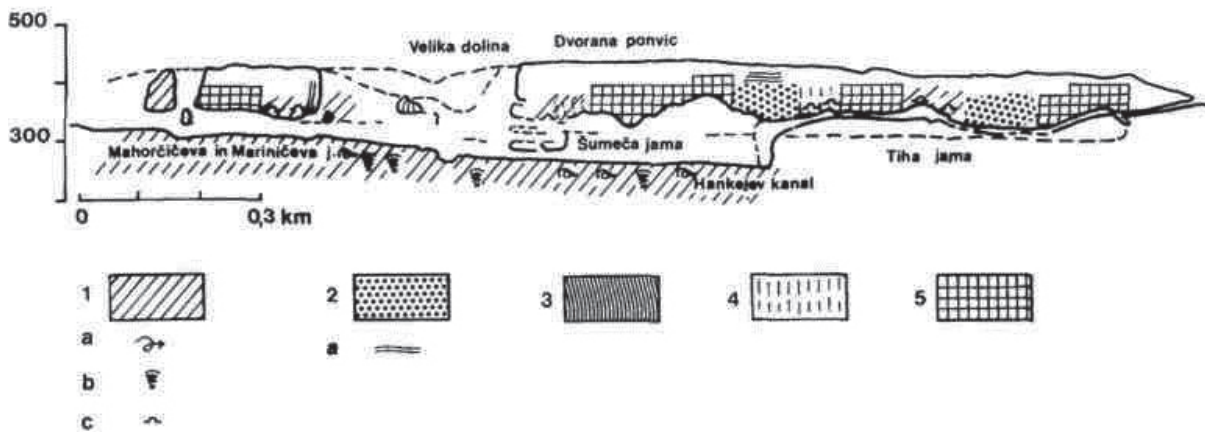
Povzetki dosedanjega proučevanja Škocjanskih jam so strnjeni v objavi raziskovalcev Inštituta za raziskovanje krasa (P. Habič idr., 1989), kjer sem skušal prispevati dognanja o speleogenetskem pomenu skalnega reliefa.



3.1.1 Prerez čez Gornji Kras in izbrane jame v njem

V spodnjih rovih Škocjanskih jam (sl. 3.1.2) in v Labodnici skalni relief oblikuje Reka.

3.1.2 Skalni relief v Škocjanskih jamah



1. Skalni relief, ki ga (je) oblikuje vodni tok: a –fasete, b – draslje, c – stropne kotlice
2. Obnaplavinski skalni relief: a –nadnaplavinski žlebovi
3. Skalni relief, ki ga oblikuje polzeča voda
4. S kondenzno korozijo preoblikovana skala
5. Skalni relief, ki ga oblikuje razpadanje oboda

Pretok Reke v Škocjanskih jamah naraste tudi do 387 m³/s, ob suši pa ponika v strugo okoli 500 l/s že 5 km pred ponorom pod Škocjanom. Kontaktni kras ob ponorih Notranjske Reke sta predstavila I. Gams, (1983) in A. Mihevc (1991, MN, 125). Reka je naša največja ponikalnica, kar se kaže tudi v prostornosti votlin. Jamo sestavljajo zgornji suhi in spodnji vodni rovi, ki jih prekinjata in hkrati povezujeta veliki udornici. Spodnji, vodni rovi se začno pri ponoru na višini 317 m, dno Velike doline je na 260 m, začetek Hankejevega kanala je na 251 m, sklepno sifonsko jezero pa je na 214 m nad morjem. So kanjonskega tipa s strmimi stenami tik ob strugi. Še zlasti izrazito kanjonski je Hankejev kanal. V njem je na začetku struga široka 5 m, 77 m visoko pod stropom pa se kanal razširi na 15 m. Pred končnim Mrtvim jezerom se rov razširi na 40 m in je 120 m visok. Strmec Reke med ponorom v Mahorčičevo jamo in Martelovim jezerom pred sifonom znaša 35 promilov (Kranjc, 1986, 112). Voda po tem rovu odteka razmerno hitro, le po večjih nalivih začne zastajati in v jami naraste gladina ob poplavih tudi do 80 m. Transport rečnih sedimentov skozi jamo je opisal A. Kranjc (1986). Slaba sortiranost peska v jami kaže na hudourniški značaj toka. V notranjost jame narašča delež apnenčevega proda. Prod, ki je na pobočju v Černigovo jamo, je odložil hitrejši tok, kot je današnji (A. Kranjc, 1989, 92). V vhodnem delu pred ponorom v Šumečo jamo je struga izdolbljena v živi skali, izmenjujejo se odseki z brzicami, slapovi in jezери. V skalo so vrezane draslje. V Šumeči jami in v Hankejevem kanalu se Reka prebija med po-

dornimi bloki. Na njih in po skalnem obodu struge so kot posledica hitrega in močnega vodnega toka, ki doseže hitrost skoraj 2 m/s, značilne majhne fasete večinoma tretje skupine (sl. 2.1.12) in različno velike draslje (sl. 2.1.67). Stenske zajede v Mariničevi jami in v Hankejevem kanalu kažejo nivoje pretakanja vodnega toka. Reka je najbolj učinkovita ob višjih vodah. Tanka plast sige prekriva dno struge.

Skalni relief vodnega rova Labodnice sestavljajo manjše fasete, ki so ponekod zaradi pretrte kamnine dokaj nepravilnih oblik, in stropne kotlice, torej skalne oblike, ki kažejo na pretok hitrejšega vodnega toka. Na stenah zatišij v vodnem rovu in na podornih blokih v spodnjem delu dvorane so podnaplavinski žlebiči in vdolbinice. Ta del jame voda občasno poplavi.

Pomemben proces oblikovanja skalnega oboda izbranih jam, zlasti prostornih rovov v Škocjanskih jamah, je razpadanje kamnine. V Petnjaku ga pospešuje zmrzovanje vlage, ki ga povzroča vdiranje mrzlega zimskega zraka v velik spodmol. V Škocjanskih jamah in v vhodnem delu Trhlovce skalo razjeda kondenzna korozija. Sledi prenikajoče vode so talne vdolbinice v Divaški jami, ki nastanejo zaradi kapljanja vode skozi plitek strop. Polzeča voda pa oblikuje globoka brezna v Labodnici.

Speleogenetski pomen naplavin v Škocjanskih jamah, Divaški jami in Trhlovci je opredelil R. Gospodarič (1984; 1985). Rove in naplavine v Škocjanskih jamah je razdelil (R. Gospodarič, 1984, 45) na staropleistocenske, ki so na nadmorski višini 370 do 390 m.

Za rove, ki jih povezuje tudi z oblikovanjem okoliških jam, je značilna vijugavost in nižji prečni prerezi, kot jih imajo danes aktivni rovi. V srednjepleistocenski fazi so bili aktivni rovi na višini 310 do 330 m. Ponornica je bila manj hudourniška kot današnja, ponikala pa je verjetno na več mestih hkrati (R. Gospodarič, 1983, 23). I. Gams (1983, 23) meni, da se je Reka pretakala skozi več rogov hkrati in eden izmed njih je bila tudi Tiha jama. V obdobjih Würma so se jame najbolj morfološko spremenile. Poglobljaj se je Hankejev kanal, odstranjevale so se starejše naplavine iz zgornjih etaž (R. Gospodarič, 1984, 45). V hladnem würmskem višku (W3) se je jama z udornicami Male in Velike doline povezala s površjem (R. Gospodarič, 1983, 166).

Stari skalni relief Škocjanskih jam, ki je ohranjen le na posameznih odsekih oboda, sestavljajo stropne kotlice, fasete ter nadnaplavinske anastomoze (sl. 3.1.2). Odseva nam torej le nekaj utrinkov iz razvoja jame.

Stropne kotlice, ki so nastale zaradi počasnega pretakanja vode v freatičnih rovih, so v Mariničevi jami, Dvorani ponvic in v Mullerjevi dvorani Tihe jame, torej na nadmorski višini 310 do 330 m. Po Gospodaričevem mnenju (1984, 45) so na tej višini ohranjene srednjepleistocenske naplavine. Sklepam, da je udornica Globočak zaprla vodno pot skozi Tiho jamo. Postopoma je glavni vodni rov postajal zgornji del Hankejevega kanala, in ko se je vodna pot obnovila in bila zopet prevodna za vse vode, so se kratkotrajno obnovili pretežno z naplavinami zapolnjeni rovi srednjega dela jame. O tem pričajo majhne fasete v Czoernigovi in Brihti jami. Voda se je v epifreatičnem rovu po stari naplavini, pretakala hitro. Obdobje je bilo kratkotrajno, saj je rov ohranil oglat obod. Iz tega mladopleistocenskega obdobja sta tudi Tominčeva jama in Šmidlova dvorana. Skratka opisani jamski relief in naplavine kažejo na različna obdobja oblikovanja rogov v pestrih klimatskih razmerah, še vedno z enotno tendenco počasnega poglobljanja jame.

Sledilo je hitro vrezovanje vodnih tokov in vlogo glavnega rova sta v začetnem delu Škocjanskih jam prevzeli Mahorčičeva in Mariničeva jama. Hitro sta se poglobljala tudi osrednji del jame in Hankejev kanal. Stenske zajede odražajo postopnost hitrega poglobljanja rogov. Vodni tok se je odprl in temu primerno se je oblikoval skalni relief. Aktivni rovi so postajali bolj premočrtni in kanjonsko globoki. Hankejev kanal je bil sprva oblikovan ob prelomni coni in ob prečnem prelomu je rov zavil strmo navzdol, nato pa se je poglobljajal z zadenjsko erozijo in bil kasneje preoblikovan zaradi razpadanja. K izraziti sifonski zapori je verjetno prispevala mlada tektonika, saj kaže, da se končni blok, v kateremu je sifon, spušča navzdol. Obdobje začetka hitrega erozijskega vrezovanja R. Gospodarič (1988, 93)

pripisuje zgornje in srednje würmskim spremenjenim glacioevstatičnim razmeram v Jadranskem morju, ki so posledica klimatskih in hidroloških sprememb.

R. Gospodarič (1985, 32) sodi, da je bila Trhlovca v gunškem glacialu zapolnjena z rjavo pasovito ilovico in to še preden je bila izvotljena Divaška jama. Tudi ta je bila v mindlu zapolnjena s pasovito ilovico. Obe pa sta bili zapolnjeni z rdečo in rjavo ilovico, ki so jo s površja prenesle vode v rissu. F. Šusteršič (1972/73, 239) meni, da je Trhlovca požiralnik z značilnim prečnim prerezom. Tudi Vilenico naj bi oblikovala ponornica (F. Šusteršič, 1972/73, 322). I. Gams (1984, 7) nastanek Vilenice povezuje z obdobjem znižanja piezometričnega nivoja vode, kar je povzročilo ponikanje vodnih tokov, ki so se stekali s flišnega zaledja. Ugotavlja tudi, da sledi razpadanja zaradi zmrzali v jami ni (I. Gams, 1984, 8), in da je njen vohod holocenski. In kaj nam kaže skalni relief izbranih jam?

Sledi freatičnega, počasnega vodnega toka v Trhlovci (velike fasete in stropne kotlice) in Petnjaku (stropne kotlice) so na nadmorski višini nad 400 m. Če so Gospodaričeve analize naplavin v jamah točne, so omenjene sledi vodni tokovi oblikovali v predgunških dobah. Trhlovca je bila kasneje preoblikovana z nekoliko hitrejšim vodnim tokom, ki se je sprva v epifreatični coni pretakal proti jamski notranjosti, nato pa je jama poglobil v ozek, vijugast rov. Skalni relief, ki je nastal v freatični coni, namreč preseka osrednji rov, ki ima na obodu srednje velike fasete. Sklepam, da so jama po znižanju piezometričnega vodnega nivoja preoblikovale ponorne vode, ki so izkoristile starejše rove. Ponorne vode so se stekale s flišnih zaplat in jama občasno tudi zapolnile. O tem pričajo manjše mreže nadnaplavinskih anastomoz.

Sledi počasnega pretakanja vode v freatični coni (velike fasete in stropne kotlice) so tudi v Divaški jami (360 do 390 m nadmorske višine), v zgornjem delu Vilenice in v zgornjih rovih v Lipiški jami (340 m nadmorske višine). Po analizah naplavin (R. Gospodarič, 1985, 32) lahko sklepamo, da so počasni tokovi oblikovali Divaško jama na prehodu iz gunza v mindel. Nekoliko globlje, kar je zaradi nagnjenosti piezometričnega nivoja vode proti zahodu razumljivo, so bili vodni rovi v Vilenici in Lipiški jami. Stropne kotlice v Škocjanskih jamah so na nižji nadmorski višini (330–360 m) in so, če je gornje sklepanje pravilno, mlajše. Z nadaljnjim nižanjem vodne gladine se je voda začela pretakati nekoliko hitreje. Zapustila je srednje velike fasete (Kozinski rov v Lipiški jami). Pretok pa je bil še vedno freatičen. Občasno izdatno naraščanje vodne gladine kažejo sledi vodnega toka, ki se je skozi stare rove pretakal navzgor tako v Vilenici kot v Lipiški jami. Že po riškowürmski medledenici dobi poplave niso dosegle

zgornjega dela Vilenice (N. Zupan, 1991, 203). Vilenico naj bi oblikovala ponornica (F. Šušteršič, 1972/73, 322; I. Gams, 1984, 7). Sledov v skalnem reliefu o takšnem oblikovanju jame ni, je pa res, da so njeni zgornji deli v enaki nadmorski višini kot epifreatično preoblikovan osrednji del Trhlovce.

V spodnjih delih Lipiške jame (Kozinski rov), Vilenice in v Škocjanskih jamah: (v Tominčevi in Tihi jami ter zgornjem delu Hankejevega kanala) so nadnaplavinske anastomoze. Verjetno so nastale nad mladovürmsko ali holocensko drobnozrnato naplavino, ki jo je do 350 m nadmorske višine lahko zaslediti tudi v drugih rovih Škocjanskih jam (R. Gospodarič, 1984, 42). Jama je bila v tem obdobju skoraj povsem zapolnjena z naplavino. Poplave je moč zaznati tudi v sigi Tihe jame, na katero erozija ne deluje vsaj že 13000 let (R. Gospodarič, 1983, 166). Datacije sige iz Kozinskega rova (N. Zupan, 1991, 196) pričajo tudi o starejših, predriških poplavah. Starejši paragenetski skalni relief je ohranjen le v Trhlovci. Povezujem ga z Gospodaričevo datacijo (1985, 32) zapolnitve jame v gunškem glaciale. V bližnji Divaški jami, ki naj bi bila z ilovico zapolnjena v mindlu, takšnih sledi namreč ni.

Skalni relief izbranih jam nam torej predstavi le nekaj obdobj njihovega razvoja, ki pa jih ni moč povezati v celoto. Sledi razvojnih obdobj so se ohranile zaradi nižanja piezometričnega nivoja vode in izdatnosti naplavljanja drobnozrnate naplavine s poplavno vodo. Ugotovili pa smo lahko, da je bil pretok skozi nekdanje freatične rove precej počasnejši, kot smo mu priča v današnjih dostopnih vodnih rovih.

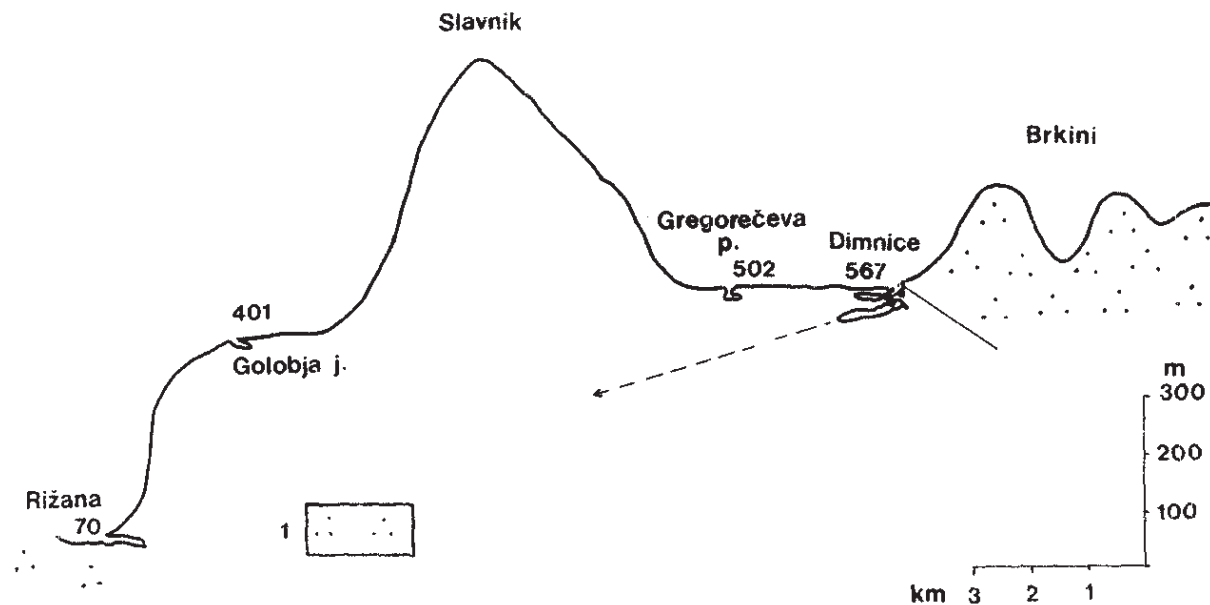
3.1.2 Skalni relief in njegov speleogenetski pomen v izbranih jamah slovenskega Istrskega krasa

Slovenski Istrski kras

Istrski kras sestavljata Podgrajsko podolje s Slavniškimi pogorjem kot delom Čičarije in Podgorski kras (A. Melik, 1960, 242) s Socerbsko planoto.

Podgrajsko podolje (Matarsko podolje) je kraško podolje oziroma suha dolina v slovenskem delu »Bele Istre« (A. Melik, 1960, 239). Podolje je dolgo okoli 25 km in široko 2–3 km. Njegovo površje je na nadmorski višini 500 (Kozina) do 700 m (preval ned Starodom). Na SV meji na flišne Brkine, na JZ pa na Slavniško pogorje (sl. 3.1.3). Površje podolja je vrtačasto in brez površinskih vodnih tokov, izjema je le povirni del občasnega toka Krvavega potoka. Ozemlje iz krednih in deloma paleogenskih apnencev v tektonskem smislu sodi k brkinskemu terciarju na severu in h kredni zgradbi Čičarije na jugu (D. Šikič, M. Pleničar, 1975). Kredni karbonatni skladi tvorijo tudi podlago brkinskega terciarnega sinklinalnega bazena. Na njih so paleocenski sedimenti. Vode, ki se zbirajo na površini flišnih

Brkinov, skozi apnenec odteka proti SZ in Z k izvirov v Dolini, Ospu in Rižani, proti J in JV pa h Kvarnerskemu zalivu. Izvedeni so bili sledilni poskusi (P. Krivic, M. Bricelj, M. Zupan, 1989). Na vznožju Brkinov so značilne slepe doline (I. Gams, 1962; A. Mihevc, 1991, MN,



3.1.3 Prerez čez Matarsko podolje, Slavnik in Podgorski kras 1. fliš

59). Vode odteka v stalne (2) in občasne (9) ponore. Zakrsevanje je povzročilo, da se podzemeljski tokovi pretakajo že dokaj globoko pod površjem. Plitko pod površjem je voda v Ponikvah v Jezerini, najgloblje pa v ponorni jami Kamenšči (155 m). Voda s površja dosega vodne tokove s prenikanjem. Nastajajo brezna (77). Večji, a slabo razvejani in podorno povišani spodmoli (12), ki so praviloma na robu udornic ali vrtač tik pod površjem, so ostanki najstarejših votlin. Tudi stare suhe jame (58) z rovi na različnih nadmorskih višinah so s površjem povezane z udori stropov ali z mlajšimi brezni.

Tudi Slavniško pogorje, ki je visoko do 1028 m, tvorijo kredni in paleogenski apnenci. Področje, ki je na SZ in JV, torej Podgorski kras in Socerbska planota, pa je iz paleogenskih apnencev. Manjše površinske vode se stekajo tudi s flišne zaplate na Socerbski planoti in ponikajo v slepi dolini med Ocizlo in Beko. Vode tečejo skozi apnenec k izvirov v Boljuncu, del pa se jih pridruži vodam iz širšega primorskega zaledja, ki izvirajo v Osapski jami. Poleg aktivnih in opuščeni ponorov so na Socerbski planoti tudi stare vodoravne jame. Sestavnih del aktivnih jam so ponorna brezna.

Istrski kras se na Z strani strmo spušča v 100 m nižjo Osapsko dolino in na JV v dolino Rižane. Skladi apnenca, ki tvorijo kraški rob, so narinjeni na fliš (S. Sancin, C. Bratos, 1984, 17).

V Podgrajskem podolju sem proučeval ponorne jame: Kamenščo, Ponor v Odolini, Ponikve v Jezerini, Novokrajsko jamo, pretočno jamo Dimnice, ki sem jo opisal v magistrski nalogi (T. Slabe, 1989, MN, 13–71), in večji spodmol, Grgorečevo pečino. Na robu Podgorskega krasa sem obiskal staro Golobjo jamo, na Socerbski planoti Beško Ocizeljsko jamo in v Osapski dolini Osapsko jamo, ki je občasni izvir.

Ponor v Odolini omenjata W. Maucci (1975, 258) in I. Gams (1962; 1974, 191). Jamo je natančno opisal in predstavil z vzdolžnim prerezom A. Mihevc (1991, MN, 70). Iz barvnih podpisov sklepa o pretežno korozijskem oblikovanju spodnjega dela jame (A. Mihevc, 1991, MN, 71).

Novokrajško jamo je predstavil M. Čepelak (1972). Podrobno pa je jamo in Novokrajško slepo dolino opisal A. Mihevc (1991, 98). Ugotavlja, da je sifon dobro prepusten, saj pred njim ni blata in naplavljenega lesa (99).

Beško Ocizeljsko jamo sta z načrtom predstavila K. Bratoš in S. Sancin (1984). A. Mihevc (1991, 45, 46) na podlagi prečnega prereza rova v spodnjem delu jame sklepa o dveh obdobjih jamskega razvoja. Prvo je bilo obdobje pretakanja vode v zaliti coni, saj so imeli rovi v spodnjem delu jame elipsast prečni prerez. Vadozni vodni tok je te rove poglobil s kanjonom.

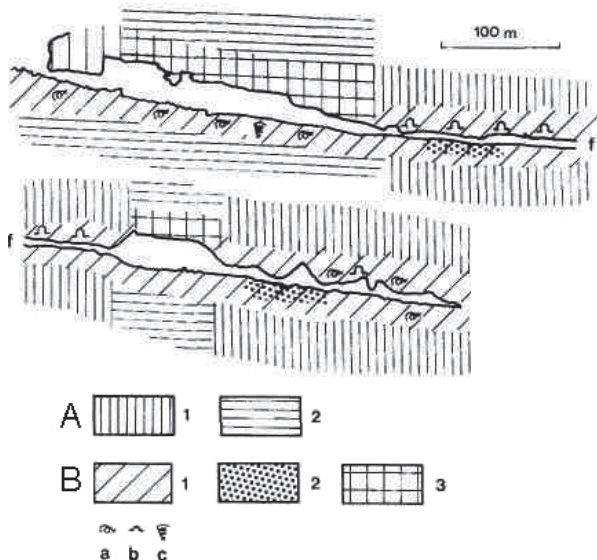
Osapsko jamo sta po potapljaških raziskavah opisala F. Malečkar in S. Morel (1987). Talne zareze v rovih z

elipsastim prečnim prerezom razlagata (49) s pretakanjem vode iz kaminov, ko jama ne deluje kot izvir. D. Novak (1964/65, 89) meni, da je jama Grad Osapski, kot se tudi imenuje, le preliv voda Šavrinskega krasa, ne pa ustje samostojnega podzemeljskega vodnega toka.

Skalni relief v izbranih jamah in njegov speleogenetski pomen

Stalni ali občasni vodni tokovi oblikujejo jame, ki so na stiku s flišnimi Brkini. Visoke vode jih v pretežni meri zalijejo. V jamah prevladujejo naslednji tipi rogov:

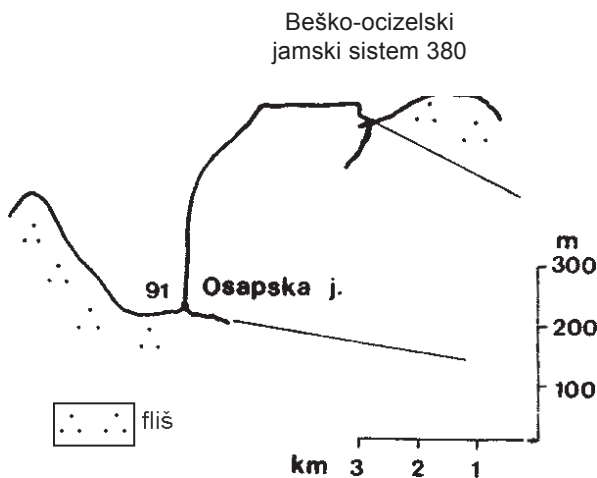
- Epifreatični rovi (Ponikve v Jezerini) s srednje hitrim vodnim tokom. V ožinah rogov je pretok hitrejši. Skalni relief sestavljajo srednje velike (sl. 2.1.8) in manjše fasete ter stropne kotlice.
- Epifreatični rovi s poplavnim zaledjem (spodnji del Ponora v Odolini, ki ne more hitro prevesti najvišjih voda), za katere so poleg faset in stropnih kotlic značilni tudi podnaplavinski žlebiči.
- V vhodnih delih ponornih jam so rovi, ki jih oblikuje hiter, odprt vodni tok (Novokrajška jama (sl. 3.1.4), Ponor v Odolini (sl. 2.1.4, 2.1.66)). Dolgotrajnejše nizke vode sooblikujejo (talni žlebovi) tla posameznih rogov (Ponor v Odolini, meandrast rov v Kamenšči).



1. epifreatična cona
2. vadozna cona
1. skalni relief, ki ga oblikuje vodni tok
a. fasete, b. stropne kotlice oboda, c. draslje
2. podnaplavinski skalni relief
3. Skalni relief, ki nastaja zaradi razpadanja

3.1.4 Hidrološke cone oblikovanja in skalni relief Novokrajške jame

Značilnost ponorov v Podgrajskem podolju je, da so skorajda na enaki nadmorski višini 480 do 490 m. Nižje je Beško Ocizeljski ponorni jamski sistem. O hitrem in izdatnem pretoku skozenj pričajo majhne fasete v položnejših rovih med brezni ter velike draslje na dnu brezni (sl. 2.1.74). Voda, ki danes občasno zalije Ocizeljsko jamo (sl. 3.1.5), večinoma ne priteka več skozi vhodna brezna, temveč vodna gladina narašča od spodaj navzgor. Prevodnost skozi kraški rob je premajhna, da bi občasne poplavne vode odtekale sproti. Ko se zapolnijo votline aktivnih ponorov, voda zalije tudi drugače suhe dele jam. Visoke vode so si poleg stalnih nižjih, poiskale tudi občasne višje izvire. Takšen prelivni izvir je Osapska jama z epifreatičnimi rovi. Ob visokih vodah se namreč rovi, ki so sicer suhi, napolnijo in voda se v velikih količinah preliva na dan. Za vodne rove v ponornih jamah, pa tudi za osrednji pretočni del Dimnic, je značilno, da se vodni tokovi pretakajo po prodnih nanosih ali sigi, ki jo odlagajo nizke vode. Torej ne tečejo po skalnih tleh. Kamenščo, ki je jama z nekoliko višjim vhomom in jo višje vode manjkrat dosežejo, preoblikuje agresivna voda, ki se izceja iz flišnega pokrova nad jamo. Ko polzi po jamskih stenah, oblikuje žlebiče (sl. 2.3.1). Manjša količina vode preoblikuje (žlebiči) tudi brezna v Beško Ocizeljski jami in vhodni brezni



3.1.5 Prerez med Socerbško planoto in Osapsko dolino in jami v njej

v Dimnicah. Znamenja, ki jih zapuščata zimsko vdiranje mrzlega zraka v jame, so posledica kršenja skalnega oboda in sige v vhodnem delu Dimnic (P. Habič, 1985) in v Grgorečevi pečini. Kondenzna korozija pa skalo drobno razjeda (T. Slabe, 1988).

Sledi nekdanjih podzemnih tokov so danes le deloma ohranjene v starih jamah, tik pod površjem. Pretakanje vode je bilo počasno, freatično. Hitrost pretoka skozi jame so sprva omejevale flišne zapore, ki so obdajale kras. V Grgorečevi pečini in Golobji jami (sl. 3.1.3), ki je bila globlji del izvirnega rova na stiku s flišem, so stropne kotlice. V Beško-Ocizeljski jami sledi freatičnega pretakanja vode (velike fasete (sl. 2.1.37), elipsasti prečni prerezi rogov) najnižje. Na kraškem robu se je najprej začel počasi odpirati flišni jez. V jamah pod Brkini takšnih sledi ni. Kaže na stalnost ponorov in njihovo preoblikovanje, seveda če ni mlajšega porekla že njihov nastanek.

Nižanje flišnega jezua na zahodu in tektonski premiki so vode usmerili proti kraškemu robu. Hitrejše niževanje neprepustnih kamnin je značilno za hladnejša kvartarna obdobja. Se je torej zakrasedanje pričelo v začetku pleistocena in so najstarejše sledi pretakanja vode skozi karbonatne kamnine s konca pliocena? Posledica zakrasedanja so večetažnost ohranjenih sledi pretakanja vode skozi podolje (Dimnice) in brezna v jamah na robu (Beško Ocizeljska jama). V zgornji etaži Dimnic in zgornjih rovih Ponikev v Jezerini se velikost faset po steni navzgor manjša. Je to posledica reaktiviranja starih rogov s hitrim tokom po prodni naplavinini?

Po nadnaplavinskem skalnem reliefu sklepam, da je bilo podolje izrazito poplavljenno in jame zapolnjene z drobnozrnato naplavino. Stropni žlebovi so vrezani prek starejših znakov jamskega razvoja v Ponoru v Odolini, Kamenšči, v obeh etažah Dimnic in zgornjem rovu v Beško Ocizeljski jami. Starih, višje ležečih jam (Grgorečeva pečina, Golobja jama) pa te poplave niso več dosegle. Lahko obdobje izrazitih poplav pripišemo klimatskim spremembam na koncu pleistocena?

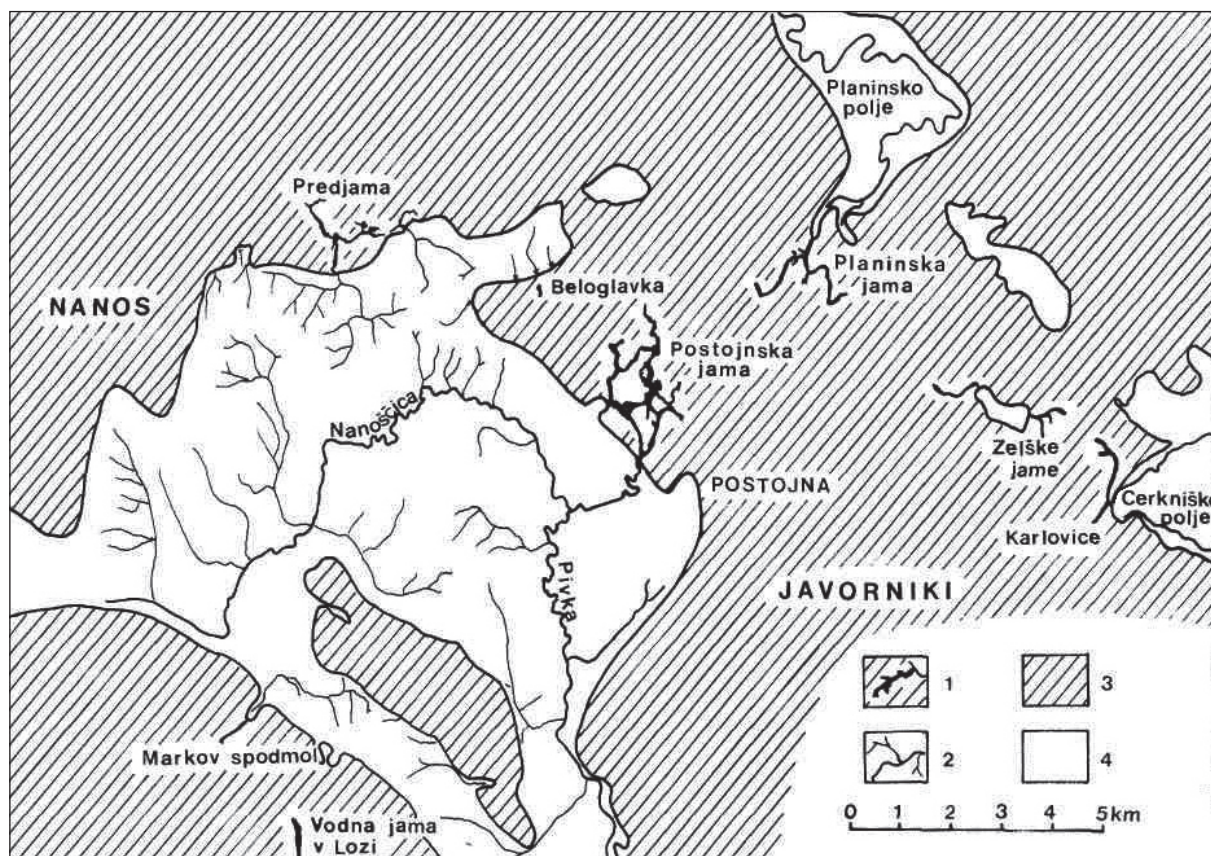
Sledilo je odnašanje naplavin in postopno, počasno poglobljanje rogov v pretočnem sistemu, katerega izviri so skorajda na višini morske gladine. Ker pa so stalni izviri premalo prevodni, se visoke vode pretakajo skozi občasne višje izvire (Osapska jama).

3.2 Speleogenetski pomen skalnega reliefa v izbranih jamah na robu Pivške kotline in v Notranjskem podolju

Na nižjem, pretočnem Notranjskem krasu (sl. 3.2.1) sem v proučevanje vključil jame, v katere se stekajo vode iz flišne Pivške kotline in ponirajo na njenem kraškem robu, jame na pritočni in odtočni strani Cerkniškega jezera ter Planinsko jamo, ki združuje vode Pivke in Raka. Logaška jama je stara jama na Logaškem ravniku. Na SZ, višjem delu Notranjskega podolja, ki je vezan na idrijsko prelomnico, torej ob robu Črnovrškega polja (I. Gams, 1974, 205), pa sem proučil Ciganško jamo pri Predgrizah. Zbrane so jame, skozi katere se pretakajo stalni vodni tokovi s spremenljivo vodno gladino. Pogosto jih sestavljajo višje ležeči suhi rovi. Stare jame (Logaška jama) so s površjem povezane z manjšimi brezni.

3.2.1. Skalni relief in njegov pomen pri proučevanju izbranih jam na robu Pivške kotline

Vode iz flišne Pivške kotline se stekajo na več strani. Večji in manjši tokovi dokaj razpršeno ponikajo v apnec, v katerem se združujejo. I. Gams (1974, 214–216) Pivško kotlino imenuje Postojnsko kraško polje. V njem v celoti vlada kraški odtok. V gornji Pivški kotlini in na obrobju Cerkniškega jezera, v vzhodju Javornikov, so tudi kraški izviri. Po njihovem značaju jih lahko uvrstimo med jame višjega odtočnega krasa. Pivka na V ponika v Postojnski kras. Vanj se stekajo tudi vode s SZ, iz doline



- 1 jame
- 2 površinski vodni tokovi
- 3 apnec
- 4 neprepustna tla: fliš in aluvij

3.2.1 Pivška kotlina in del Notranjskega podolja z izbranimi jamami

pri Studenem. S severnega roba kotline se vode stekajo v Podgoro, ki leži ob vznožju Nanosa in Lokev je pritok Vipave. Višje na robu kotline so pogoste suhe ali z naplavinami zapolnjene votline. Na J vode ponikajo v slepih dolinah na robu Slavenskega krasa in odtekaajo proti Reki.

S. Brodar (1952, 71, 72) je razbral štiri obdobja razvoja površja kotline in jam na njenem obrobju. Glavna erozijska faza se je pričela v mlajšem pliocenu in je trajala do konca pliocena ali pa še v spodnji pleistocen. Prva izrazita akumulacijska faza je bila v starem pleistocenu. Mlajšo erozijsko fazo je pripisal koncu starega, delno že mlajšemu pleistocenu. Zadnja akumulacijska faza je, poleg avtohtonih jamskih sedimentov, v jame prinesla rdeče ilovice in jih odložila tudi v višjih jamskih nadstropjih.

R. Gospodarič (1976, 13, 14) je opisal zmoto I. Rakovca pri opredeljevanju ostankov povodnega konja. I. Rakovec (1954, 310) namreč sklepa, da je v mindel-sko-riški medledeni dobi kotlino prekrivalo jezero. Jezero je povezal s prvo fazo akumulacije po S. Brodarju (1952, 71). Jezero naj bi prekrivalo kotlino tudi v riško würmski medledeni dobi in nato v würmu (I. Rakovec, 1954/55, 271).

I. Gams (1965) je ponore in jame med Postojno in Belskim povezal z ostanki slepih dolin na meji fliša in apnenca.

R. Gospodarič in P. Habič (1966, 28) sta za glavno akumulacijsko teraso, ki je po mnenju S. Brodarja (1952) in I. Rakovca (1954) iz medledene dobe pred risom, ugotovila, da je riška.

R. Gospodarič (1989) je strnil najnovejša dognanja o hidrografskih pojavih in hidrogeoloških značilnostih kamnin v zahodnem delu Pivške kotline.

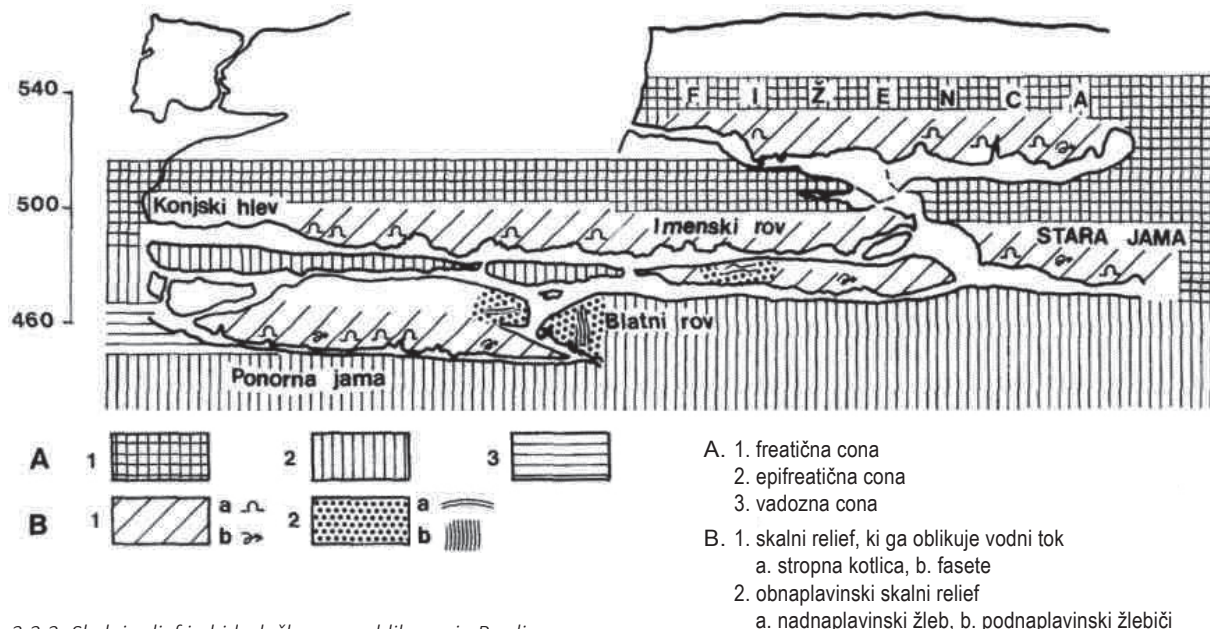
A. Mihevc (1991, MN, 162) je opisal oblike kontaktnega krasa Pivške kotline, njeno geološko zgradbo in hidrološke značilnosti.

Skalni relief Pred jame (17)

O Predjami in gradu nad njo je napisana vrsta člankov. Najbolj natančno pa jo je predstavil in opisal njen razvoj F. Habe (1970). Predstavil jo je tudi I. Gams (1974, 219). S. Šebela (1991) je proučila površinske geološke strukture in njihov vpliv na oblikovanje jame.

F. Habe (1970, 53, 73) sklepa, da so v Fižencu in Erazmov rov na koncu pliocena in v začetku pleistocena tekle vode iz sedanjih dolin Belščice in Osojščice, Šmihelskih in Stranskih ponikev in dela Nanoščice. Skozi Vzhodni rov je tekel močan Belški potok, ko sta se osušila Stara jama in Zahodni rov. Pritok se je jami pridružil zaradi hitrega poglobljanja rovov. Ob poglobitvi vodnega toka v nižje ležeče rove sta se začela oblikovati samostojna potoka Ribnik in Mrzlek in se pridružila Belščici (F. Habe, 1970, 76).

Po skalnem reliefu rovov (si. 3.2.2), ki so različnih nadmorskih višinah, lahko sklepamo na več obdobjih jamskega razvoja. Počasen, freatični vodni tok je pod večjim pritiskom oblikoval Fiženco in Erazmov rov. Zgornje nadstropje Fižence sestavlja več manjših vijugastih rovov. Na to kaže tudi prečni prerez sklepnega dela rova, ki ima obliko osmice. Nekoliko hitrejši vodni tok je nato oblival spodnje dele sten Fižence in vhodni del jame od Konjskega hleva do Stare jame. Večje fasete in stropne kotlice pričajo o srednje hitrem pretakanju vode skozi zalit rov v jamsko notranjost. Vode



3.2.2 Skalni relief in hidrološke cone oblikovanja Predjame

so postopoma oblikovale rove na nižjih nadmorskih višinah. Najstarejše sledi pretakanja vode v Vzhodnem rovu so srednje velike fasete na zgornjih delih sten in kotlice na stropu. Vode so se iz rova s tokom, ki je imel smer današnjih voda, prelivala tudi skozi vezni rov v Severjevo dvorano (fasete). Podorne zapore v Polževi in Črni dvorani in občasne visoke vode so povzročale, da je bil današnji vhodni del jame večkrat poplavljen. Pretok vode po Blatnem rovu navzgor je zapustil večje fasete na stropu rova vse do Črne dvorane. O pogostejših, izdatnih poplavlavah, ko je že bilo oblikovano današnje dno jame, pričajo nadnaplavinske oblike. Jama je bila z naplavinami zapolnjena vse do Imenskega rova, torej ves Blatni rov, rov, ki veže Severjevo dvorano z Vzhodnim rovom in stari rovi srednje etaže. Sedanje vode se pretakajo po najnižji etaži in ob povodnjih deloma zalijejo Blatni rov, po katerem se voda pretaka navzgor in odlaga drobnozrnato naplavino. Nastajajo podnaplavinski žlebiči.

Skalni relief Vzhodnega rova kaže, da je današnje oblikovanje rova posledica delovanja srednje visokega in visokega odprtega toka, ki vrezujeta fasete in draslje ter poglobljata strugo. V Ponorni jami Lokve je skalni relief (fasete, stropne kotlice) oblikovan s hitrejšim epifreatičnim tokom, ki občasno zalije ves rov. Le v vhodnem delu rova so tla struge preoblikovana (majhne fasete) zaradi hitrega, odprtega vodnega toka.

Skalni relief Beloglavke (18)

Jamo na robu flišnega Studenškega zatoka je opisal F. Habe (1976).

Skalni relief kaže, da se je skozi zgornje rove (Podorna dvorana, Blatni rov in Kapniška dvorana), ki imajo precejšen strmec, pretakal vodni tok v zaliti coni. V prostornejših delih votline so fasete večje, v ožinah med njimi pa manjše. Predpostavljam, da so to prvi ponorni rovi. Za vse jame v Bezgovcu na 550–560 metrih nadmorske višine je namreč značilno, da imajo strme padce ob prehodu v notranjost, v apnenec s fliša, ki ga prekriva. 10 metrov pod površjem so se že oblikovali položni rovi (F. Habe, 1976, 205). Sklepamo lahko, da je bila sprva izoblikovana zgornja etaža Podornega rova in Kapniške dvorane, in ko so se ponori z odnašanjem flišnega pokrova prestavljali proti severu, je bila ta etaža še vedno aktivna, ni pa bila več neposredno ponorna. Nadmorska višina rova se ujema z višino rovvov Jame IV, ki je severneje od Beloglavke. Flišni rob se je še naprej pomikal proti severu in izoblikovala se je etaža Blatnega rova, skozi katero se je vodni tok v zalitem rovu pretakal navzgor proti Kapniški dvorani. Bil je hitrejši kot prej v zgornjih delih jame. Nivoje vodnega toka odražajo stenske zajede. Gre verjetno za

paragenetsko povišanje rova. F. Habe (1976, 200) razlaga, da se je voda po Blatnem rovu pretakala navzdol, da je ta rov del začetnega ponornega sistema. Spodnji rovi, ki so se postopoma poglobljali, so bili v času izdatnejših poplav zapolnjeni z drobnozrnato naplavino. Na stropu je nadnaplavinski žleb.

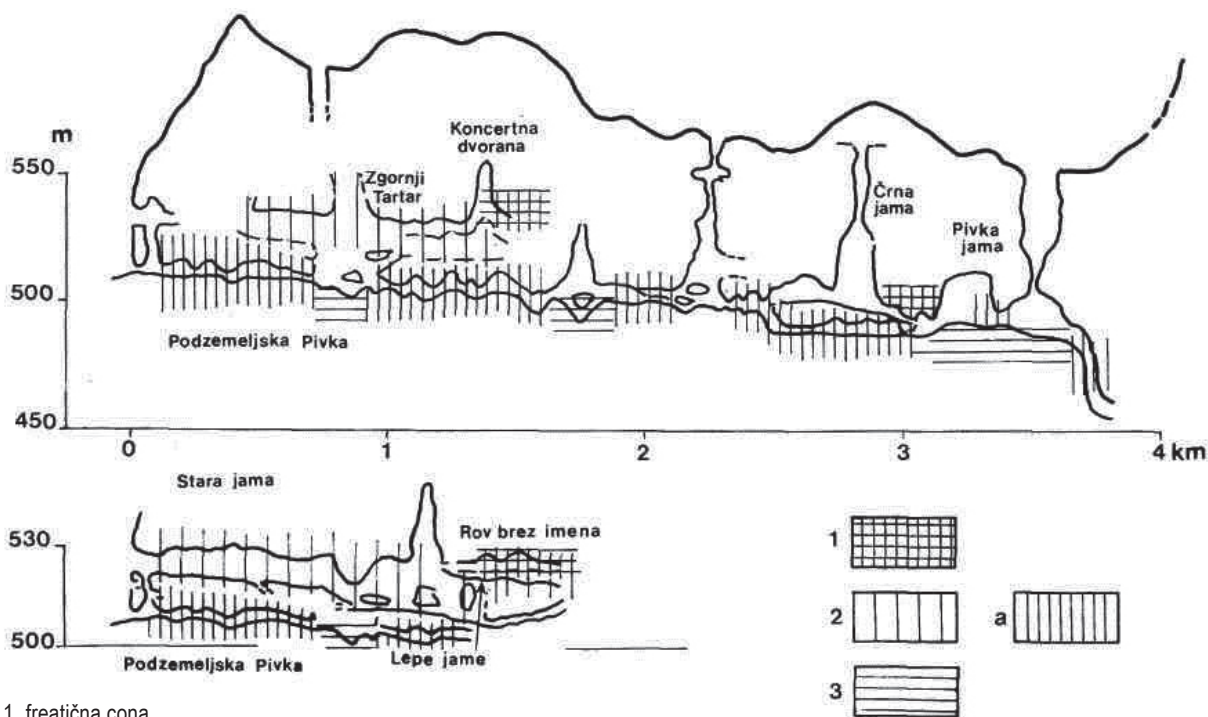
Spodnji, danes ob večjih vodah aktivni rovi so majhni. Dolgi rov, ki ima polkrožni prečni prerez, je ob visokih vodah zalit. Na njegovem obodu so manjše fasete in stropne kotlice. Srednje visoke vode se pretakajo hitreje le po dnu rova. Zaključimo lahko, da se je skozi nekdanje ponore pretakalo precej več vode. Večja količina vode pa je oblikovala večje in globlje rove. Današnje vode še niso dosegle njihovega skalnega dna.

Skalni relief Postojnskih jam (19)

Postojnski jamski sistem sestavljajo jame s samostojnimi vhodi: Podzemeljska Pivka, Lekinka in Pivka jama z vodnimi rovi, Črna jama z občasnim vodnim tokom, Magdalena in Postojnska jama s suhimi rovi.

S. Brodar (1952, 44) prvotni tok Pivke v jami postavlja na nadmorsko višino 538 m. Na tej višini so bili tudi nekdanji ponori Betalovega spodmola. Razpoznal je (1952, 47) horizontalne žlebove, ki so na stenah vhodnega dela jame med 531 in 533 m nadmorske višine. I. Rakovec (1951) je opisal klimo pred würmskim viškom. S. Brodar (1966) je razčlenil že opisana (1952) razvojna obdobja jame. R. Gospodarič in P. Habič (1966) sta opisala odtok iz pivškega bazena v kvartarju na podlagi morfoloških sledi v okolici Postojne. Glavni rovi Postojnske jame naj bi se oblikovali na koncu spodnjega pleistocena. Oblikovanje danes suhih rovvov Postojnske in Otoške jame postavljata pred mindel-riško medledeno dobo (1966, 28). I. Gams (1965) je po razsežnosti in nagnjenosti rovvov spoznal dve poglavitni razvojni obdobji Postojnskih jam. V prvo sodijo rovi na nadmorski višini 537 m in v drugo rovi na 520 m. R. Gospodarič (1969, 43) je razdelil faze oblikovanja jame na osem obdobji: izvotljevanje vodoravnega skalnega rova, naplavljanje proda pred riškowürmskim interglacialom, odlaganje sige, erozija proda, zopet odlaganje sige, poplava do 536 m nadmorske višine in izpiranje naplavine ter odlaganje sige kot najmlajše obdobje. Predstavil je (1976) naplavine in sige v jami ter njihov speleogenetski pomen. Prod pisanega roženca uvršča v srednji kvartar, prod belega roženca v riss, rdečo ilovico v riško-würmski interglacial, poplavno ilovico v zgornji in spodnji würm.

Našteta spoznanja sem skušal dopolniti z rezultati proučevanja skalnega reliefa (sl. 3.2.3). Ta nam nudi le delen vpogled v jamski razvoj. Prvotni obod suhih rovvov je namreč preoblikovan zaradi razpadanja, prekrit



1. freatična cona
2. epifreatična cona s počasnejšim vodnim tokom
 - a. epifreatična cona s hitrejšim vodnim tokom (sedanje oblikovanje)
3. vadozna cona

3.2.3 Hidrološke cone oblikovanja Postojnske jame

je s sigo in naplavinami. Pestro menjavanje obdobij jamskega razvoja v gostem spletu rogov je povzročilo, da so mlajše skalne oblike prekriale starejše. Kratkotrajna razvojna obdobja pa se v skalnem reliefu ne odražajo.

Skalni relief v jamah lahko razdelimo na štiri razvojne enote. Na stropu in zgornjih delih sten Rova brez imena so velike fasete in kotlice na 540–545 m nadmorske višine. Verjetno v obdobje njihovega oblikovanja sodijo tudi stropne kotlice med Veliko goro in Koncertno dvorano (530 m nadmorske višine) ter velike fasete in stropne kotlice v Dvorani s palmo v Pivki jami, ki je na 500 m nadmorske višine. Nižjo nadmorsko višino slednje lahko pripišemo mladi tektoniki, kar je ugotovil tudi P. Habič, (1982 a, 34). Podobne sledi, ki jih je zapustil počasen vodni tok v globlje zaliti coni, so še v majhnem rovu, ki se na 520 metrih priključi Malim jamam, in v majhnih rovih pod stropom (530 m) Spodnjega Tartarja. Omenjene sledi kažejo na njihovo začetno izvotljevanje. Predpostavljam, da so bili naštevi rovi oblikovani pred srednje kvartarno zapolnitvijo s peskom in prodom pisanega roženca, po katerem je R. Gospodarič (1976, 85) sklepal na starejši razvoj Otoške jame in Zgornjega Tartarja. Freatični pogoji oblikovanja rogov so bili povsem drugačni od tistih, v katerih se je odlagal prod. Starost erodirane sige v Pisanem rovu (N. Zupan, 1991, 193) na nadmorski višini 530 m je

datirana v začetek mindla. Hiter vodni tok je erodiral sigo, še preden je odložil prod.

Relief, ki je značilen za občasno zalite rove, skozi katere teče srednje hiter vodni tok, je na spodnjem delu oboda Rova brez imena, v Pisanem rovu in Stari jami. Srednje velike fasete in stropne kotlice dokazujejo pretakanje vode s hitrostjo 0,25 do 0,35 m/s. Te oblike so na višini 520 do 530 m. Lahko obdobje njihovega nastanka postavimo pred zapolnitev s peskom in prodom belega roženca, torej pred riško poledenitev (R. Gospodarič, 1976, 85)?

Še mlajše so sledi hitrejšega epifreatičnega vodnega toka na 510 do 520 m nadmorske višine. Voda se je pretakala iz smeri Podzemeljske Pivke skozi oba Tartarja in začetno zanko v Malih jamah proti Lepim jamam. Na stenah je zapustila majhne fasete. Oblikovanje rogov v tej višini R. Gospodarič (1976, tabela 2) pripisuje obdobju spodnjega in srednjega würma.

Po skalnem reliefu lahko sledimo še enemu, mlajšemu obdobju jamskega razvoja. Redke nadnaplavinske skalne oblike dokazujejo, da so ponornice, teh je bilo verjetno več, poplavljalje tudi zgornje rove do 530 m nadmorske višine. Anastomoze so na robu Koncertne dvorane, v Rovu koalicije in Matjaževem rovu ter prekrivajo starejše sledi vodnih tokov. Jama je bila torej pretežno zapolnjena z drobnozrnato naplavinno. Po-

plavno ilovico R. Gospodarič (1976, tabela 2) uvršča v obdobja würma.

Relief struge Pivke oblikujejo današnje srednje hitre vode v zalitih odsekih ali pa, zlasti na brzicah, hiter, odprt vodni tok.

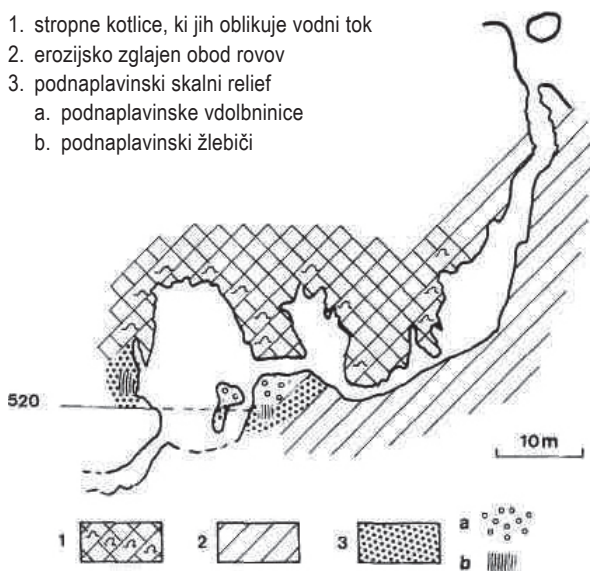
Če strnem: najstarejši vodni tokovi so se v zalitih conah pretakali z JV proti S in SZ in tudi skozi predhodnico Pivke jame. V tem času, ali nekoliko kasneje, se je voda pretakala tudi iz Otoške jame proti V in SV. Ponorov je bilo verjetno več. Mlajši, epifreatični vodni tokovi, ki so se pretakali od J proti S, so oblikovali Staro jamo. Zgornji Tartar se je reaktiviral, ko se je voda od JZ, verjetno iz predhodnice rovov današnje Podzemeljske Pivke, z večjim pritiskom v zaledju, hitro pretakala proti S.

Iz jamskega skalnega reliefa lahko torej razločimo zaporedja najbolj učinkovitih razvojnih obdobj, način pretoka skozi rove in smer vodnih tokov.

Skalni relief Matijeve jame (20)

Jama je estavela (sl. 3.2.4) na robu Palškega jezera, ki je v JZ vznožju Javornikov. Na dnu vhodnega, 30 m globokega brezna je prostornejša dvorana s stalnim sifonskim jezerom. Jezero je ob suši globoko 3 m, nadaljuje pa se s podvodnim rovom. Ob dežju bruha iz jame nad 6 m³ vode v sekundi, ob upadanju vode pa teče vanjo močan tok. Najvišja gladina jezera je na nadmorski višini 556 m, najnižja gladina vode v jami pa na 518 m (P. Habič, 1968, 49). Matijeva jama je le eden kontaktnih izvirov na robu kraških jezer, ki se vrstijo ob južnem vznožju Javornikov, nizke vode pa se pretakajo podzemno mimo Postojne proti Malnom (P. Habič, 1968, 49).

1. stropne kotlice, ki jih oblikuje vodni tok
2. erozijsko zglajen obod rovov
3. podnaplavinski skalni relief
 - a. podnaplavinske vdolbinice
 - b. podnaplavinski žlebiči



3.2.4 Skalni relief v Matijevi jami

Na stropu jame (sl. 2.1.60) so manjše polkroglaste kotlice. Obod kotlic je zaradi nehomogene kamnine drobno hrapav. Tla in položne stene spodnjih delov jame prekrivajo podnaplavinske vdolbinice (sl. 2.2.34). Dno pokončnih, vhodnih rovov (sl. 2.2.37) je erozijsko zglajeno. Spodnji del jame je občasno poplavljen. Visoke vode pa se s precejšnjim pritiskom prelivajo po jami navzgor ter vrtničijo prod in pesek. Skalni relief torej odraža menjavanje občasnih izbruhov vode iz jame in pogostega manjšega nihanja vodne gladine v njenem spodnjem delu.

Skalni relief in njegov speleogenetski pomen v Markovem spodmolu in Vodni jami v Lozi

S severnega flišnega zaledja Sajeveškega polja se površinsko stekajo vode v potoka Sajeveščico in Rakuljščico. Po sovodnji južno od Sajeveč potoka tečeta proti jugu v globoko slepo dolino (sl. 3.2.1), ki je nastala v zgornjekrednih apnencih. Na J in JZ robu polja je več ponorov. Nizke vode ponikajo že v Ponikvah pri Sajevečah, kadar pa voda naraste, teče del nje v Požiralnik pred Markovim spodmolom. Takšen hidrološki režim je deloma tudi posledica umetne struge, ki vodi do ponikev blizu Županovega spodmola. Naredili so jo pred vojno. V Markovem spodmolu so tudi nižji, vodni rovi, ki so na več mestih povezani z zgornjim rovom, zato ga visoke vode deloma poplavijo. Vode izpod Markovega spodmola tečejo skozi Vodno jamo v Lozi (F. Habe, F. Hribar, 1965, 24). V njej je veliko flišnega proda in peska. Tudi v tej jami je danes aktivna spodnja, nepristopna etaža. Voda nato teče skozi estavelo Gabranco v dolini Sušice pri Neverkah, nizka voda pa odteka proti Notranjski Reki. Reko dosežejo sajeveške vode na območju Škocjanskih jam, saj se gladina vodnega toka v njih ujema z gladino odtočnega sifona v Gabrancu (F. Šušteršič, 1972/73, 287).

Najstarejše sledi otekanja vode proti predhodnici današnje Reke na jugu so pliocenske struge na Slavenskem ravniku. Pred tem naj bi bilo področje Sajeveškega polja del povirja Pivške kotline (F. Habe, F. Hribar, 1965, 22, 20). F. Habe in F. Hribar (1965, 24) predpostavljata, da so se jame, ki so prevzele vlogo površinskih odvodnikov proti jugu, oblikovale že v zgornjem pliocenu ali v začetku pleistocena.

Velike fasete in stropne kotlice v zgornji etaži Vodne jame v Lozi so nastale, ko je bila jama del globlje poplavljenega krasa. Skozi jamo se je pretakal počasen vodni tok. Sledilo je poglobljanje jam v nižje ležeče aktivne rove. Zato so ohranjene stare skalne oblike. O postopnem zniževanju vodnega nivoja v jamah pričajo tudi fasete v Kjučavnici v Vodni jami v Lozi. Fasete so manjše in so značilna sled hitrejšega epifreatičnega vodnega toka. Ohranjen je tudi flišni prod, ki prekriva to

etažo. Najstarejše oblike v Markovem spodmolu niso več ohranjene. Na stropu in zgornjih delih sten srednjega rova so srednje velike fasete, ki so nastale, ko se je skozi celo jamo pretakal že hitrejši vodni tok. So tipična sled srednje hitrega toka, ki občasno zalije jamo.

Markov spodmol je bil kasneje v celoti zapolnjen z drobnozrnato naplavino, kar kažejo nadnaplavinske anastomoze.

Današnji vodni tok se pretaka večinoma v spodnjih, pretežno zalitih rovih. Spodnji del oboda zgornjega rova v Markovem spodmolu je s fasetami izrazito preoblikoval hiter, odprt vodni tok. Na skalnih tleh so tudi sledi manjših količin vode, ki se je pretakala iz jezerc v nižje dele jame (talni žlebovi). Visoke vode pa se v Vodni jami v Lozi kažejo le kot poplavne. Te jamo dokaj enakomerno zalijejo in za seboj puščajo le podnaplavinske skalne oblike. V suhih obdobjih se po rovih pretaka potoček, ki teče po stari naplavini.

Razvoj izbranih ponornih jam v Pivški kotlini

Sklepanje o skupnem ali podobnem razvoju posameznih jam na robu Pivške kotline je na podlagi izbranih speleogenetskih kazalcev vprašljivo. Ponuja pa se nekaj zaključkov. Po nadmorskih višinah in skalnem reliefu lahko rove v ponornih jamah razdelimo na tri skupine. Najvišje ohranjeni rovi so nad 530 metri nadmorske višine, le v Vodni jami v Lozi (520 m) in v Pivki jami (500 m) so nižje. Te rove družijo podoben skalni relief, ki izpričuje počasno pretakanje vode v globlje zalitih conah. R. Gospodarič (1976, tabela 2) je njihov nastanek v Postojnskih jamah uvrstil v obdobja pred srednjim kvartarjem. Starejši verjetno niso, saj so stare vodoravne jame, resda v najbolj tektonsko dinamičnem Nanosu, že na višini 1000 m. Te verjetno sodijo začetek kvartarja. F. Habe (1970, 53, 73) postavlja najvišje rove Predjame v prehod med pliocenom in pleistocenom. V istem obdobju naj bi nastale prve votline v Slavenskem krasu.

Ne glede na to, kaj bodo pokazale nadaljnje preiskave, pa lahko trdimo, da se je sprva skozi jame pretakalo več vode, prepustnost krasa pa je bila manjša. Nekoliko hitrejši je bil pretok vode skozi epifreatične rove na nadmorski višini 520 do 530 m. Izjemi sta Predjama, kjer so takšni rovi na višini 490 m, in Markov spodmol z rovom na 550 m nadmorske višine. Sklepam, da se je v tem obdobju oblikovalo samostojno povirje voda, ki se stekajo v Predjamo. Hitreje se je namreč odpiral flišni jez v Vipavski dolini. V Markovem spodmolu lahko sledimo po sestavljenem skalnem reliefu več obdobjem razvoja v istem rovu. Hitrejši padec vodne gladine, ki je povzročil oblikovanje globljih rovov v Markovem spodmolu (500 m) in v Vodni jami v Lozi (480 m), je verjetno povezan s hitrim poglabljanjem Reke v Ško-

cjanskih jamah, katere pritok so vode iz južne Pivške kotline. Znižanje piezometričnega nivoja vode smo postavili v najmlajša obdobja pleistocena. Pri oblikovanju piezometra bo treba natančneje proučiti razmerja med lokalno značilnostjo kamninske osnove, količino vode, količino naplavin, ki so jih vode prinašale v podzemlje, in vzdolžno odprtostjo vodnih poti. Najmlajši nivo rovov je na okoli 500 m nadmorske višine, v notranjosti pa se tako v Pivki jami kot v Vodni jami v Lozi spusti na 480 m. Najnižje pa so današnje vode v Predjami, kjer je ponor Lokve na 462 m, sifon na 427 m in ponor v Vzhodnem rovu na 432 m nadmorske višine. Višinska razlika med zgornjimi in spodnjimi rovi v Predjami je 120 m, v Postojnskih jamah pa 50 m.

3.2.2 Speleogenetski pomen skalnega reliefa izbranih jam Notranjskega podolja

Skalni relief Križne jame, Male Karlovice in Zelških jam

Postopno zakrasevanje je zapustilo več sledi jamskega razvoja v višje ležeči Križni jami (T. Slabe, 1989). Oblikovale so jo vode, ki pritekajo na Cerkniško jezero. Počasen tok v globlje zaliti coni je zapustil velike fasete in stropne kotlice v delih vhodnih rovov, ki so danes suhi. Posledica nižanja nivoja vodnega rova pa so stenske zajede. V rovih, ki jih današnji tok ne doseže več, so nadnaplavinske skalne oblike. Danes jamo poglablja dokaj hiter vodni tok in občasne visoke vode v manjših rovih vrezujejo majhne fasete, v zatišju prostornejših rovov pa odlagajo drobnozrnato naplavino. Nastajajo podnaplavinski žlebiči in vdolbinice.

Razmeroma hitro preoblikovanje skalnega reliefa se odraža v pestrem razvoju Malih Karlovic in Zelških jam. Raznovrstni razvoj jam izpričujejo naplavine in siga, skalni relief pa je skladen z zadnjim obdobjem jamskega razvoja. Visoke vode, ki občasno poplavijo Male Karlovice do višine 550 m, torej, razen v podornih dvoranah, vse do stropa, so preoblikovale sledi starejšega jamskega razvoja. Pretok vode skozi rove je srednje hiter, v ožinah seveda nekoliko hitrejši, s čimer se sklada razporeditev različno velikih faset. Voda erodira skalni obod, sigo in naplavine, ki prekrivajo tla ponekod več metrov na debelo. Sedanji tok še ni povsod dosegel prvotnega skalnega dna rovov.

Podobno so preoblikovane Zelške jame. Vodni tok v njih se že zajeda v skalno dno na višini 505 m, občasne vode pa dosežejo Blatni rov na višini 515 m. Počasen vodni tok, ki se je pretakal v Blatnem rovu, je zapustil

večje fasete in stropne kotlice. Gre za značilen občasno poplavljen rov. Danes najvišje vode dosegajo le spodnji del rova. Skalni relief se oblikuje pod drobnorzno naplavino, ki jo odlagajo odtekajoče vode. Voda, ki je iz poplavljenega rova odtekala skozi majhne rove navzdol, je vrezala majhne fasete. Torej je bil v času zadnjega izrazitega oblikovanja zgornjih rovov že oblikovan nižje ležeč vodni rov. V končnem delu Vodnega rova so na zgornjih delih rova nekoliko večje fasete, kot tiste v višini današnjega vodnega toka. Rov je bil namreč poplavljen v celoti, pretok skozenj pa je bil zato nekoliko počasnejši.

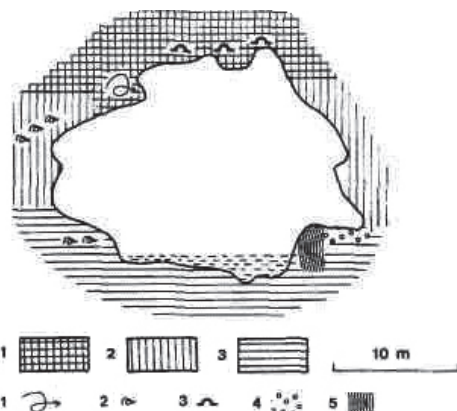
R. Gospodarič (1970, 138) je po naplavinah v jamah ugotavljal, da je bila izrazita zapolnitev jam v bližini Cerkniškega polja, v Karlovcih do 550 m in Zelških jamah do 525 m visoko, najbolj pomemben speleogenetski proces. Povzročila je, da so vode začele preoblikovati prvotne rove, ki so bili v Karlovcih na 548 metrih in v Zelških jamah na 520 m nadmorske višine. Na takšen razvoj lahko sklepamo tudi po skalnem reliefu. Zadenjska erozija, ki se iz Rakove doline zajeda proti Cerkniškemu polju, omogoča odnašanje naplavin iz jam, kar se izraziteje, tudi z znaki poglobljanja rovov, pozna v Zelških jamah. Tektonsko razčlenjevanje podolja in oblikovanje piezometričnega vodnega nivoja z odlaganjem naplavin in vrezovanjem vodnega toka v skalno dno rovov je omogočilo postopen razvoj Križne jame. Mlajši procesi v Cerkniškem jamskem sistemu so se vrstili na približno enaki nadmorski višini. Dostopni skalni relief Male Karlovice in Zelških jam sestavljajo oblike, ki so sledi najmlajših razvojnih obdobij.

Skalni relief Planinske jame (27)

R. Gospodarič (1974 a) je proučil prod v jami. Njegov najbližji vir je Planinska koliševka. Alohtone naplavine je ponornica prenašala iz Pivške kotline. Ugotovil je, da je speleogeneza podzemlja med Pivško kotlino in Planinskim poljem močno povezana z raznovrstno sedimentacijo naplavin (1974a 180). O proučevanju teh poročila dve leti kasneje (R. Gospodarič, 1976). Opredelil je več erozijskih in akumulacijskih obdobij razvoja, ki pa jih iz skalnega reliefa Rakovega rokava ni moč razbrati. Prvo erozijsko obdobje povezuje s prodom pisanega roženca, ki ga je prenašala voda s hitrostjo 2 m/s, v drugem obdobju pa je voda s hitrostjo 3 m/s prenašala prod belega roženca. V spodnjem würmu so bili rovi zapolnjeni s pasovito ilovico. Poplavna ilovica je bila odložena tudi v zgornjem würmu. Za holocen je značilno izpiranje naplavin, posedanje tal, podiranje kapnikov in odlaganje sige (R. Gospodarič, 1976, 112). J. Kogovšek (1982) je proučila hidrodinamiko prenikanja vode v jamo in njeno korozijsko učinkovitost.

Skalni relief Rakovega rokava nam razkrije dve razvojni obdobji. Prvo je obdobje počasnega pretakanja vodnega toka v vzdolžno in prečno vijugastem ter zalitem rovu, ki je na posameznih odsekih dosegal nadmorsko višino 480 m. Ostanki takšnega pretakanja vode so velike fasete in stropne kotlice v višjih delih rova, ki jih današnje visoke vode ne dosegajo. Sledilo je obdobje erozijskega vrezovanja, verjetno z odprtim vodnim tokom, ki je izravnaval in poglobljal rov. Tudi danes smo pričča erozijskemu vrezovanju reke, ki še ni dosegla skalnega dna iz dobe pred zapolnitvijo s starejšo pasovito ilovico (R. Gospodarič, 1976, 68). Voda, ki je to naplavino izpirala iz jame, se je pogosto pretakala počasi in zastajala na podorih. Stene je prekrila z mangano prevleko. Današnji največji pretoki dosegajo v začetnih rovih, ki imajo manjše prečne prereze, hitrosti 2–3 m/s. Vodni tok zato vrezuje majhne fasete.

Tudi v Pivškem rokavu lahko iz skalnega reliefa razčlenimo več razvojnih obdobij (sl. 3.2.5.). Počasnejši vodni tok je v višjih delih rovov zapustil stropne kotlice in velike fasete. Preko njih je ponekod nalepljen prod. Izravnavanje in poglobljanje rova je povzročil hitri vodni tok z večjim strmcem. Rov se je poglobil hitro, saj so se ohranile stare skalne oblike. Mlajše, postopno poglobljanje rova in občasni počasnejši pretok višjih voda v širših delih rova dokazujejo srednje velike fasete na stenah nad srednje visoko vodo Pivke, ki pri petem mostu že vrezuje korito v skalno dno. Hiter tok, ki vrezuje majhne fasete, tudi danes oblikuje strugo. O zapolnitvi jame z drobnorzno naplavino pričajo mlajše nadnaplavinske oblike, ki so ohranjene v višjih suhih rovih. Poplavno ilovico R. Gospodarič (1976, 112) postavlja v zgornji würm.



- | | |
|----------------------|------------------------------------|
| A 1. freatična cona | B 1. velike fasete |
| 2. epifreatična cona | 2. srednje velike in majhne fasete |
| 3. vadozna cona | 3. stropne kotlice |
| | 4. podnaplavinske vdolbinice |
| | 5. podnaplavinski žlebiči |

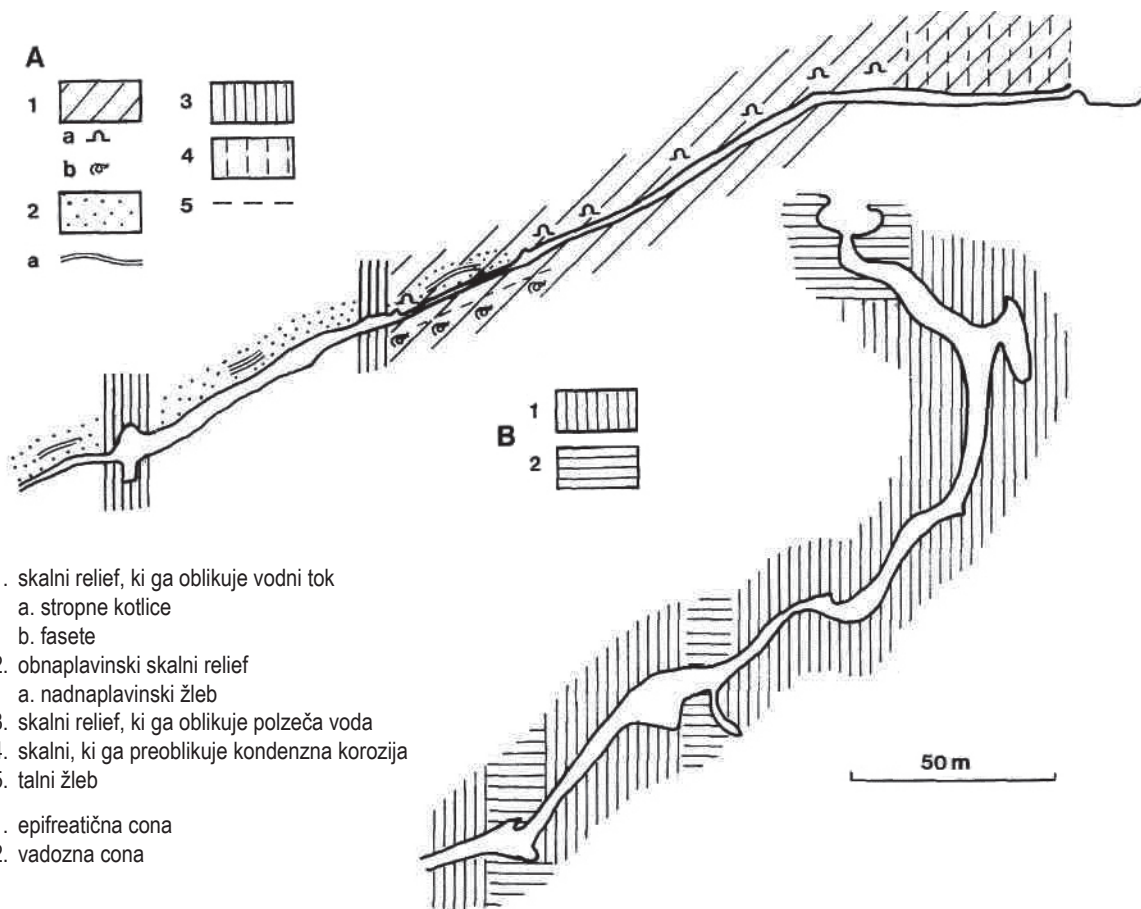
3.2.5 Prerez Pivškega rokava v Planinski jami (pri Golgoti) in hidrološke cone oblikovanja skalnega reliefa

R. Gospodarič (1976, 65) predpostavlja, da je Pivka sprva tekla skozi Rakov rokav v Planinski jami in nekdanjo pot proti Malnom je kasneje izkoristil Javorniški tok. Skalne oblike nam resda izkazujejo podobna razvojna obdobja v zgornjih rovih Postojnskih jam ter v zgornjem delu Pivškega in Rakovega rokava v Planinski jami. V obeh je najstarejše sledi jamskega razvoja zapustil počasen vodni tok. Glede na Gospodaričevo (1981, 106) časovno opredelitev razvojnih obdobij jamskega sistema po naplavinah in sigi bi lahko sklepali, da so bili ti rovi oblikovani pred izrazitim erozijskim delovanjem reke in preden je bil v mindlu odložen prod pisanega roženca. Povežemo lahko tudi nastanek sledi hitrejšega epifreatičnega pretoka vode skozi jami. To so stenske zajede, ki kažejo na poglobljanje rovov Planinske jame, manjše in srednje velike fasete ter stropne kotlice v višje ležečih (520–530 m nadmorske višine) rovih Postojnskih jam.

Skalni relief Ciganske jame pri Predgrizah (28)

Po vsej jami se prepletajo starejše sledi pretakanja vode v zaliti coni ter razpršenega navpičnega penikanja

in polzenja vode, ki traja še danes (sl. 3.2.6). Slednji proces je manj učinkovit, saj so se dobro ohranile sledi nekdanjega razvoja jame. Na tleh ožjega dela rova, ki ima okrogel prečni prerez, so ohranjene fasete, stropne kotlice pa so skorajda po vsej jami. Fasete so nastale v zaliti coni, saj bi odprt pretok v rovu s precejšnjim strmecem vrezal manjše. Hiter pretok je značilnost ožin v rovih. V prostornejših delih jame, pa tudi ob razpokah v ozkem rovu, so nastale stropne kotlice. Poplavne vode so jama kasneje zapolnile z drobnozrnato naplavinno, nad katero se je po nadnaplavinskih žlebovih pretakala manjša količina vode. Vodni tok, ki je naplavino odnesel iz jame, je deloma preoblikoval tudi stropni žleb. Zaradi znižanja gladine talne vode se voda skozi stare rove pretaka le še navpično. Vrezuje brezna in meandre. Prehod med obdobjema je bil postopen, saj je v talnih vdolbinicah, ki so nastale zaradi kapljanja vode s stropa, ponekod še ohranjena drobnozrnata naplavina, ki so jo odložile občasne poplavne vode. Te so jama zalivale od spodaj navzgor. Je naplavino v vdolbinice prinesla prenikajoča voda? Danes vhodne dele jame preoblikuje tudi šibka kondenzna korozija.



- A
1. skalni relief, ki ga oblikuje vodni tok
 - a. stropne kotlice
 - b. fasete
 2. obnaplavinski skalni relief
 - a. nadnaplavinski žleb
 3. skalni relief, ki ga oblikuje polzeča voda
 4. skalni, ki ga preoblikuje kondenzna korozija
 5. talni žleb
- B
1. epifreatična cona
 2. vadozna cona

3.2.6 Skalni relief in hidrološke cone njegovega oblikovanja v Ciganski jami

Skalni relief Logaške jame (29)

Južno od stare ceste, ki vodi od Logatca proti Vrhniku, je pod Velikim hribom Logaška jama. Pod 35 m globokim vhodnim breznom poteka rov proti S in J. Osrednji del rova, ki je širok okoli 5 m in 5–10 m visok, ima polkrožen strop. Takšen je tudi del južnega rova, severni krak pa se zaključuje z manjšo dvorano, iz katere vodi ob razpoki majhen rov. Del jame je podorno preoblikovan in zasigan, na tleh pa je zlasti na koncu severnega rova precej drobnozrnate naplavine.

Velike fasete in stropne kotlice pričajo, da se je skozi osrednji rov, ki je bil zalit, pretakal počasen vodni tok. Manjše fasete na spodnjem delu sten istega rova pa so sledi hitrejšega vodnega toka. Gre za odprti vodni tok. Če bi vodni tok zalival ves rov, bi preoblikoval tudi zgornji del skalnega oboda. Za najmlajše lahko do-

ločimo obdobje poplavnega zalivanja spodnje dvorane, kjer je voda odlagala tudi drobnozrnato naplavino. Nastali so podnaplavinski žlebiči. Tudi I. Gams (1964, 15) ugotavlja, da je voda iz tega dela jame odtekala skozi korozijsko špranjo že po obdobju glavne akumulacije. Vhodno brezno so razširile polzeče vode. Njegove stene prekrivajo žlebiči. Agresivna voda je strop osrednjega rova razčlenila v kamine in verjetno je preoblikovala stropne kotlice (sl. 2.3.10), ki so nastale ob razpokah.

Logaško jamo lahko prisodimo nekdanjemu porečju Ljubljani in zakrasevanje grezanju Ljubljanskega barja. Časovnih kazalcev jamskega razvoja nimam. Če sklepam po jamah istega porečja, lahko predpostavim, da se je skozi zalito jamo pretakal počasen tok v začetku kvartarja. Hitrejši tok pa je jamo oblival v srednjih obdobjih pleistocena, vse dokler niso poplave le še občasno pridrle iz nižje oblikovanih rovov.

3.3 Pomen skalnega reliefa pri proučevanju izbranih dolenskih jam

3.3.1 Speleogenetski pomen skalnega reliefa v izbranih ponornih in izvirnih jamah na robu Ribniške Male gore

Na krasu visoke Dolenjske je v dinarski smeri podolgovata Mala gora. Na JZ strani jo obdaja Ribniško polje, na SV pa Dobropolje, ki je 300 do 500 m pod njenim vrhom. Gora je dolga 24 km in 3 do 4 km široka, doseže pa višino 964 m. Hidrološko lahko to območje razdelimo na pretočni kras, ki je prevladujoč, in na enostavni odtočni kras, za katerega so značilna brezna z navpičnim odtekanjem voda s površja. Vode, ki se stekajo z neprepustnih permskih in triadnih kamnin in tečejo tudi po aluvialni naplavini Ribniškega polja, na koncu 15 stalnih ali občasnih ponikalnic ponikajo v mezozojski apnenec. Za takšen stik je značilno veliko število manjših ponorov. Vode se v apnencu strnejo v večje tokove in na robu Dobropolja izvirajo v jamah, ki pa jih je manj kot ponorov (A. Kranjc, 1981, 76). Izviri so stalni ali občasni. Njihova nizka vodna gladina je 7 m pod aluvialno površino, ki prekriva polje (A. Kranjc, 1981, 55). Dostopni so večinoma le rovi, skozi katere se pretakajo visoke vode na površje. Tudi v preteklosti je skozi Malo goro prevladoval pretočni hidrološki režim, o čemer pričajo stare, položne suhe jame, ki jih je A. Kranjc (1981, 72) razvrstil v štiri višinske nivoje med

590 in 690 metri nadmorske višine. Vode iz Finkove jame 2 tečejo v Podpeško jamo, iz Tentere v Kompoljsko jamo in iz Griške v Potiskavško jamo (A. Kranjc, 1981, 58). Izbral sem ponore Tentero, Griško in Finkovo jamo 2 (Podstensko jamo), med izvirnimi jamami pa Kompoljsko (Dolenjo) in Podpeško jamo.

Ponorne in izvorne jame pod Ribniško Malo goro je pregledno predstavil A. Kranjc (1981). Opisal je tudi oblikovanost rovov (1981, 74), sedimente v njih (1981, 76) in naredil poskus kronologije podzemeljskega zakrasevanja (1981, 77, 78). A. Kranjc (1981, 77) predpostavlja, da so današnje vodne jame nastale v mlajšem pleistocenu in imajo eno samo razvojno fazo pred würmsko zapolnitvijo. Najbolj raziskana je Podpeška jama. I. Gams (1956/57) in M. Aljančič (1960/61) sta predstavila hidrološka, meteorološka ter biospeleološka raziskovanja na speleološki postaji v Podpeški jami. I. Gams (1959, a) poroča o izpostavitvi ploščic različne kamnine vodnemu toku in tolmu. Dve leti kasneje je opisal (I. Gams, 1961) razliko med erozijskim in korozijskim prečnim profilom v jami. Valvasorjev načrt jame je eden najstarejših jamskih načrtov, piše A. Kranjc (1976/77). A. Lajovic (1985) in A. Grm (1989) opišeta nove jamarske raziskave v Podpeški jami. Slepo dolino pred Finkovim je opisal A. Mihevc (1991, 48). Predstavil je tudi Podstensko jamo (1991, MN, 55). Razbral je (1991, 56) tri obdobja razvoja ponora Tržiščice (Tentera). Prvo je obdobje močnega vtoka vode v kras, nato se

je obnovil površinski pretok. Sedaj voda spira naplavino v podzemlje in pogloblja se struga ponornice.

Sledi nekdanjega oblikovanja votlin so skorajda povsod odstranjene. Ostali so le prod, ki je prilepljen na stene Griške jame, naplavine pred ponori in za izviri, ter stare sige. Delna izjema je Finkova jama 2. V njej so na koncu Vhodnega rova, ki je deloma zapolnjen z drobnozrnato naplavino in preoblikovan zaradi razpadanja kamnine, na stropu, pred priključitvijo Vodnemu rovu, kotlice. Te kažejo na pretok vode skozi zalit rovu. Podobno je oblikovan tudi strop v Vodnem rovu, le tega pa visoke vode še dosežejo. Gre torej za postopno poglobljanje rovvov z vodnim tokom. Sledi začetnega oblikovanja rovvov so ohranjene v Tenteri, ki je začela nastajati kot splet medskladovnih anastomoz v zaliti coni. Izbrani, sprva majhni kanali so se oblikovali v rove. Porušene sklade stropa s kanali so vodam uspelo odnesti le v glavnem rovu, ohranili pa so se v stranskih rovih.

V ostalih izbranih jamah lahko opazujemo le sledi današnjega oblikovanja zaradi različnega pretoka vode. Za vodne jame pod Malo goro je značilno znatno nihanje vodne gladine. Srednje in visoke vode, ki so nenasičene in tečejo z večjimi hitrostmi ter prenašajo kremenčev prod in pesek, učinkovito oblikujejo skalni relief. Hitri vodni tokovi, ki dosegajo hitrost 2 m/s, vrezujejo na stenah majhne fasete (primer vhodnega rova Tentere je predstavljen v poglavju o fasetah), na tleh draslje (Podpeška jama), če zalijejo cel rovu, tudi stropne kotlice (Podpeška in Kompoljska jama). Ob najvišjih vodah, ko je pritisk v zaledju izvernih jam največji in voda zato bruha na dan, pa voda poplavi tudi višje ležeče rove v ponornih jamah. Pretok vode v njih je zaradi premajhne prepustnosti rovvov počasen (Griška jama). Ob nižanju vodne gladine v ponornih in izvernih jamah (Kompoljska jama) voda odlaga drobnozrnato naplavino. Nastajajo podnaplavinske vdolbinice in žlebiči. Najnižje vode se, razen na delih z velikim strmcmem, pretakajo počasneje. V epifreatičnih rovih preoblikujejo le skalno dno struge (Podpeška jama). Oblikujejo tudi nižje ležeče rove, ki so zaliti in nedostopni. Nizke vode Tržiščice ponikajo že pred ponorom.

Za obdobja poglobljanja jam, kakršno je tudi današnje, je torej značilno, da se oblikujejo najbolj prevodni epifreatični rovi, pod njimi pa splet manjših rovvov, ki so zaliti. Slednji, nižje ležeči vodni rovi, imajo verjetno značilnosti medskladovnih anastomoz, kot je to v Tenteri, ali pa so spleti vijugastih majhnih rovvov nastali ob razpokah. Z nižanjem piezometričnega vodnega nivoja se najbolj prevodni kanali preoblikujejo v rove. O takšnem zakrasevanju pretočne kraške regije pričajo tudi odseki starih jam, ki so ohranjeni višje v Mali gori. Pretočne jame so začele nastajati ob relativnem dvigo-

vanju Male gore, kar je posledica tektonskega dvigovanja slemena in erozijskega poglobljanja neprepustne okolice, in sicer konec pliocena ali na začetku pleistocena (A. Kranjc, 1981, 78, 79). V hladnih obdobjih pleistocena so vode zapolnjevale jame z naplavinami, ki so zlasti v višje ležečih rovih tudi ohranjene. Nadnaplavinski žlebovi so ohranjeni v Lubeževi jami (A. Kranjc, 1981, 74) in nadnaplavinske anastomoze v Potiskavški jami. V ostalih aktivnih jamah so morebitne tovrstne sledi preoblikovali vodni tokovi. Skratka, v večini jam se ohranja skalni relief, ki je značilen za epifreatične rove. Sledi začetnih globlje zalitih rovvov se ohranijo le ob skokoviti spremembi piezometričnega vodnega nivoja ali pretočitvi voda.

3.3.2 Speleogenetski pomen skalnega reliefa v Brlogu na Rimskem in v Jami v Peklu – jamah v južnem Ribniško-kočevskem podolju

Ribniško-Kočevsko podolje, ki ga sestavljata istoimenski polji, je nastalo ob mišjedolsko-želimeljski prelomni coni (P. Habič, 1991, 159). To je nižji svet, ki dosega večinoma 500 m nadmorske višine, 100 do 200 metri višjimi vmesnimi vzpetinami. Na vzhodu ga obroblyata Kočevska Mala gora in Poljanska gora, na zahodu pa Goteniška gora. JV od Kočevja je razčlenjeno ozemlje sestavljeno iz gosto prepletenih apnencev, dolomitov in permskih klastitov. Takšna kamninska podlaga določa razmestitev površinskih vodnih tokov in pretočnih jam, ki so nastale v apnencu (Brlog na Rimskem) ali dolomitu (Jama v Peklu). A. Mihevc (1991, MN, 174) je opisal kraške pojave na obrobju Šibja. V Brlogu na Rimskem je ločil (1991, MN, 186) tri morfogogenetske tipe rovvov: vhodne dvorane v dolomitu, paragenetsko preoblikovane rove in manjši rovu, katerega eliptični zgornji del prečnega prereza se pogloblja v ozek meander.

Po skalnem reliefu lahko Brlog na Rimskem razdelimo na dve enoti. Skozi zahodni del jame se je pretakal počaseni vodni tok v zaliti coni in nastale so plitke in velike stropne kotlice. Hitrejši vodni tok je rovu nato poglobil. Nastal je tudi nižje ležeč ponorni rovu. Stenske zajede izpričujejo nivo, na katerem se je pretakal vodni tok. Fasete na njih so nastale zaradi hitrejšega toka nad prodom. Nižje dele rova je hiter tok zalival v celoti. Kasneje je bil v osrednjem delu rova prodni nasip večinoma odstranjen. Mlajše, izrazito obdobje razvoja jame je zapustilo sledi pretakanja vode nad drobnozrnato naplavino, ki je zapolnjevala večino jame. Razvoj stropnih nadnaplavinskih anastomoz in žlebov je bil razmeroma dolgotrajen, na kar kaže zlasti zrelo razvi-

ta nadstropna anastomozna mreža v Havajih. Danes se skozi zahodni del jame pretaka manjši vodni tok, ki je poglobil elipsast prečni prerez prvotnega rova v ozek in globok meander.

Tudi v Jami v Peklu beležimo več obdobij razvoja. Skalni relief pa sestavljajo le oblike, ki lahko nastanejo v dolomitu. To so predvsem večje stenske zajede, ki izpričujejo nivo pretakanja vode skozi rov. Ni pa mogoče ugotoviti, ali so posledica poglobljanja rova ali njegovega preoblikovanja zaradi pretakanja vode nad prodom, ki je deloma še ohranjen ob spodnjih delih jamskih sten. Predvidevamo lahko, da je prod zapolnjeval večino rova. Gornje vprašanje bi nam lahko pomagale razložiti fasete, ki so posledica hitrejših vodnih tokov, le-te pa so na dolomitu redke. Tudi v tej jami so ohranjene le na odsekih homogenega, drobnozrnatega dolomita. Kaže, da je bil pretok vode skozi jamo, ko je voda odlagala in kasneje odnašala prod, hitrejši kot tisti, ki je vrezal manjše mreže srednje velikih faset. Te so verjetno sled današnjih višjih voda. Nižje vode namreč tečejo le po produ.

Nižanje neprepustnega jezua okoli apnenca in dolomita, v katerih je Brlog na Rinskem, ki se je sprva

oblikoval kot splet globlje zalitih rogov, je jamo odprlo hitrejšim epifreatičnim in vadoznim vodnim tokom. Ti so oblikovali nižje ležeče rove in jih v hladnih glacialnih klimatskih obdobjih zapolnjevali s prodom. Datacij razvojnih obdobj, ki jih izkazuje skalni relief, nimam. Zapolnitev rogov s poplavno ilovico je mlajša od oblikovanja rogov s hitrimi vodnimi tokovi, ki so se pretakali po prodnem nanosu in v Brlogu na Rinskem vrezovali stenske zajede s fasetami. Sušnejša obdobja razvoja nam bi lahko odkrila siga, ki je v strugi Jame v Peklu, za katero pa ne morem trditi, ali je nastala pred ali za prodnimi zapolnitvami rogov. Tudi zadnja obdobja jamskega oblikovanja (ozke meandraste poglobitve rogov), zlasti v Brlogu na Rinskem, pričajo o hitrem odpiranju neprepustnega jezua okoli apnenca, v katerem je jama. Iz Jame v Peklu voda odnaša prod in se ponekod že vrezuje v skalno dno rogov. A. Kranjc (1981, 80) ugotavlja, da se Ribniško in Kočevsko polje ugrezata. To po skalnem reliefu ni moč sklepati. Kaže, da sta bili erozijsko vrezovanje površinskih vodnih tokov v neprepustne kamnine in relativno višanje karbonatnih blokov med njimi hitrejši od tektonskega členjenja tega delno fluvialnega kraškega področja.

3.4 Pomen skalnega reliefa pri proučevanju razvoja izbranih jam na Nanosu, Trnovskem gozdu in Banjški planoti ter v Logaških Rovtah

Območje visokih dinarskih planot Notranjske, ki dosega višine do 1800 metrov (P. Habič, 1975, 81), je večinoma enostavno odtočno kraško območje. Redkeje je sestavljeno odtočno in pretočno, kar je značilnost njegovega vzhodnega dela (Logaške Rovte). Vode, ki razpršeno, navpično prenikajo skozi poraslo površje, se razlivajo na vse strani. Združujejo se v izviri na robu nižjih dolin ali kraških polj, ki poleg območij manj prepustnih tal predstavljajo višine prelivov in uravnavaajo globino podzemne vode. Geološka zgradba, prelomljenost v dinarski in alpski smeri, razpokanost in nagnjenost skladov so poleg velike razčlenjenosti površja, ki omogoča odtok vode na vse strani, odločilni dejavniki usmerjanja podzemeljskih voda. Vodne režime neposredno uravnavaajo padavine, ki hitro vplivajo na pretoke v izviri (P. Habič, 1982, 14).

Posledica takšnega podzemeljskega pretakanja vode v odtočnem krasu so tudi značilne kraške votline. Teoretski tip je jamski sistem z vhodnimi brezni, s stopničasto razvrščenimi brezni in vmesnimi visečimi vodnimi tokovi v meandrastih rovih, v osrednjem delu, s

položnimi rovi pred izviro in z globljim izviro, ki je sifonski. Nam pa so doslej dostopni naslednji tipi jam: 1. enostavna brezna različnih velikosti; 2. večji sistemi globokih brezen, ki so nastali na stiku s tanjšimi plastmi fliša ali z dolomitom, pa tudi ob nekdanjih ledenikih in snežiščih (P. Habič, 1982, 15); 3. ponori, ki so nastali na stiku z neprepustnimi kamninami; 4. dolinski izviri, ki so sifonski, izjemi sta le Veliki Hubelj, ki je preliv viseče vode nad Ajdovščino, in Smoganica na neprepustnih kamninah pod Banjšicami; 5. poligegetske jame, ki so stare, vodoravne ali položne jame na različnih nadmorskih višinah in so prepletene z brezni ali meandri. Poseben mikroklimatski tip so ledenice.

Tako kot za večino jam na nadmorski višini okoli 1000 m je tudi za višje ležeče izbrane jame: Veliko ledenico v Paradani, Ledenico na Dolu na Trnovskem gozdu ter Volčjo jamo na Nanosu značilno današnje prevladujoče navpično pretakanje večinoma korozijsko agresivne vode. Že sama oblika jam s položnimi rovi pa priča o nastanku v povsem drugačnem okolju, kot je današnje. S tektonskim dvigovanjem ozemlja se je oči-

tno spremenila erozijska baza in jame se le počasi preoblikujejo zaradi navpičnega pretakanja vode in razpadanja skalnega oboda. Vdori mrzlega zraka, ki se useda pozimi v jamo, povzročijo zmrzovanje vode in vlage. Led se ponekod obdrži preko celega leta. Nadnaplavinске oblike so pogosto edine sledi starejšega oblikovanja jam. Ponorna Bazinova jama pri Podlaških topolih, ki je na vrhu Banjšic, je nastala ob stiku s flišem. Izvirne jame pa so praviloma mladih oblik, torej skladne z današnjim občasnim hitrim pretokom vode skozi nje. Takšne jame so Babja jama v dolini Soče pod Banjšicami, Veliki Hubelj, ki je visokovodni preliv v Vipavski dolini pod Trnovskim gozdom, Suhadolica na robu Cerkniškega jezera in Matijeva jama na robu Palškega jezera v dolini Pivke pod Javorniki. Pobočni izvir Smoganica je nastal ob neprepustni podlagi peščenjaka in je oblikovan v konglomeratu. Bazinova jama pri Podlaških topolih ima del rovov v breči.

Značilnosti jam na Trnovskem gozdu je predstavil P. Habič (1974). Skalni relief v Volčji jami in Ledenici na Dolu je predstavljen v Krasoslovnem zborniku (T. Slabe, 1990, 165). Veliko ledenico v Paradani sta opisala A. Mihevc in I. Gams (1979), o obliki brezen v njej je pisal A. Mihevc (1990). N. Zupan in A. Mihevc (1988) sta ugotavljala izvor naplavine v jami. Hidrološke in morfološke značilnosti izvira Velikega Hublja so opisali P. Habič in R. Gospodarič (1966) ter J. Čar in P. Habič (1987). Naplavino v Babji jami je proučeval A. Kranjc (1982; 1989). Ugotavljal je tudi, da so prodniki v delu jame korozijsko razjedeni (A. Kranjc, 1985).

Starejše sledi oblikovanja jam lahko razberemo iz skalnega oboda poligenetskih jam: Volčje jame, Ledenice na Dolu in Velike ledenice v Paradani. To so jame na nadmorski višini okoli 1000 m. Njihove zgornje dele sestavljajo položni rovi. Skozi Volčjo jamo se je sprva pretakal počasen vodni tok in rovi so bili zaliti. Zaradi upadanja gladine podzemne vode so bili sčasoma zaliti le še njeni spodnji deli, nato je bila zapolnjena z drobnozrnato naplavino (T. Slabe, 1990, 173). Naplavina se je v jami ohranila dlje časa. Le počasi jo je iz rovov izpirala voda, ki je prenikala skozi strop. O podobnem razvoju lahko sklepamo tudi po skalnih sledih v Veliki ledenici v Paradani. V Ledenici na Dolu so le sledi pretakanja vode ob drobnozrnati naplavini (T. Slabe, 1990, 185). V Volčji jami in Veliki Ledenici v Paradani je bil obod ob stiku z naplavino razjeden v kotlice in drobno razčlenjen. Tako zalita cona kot poplavna zapolnitev jame z naplavino sta značilnosti oblikovanja nižinskega kraškega območja. Naplavine, ki so zapolnjevale Volčjo jamo in Veliko ledenico v Paradani, so nastajale zaradi preperevanja v toplih klimatskih obdobjih. Peščenjak v Veliki ledenici v Paradani je sprijet sediment, ki ima poleg mineralov, ki izvirajo iz kamnin

okrog jame, tudi zrna kremenca, ki so zaobljena in kažejo na alohtono, eolsko ali fluvialno poreklo. Nezaobljena zrna kremenca pa so verjetno iz matične kamnine (N. Zupan, 1990, 35). Tudi v Volčji jami je bil klastični sediment prinesen z vodo, nato pa je bil podvržen diagenezi (N. Zupan, 1990, 18). So bili rovi, ki so v različnih jamah na podobni nadmorski višini, zapolnjeni v istem obdobju ali pa so zapolnitve lokalne? Ob prvi predpostavki bi lahko sklepali, da je posledica ostankov neprepustnega pliocenskega pokrova, ki so ga prepredali površinski tokovi (P. Habič, 1970, 129). So bile jame prevodniki ob koncu pliocena ali pa v zgodnjem pleistocenu? Neprepustne kamnine so se lokalno ohranile dlje. Vsekakor pa lahko sklepamo, da je sledilo hitro zakrasevanje, saj so se naplavine v jami ohranile dalj časa in so bile diagenetsko preoblikovane.

Sčasoma je naplavine odnesla prenikajoča voda. Ta je dejavnik drugega izrazitega obdobja oblikovanja jam v zgornjem delu že večinoma odtočnega krasa. Kjer v jamah ni sledi prenikajoče vode, se je ohranila stara naplavina. Torej so v zgornjih delih jamskih sistemov tudi v času izdatnejšega topljenj snega in ledu, ki je v hladnih pleistocenskih obdobjih prekril površje, prevladovali posamezni navpični curki prenikajoče vode. Širši meandri, ki sestavljajo zgornje dele Velike ledenice v Paradani, pa dokazujejo, da je bilo izvotljevanje izrazitejše prav v teh obdobjih topljenja snega in ledu. Tudi A. Mihevc in I. Gams (1979, 13) predvidevata, da sta bili korozija in erozija najbolj izraziti v pleistocenu. V višku würma je bil sneg na Trnovskem gozdu na višini 1250 do 1300 m in plazovi so v Paradani kopicili sneg, iz katerega so se izcejali potoki. V čas najbolj izdatnega izcejanja vode verjetno sodi tudi oblikovanje manjših rovov, ki so med brezni. Danes skalni obod zgornjih delov jam oblikujeta, poleg prenikajoče vode, tudi korozija pod ledenimi oblogami sten in razpadanje zaradi zmrzovanja vlage. Kjer so naštetih procesi šibkejši, so tudi sledi korozije zaradi kondenzirane vlage in biokorozije. Podiranje stropov povezuje jame s površjem.

Skalni relief v izvirnih jamah, ki so občasno povsem zalite, je skladen z današnjimi procesi njihovega oblikovanja. Zaradi visokega pritiska vode v zaledju je njen pretok skozi rove, ki so večinoma manjši, hiter. Voda vrtinči večinoma avtohton pesek in prod ter gladi površino skalnega oboda rovov, predvsem njihova tla. V Suhadolici in zlasti v Matijevi jami pa občasna manjša nihanja vodne gladine povzročajo, da se na skalni obod odlaga drobnozrnata naplavina in pod njo korozija značilno oblikuje skalo. Kratkotrajni pretoki hitrih voda v visokovodnem prelivu Velikem Hublju omogočajo, da se v vhodnih delih jame ohranjajo tudi sledi biokorozije. V Babji jami so v Žepu stropne kotlice, ki kažejo, da je ta

del rova oblival počasnejši vodni tok. A. Kranjc (1982, 211) po naplavinah v Žepu sklepa, da se je ob nižjih vodah potok Vogršček pretakal z Banjšic, visoke dolinske vode pa so se skozi vhodni del jame stekale v njeno notranjost. Rovi so bili med leti 1700 in 1850 zapolnjeni s prodno peščenimi in prodno meljnatiimi plastmi naplavine. So kotlice sledi takratnega pretakanja vode? A. Kranjc (1985, 80) je tudi ugotovil, da je korozija raztopila v zadnjih 150 letih 1 mm prodnikov, iz katerih štrlijo kalcitne žilice. Zglajena površina kotlic kaže, da so sled današnjih voda. V zatišju Žepa so vrtinci večji in voda je manj erozijsko učinkovita kot v ostalih delih jame. Oblika izvirnih jam z rovi, ki imajo dokaj oglete prečne prereze, je odraz njihovega mladega oblikovanja. Dolgotrajnejši hitri tokovi bi vrezali, če to dopušča kamnina, bolj zaobljene prečne prereze rogov.

Nastanek ponorne Bazinove jame pri Podlaških topolih in izvirne Smoganice na stiku karbonatnih kamnin in fliša oziroma peščenjaka je ohranil njihovo aktivnost na višjih nadmorskih višinah. Jami se zato poglobljata počasneje kot prej opisane jame, a zaradi odprtega piezometričnega nivoja vode dovolj hitro, da se iz prečnega preseka skalnega reliefa razberejo obdobja njunega razvoja. Bazinova jama se je začela oblikovati kot splet mreže manjših rogov. Voda se je razpršeno stekala med spodnji fliš in karbonate nad njim. To dokazujejo tudi številni pritoki, ki se priključijo glavnemu rovu. Voda je nato erozijsko poglobila in razširila vhodni kanal. V apnencu in breči so rovi manjši. Stalno ali občasno je bila jama povsem zalita, sedaj je taka le v spodnjem delu. Na stropu so kotlice. Na skalnih tleh prevladujejo sledi hitrejšega odprtega toka. V zgornjih delih jame, zlasti v dvoranicah, ki so nekoliko nad višino vodnega toka, je prevladujoč dejavnik oblikovanja skalnega reliefa voda, ki prenika skozi plitek strop in polzi po stenah ali pa kaplja na tla. Podobno se je nad neprepustnimi skladi kamnine ohranil tudi izvir Smoganica. Že ozek, ključavničast prečni prerez z izrazitimi stenskimi zajedami kaže na izrazito vrezovanje vodnega toka v jami. Jama je preoblikovalo pretakanje vode nad drobnozrnato naplavino, s katero je bila zapolnjena. V višjih suhih delih jame že prevladuje razjedanje sten s polzečo vodo.

Skratka, tektonsko dvigovanje ozemlja in nižanje obrobni dolin je povzročilo izrazito zakrasevanje. Le-to je omogočilo ohranjanje starejšega skalnega reliefa, seveda če to dopuščajo sedanji procesi oblikovanja jam. Višje ležeče jame, v katerih so pogosto ohranjene stare skalne oblike, namreč preoblikujejo: korozijsko agresivna prenikajoča voda, razpadanje skalnega oboda zaradi zmrzali in korozija pod ledom. Počasnejše, a dovolj izrazito za ohranjanje starejših skalnih oblik je zakrasevanje na območjih, ki jih sestavljajo poleg karbonatnih tudi skladi neprepustnih kamnin, ki so omogočili ohranitev aktivnih vodnih jam na višjih nadmorskih višinah. Poligenetske jame lahko razdelimo na tiste s sledmi starejšega oblikovanja in tiste, skozi katere se pretaka vodni tok. Obe skupini jam sta podvrženi navpičnemu prenikanju vode kot najbolj izrazitemu oblikovalcu jam v teh nadmorskih višinah. Zakrasevanje je napredovalo hitreje kot vrezovanje dolin, zato višje niso nastajali večji jamski sistemi (P. Habič, 1970, 130).

Zaradi oblikovanja v dolomitu, ki je obdan z neprepustnimi kamninami, se je ohranila višje ležeča Turkova jama. Z neprepustnih kamnin pa se stekajo vode tudi v ponorno Pucovo brezno. Jama sta na nižjem vzhodnem, delno fluvialnem krasu Logaških Rovt. Lega jama nad piezometričnim nivojem vode je povzročila njihovo poglobljanje in ohranitev starejših skalnih oblik.

Počasno pretakanje vode v globlje zalitem rovu Turkove jame je oblikovalo najstarejše dele skalnega oboda (stropne kotlice). Izrazite nadnaplavinske skalne oblike so ohranjene v rovih, ki so višje v jami, pa tudi v tistih, skozi katere se pretakajo vode. Naplavina je torej zapolnila jama, ki je bila večinoma že oblikovana v današnjo podobo. O spremenjenem geomorfološkem položaju ozemlja, v katerem je jama, govori tudi sestava naplavine v jami in današnje povirje, ki je omejeno le na območje Travnega vrha.

Visoke in hitre vode občasno zapolnijo Pucovo brezno in gladijo dolomitni obod jame, na katerem ni značilnih skalnih oblik. Le v manjših rovih, ki so višje nad vodnim tokom in imajo tla prekrita z drobnozrnato naplavino, so nadnaplavinske štrline. Jama je bila torej v pretežni meri zapolnjena z naplavino, njena okolica pa poplavljen.

3.5 Skalni relief izvirne Male Boke in stare Zadlaške jame – jam na robu alpskega krasa

Tako kot za visoke planote dinarskega krasa je tudi za alpski kras značilno današnje prevladujoče navpično prenikanje vode, ki razpršeno oblikuje brezna in med njimi visoke meandraste rove. Viseči vodni tokovi so v zgornjih delih alpskega jamskega sistema vezani na nerazpokane kamnine ali stik apnenca z dolomitom (Črnelško brezno). Za izvirne jame je značilno, da so pogosto obvisela nad dnem dolin. Izrazito tektonsko členjenje reliefa in erozijsko vrezovanje dolin prevladujeta nad hitrostjo zakrasevanja.

Obvisela izvirna jama je tudi Mala Boka, v kateri je skalni relief skladen z današnjimi procesi njenega oblikovanja. Raziskave jame in njen opis je predstavil Z. Lesjak (1977). Občasne visoke vode z velikim pritiskom povzročijo hiter pretok, še zlasti skozi manjše rove. V njih hitrost vodnega toka presega 1 m/s. Na obodu cevastih rogov so majhne fasete in ponekod tudi manjše draslje. Počasnejši vodni tok oblikuje stene (srednje velike fasete) najnižje ležečega Odmevajočega rova, ki ga poplavijo že srednje visoke vode. Le-te pa so prevladujoče, saj bi dolgotrajnejši pretok hitrih visokih voda vrezal njim značilen skalni relief. Skozi rove pred vhomom v jamo se prelivajo vode iz občasno poplavljenega Odmevajočega rova. Hiter, odprt vodni tok vrezuje majhne fasete 3. skupine. Zgornji rovi v tem delu jame pa so le redko poplavljeni. Jama je torej mlada in obliko rogov narekuje predvsem pretrstost in sestava kamnine (2.1.4.2.b).

Hitro zakrasevanje omogoča razkrivanje speleogenetskih značilnosti tega kraškega predela. To je možno kljub prenikanju vode v jame in razpadanju oboda njihovega vhodnega dela zaradi zmrzali. Zakrasevanje pa ni bilo enakomerno hitro, o čemer priča tudi obvisela Zadlaška jama. Oblika in položaj jame na pobočju doline ter njen skalni relief, nas navajajo k sklepanju, da je bila jama izvirna. Jamo je sprva izdolbel počasen vodni tok in bila je v celoti zalita. Nekoliko hitrejši je bil vodni tok le v manjših vhodnih rovih. Kasneje so jamo poplavne vode zapolnile z drobnozrnato naplavinno in stropi rogov so preprejeni z nadnaplavinjskimi žlebovi. Vodni tok je del naplavin odnesel iz jame in ponekod v spodnjih rovih preoblikoval sledi parageneze. Sledi enakomernejšega poglobljanja rogov z odprtim vodnim tokom ni. Počasno odnašanje naplavin je povzročilo, da so rekristalizirale in se sprijele s skalnim obodom. Skratka, sklepamo lahko o dolgotrajnejšem oblikovanju jame v zaliti ali epifreatični coni, ki mu je sledilo hitro nižanje vodne gladine. To je posledica hitrega poglobljanja dolin, lahko erozijskega, še verjetneje pa so se poglobile zaradi umikanja ledu. Tektonsko členjenje je dolgotrajnejše.

Z boljšim poznavanjem alpskih jam bo mogoče dokaj natančno slediti speleogenezi skozi ves pleistocen do današnjih dni. V zgornjih delih alpskega krasa so ohranjene tudi stare jame, ki so pogosto zapolnjene z naplavinami (Triglavska stena), pa tudi v večjih jamskih sistemih so višje ležeči položni, stari rovi.

3.6 Razvoj izbranih votlin

Najstarejši skalni relief v izbranih jamah je praviloma sled počasnega pretakanja vode v globlje zalitih rovih. V pretočnem krasu je ohranjen v zgornjih delih večjih jamskih sistemov (Predjama, Postojnska jama), v starih, suhih jamah (Logaška jama, Trhlovca, Divaška jama, Golobja jama in druge) ali pa v večjih rovih, skozi katere se še danes pretaka voda (Pivški rokav v Planinski jami). Manjše površine takšnega skalnega reliefa najdemo tudi v poligenetskih jamah na danes večinoma odtočnem, višjem krasu (Volčja jama). Omenjeni skalni relief lahko zasledimo v večini kraških predelov. Datacije ni moč opredeliti. Po naplavinah, zlasti v gorskih jamah, in sigah, ki so ohranjene v naštetih jamah, lahko sklepamo, da je bil takšen pretok večjih količin

vode značilen za starejša obdobja njihovega razvoja. Dokaj prostorni rovi odražajo dolgotrajnost oblikovanja in precejšen pretok vode skozi. V nekoč zalitih rovih skorajda ni spužvastih sledi »spongework«; (H. Bretz, 1956, 15, 16) neizrazitih vodnih tokov, kot so kotlice, roglji, mostiči. To kaže na dokaj izrazite vodne tokove skozi votline in na odpiranje neprepustnih jezov, ki so obdajali karbonatne kamnine. Kakšni so bili začetni rovi in njihov splet, je težko zaključiti. Vendar je tudi v mlajših jamah le redko moč najti ostanke medskladovnih anastomoz (Tentera). Zato sklepam, da so se jame začele oblikovati kot splet anastomoznih rogov ob lezikah, razpokah ali na njihovem križišču, če je bil pritisk vode dovolj velik. Kasnejše preoblikovanje vo-

tlin ob razpokah je posledica znatne pretrtosti naših karbonatnih kamnin. Rovi so zato navpično in vodoravno razčlenjeni in jamske mreže dokaj oglate. Medskladovne anastomozne mreže pa so bolj blago vijugaste. Vse to je seveda odraz različnih lokalnih razmer.

Podobni, torej vijugasti in enako široki kot visoki so tudi rovi (srednja etaža v Predjami, Kozinski rov v Lipiški jami, Vilenica, Beloglavka, Markov spodmol) s sledmi nekoliko hitrejšega pretoka vode skozi njega. Takšni rovi so praviloma na nižjih nadmorskih višinah in mlajši kot zgoraj opisani. To je verjetno že posledica navpičnega, sprva počasnejšega tektonskega členjenja kraških predelov in odstranjevanja neprepustnih kamnin okoli njih. V pretočnih regijah so torej prevladovali epifreatični rovi, ki pa so bili občasno globlje poplavljeni.

Iz pestrih klimatskih razmer pleistocena pa lahko razberemo še eno izrazito obdobje razvoja votlin. Jame so hitri vodni tokovi zapolnjevali z grobozrnato naplavino. Obnovil se je pretok vode skozi zgornje dele rogov. V würmu je sledilo nižanje piezometra skorajda v vseh kraških predelih in vodni tokovi so poglobljali rove (Hankejev kanal v Škocjanskih jamah). Navpič-

no členjenje krasa je bilo različno hitro. Prevladoval je kras, ki je danes višji. V nižjem krasu pa je bil ta proces počasnejši ali pa je v nekaterih predelih celo zanemarljiv (Cerkniški jamski sistem). Jame so bile pogosto poplavljene in zapolnjene z drobnozrnato naplavino. Starejše zapolnitve so ohranjene v poligenetskih, danes višje, nad vodno gladino ležečih jamah. Mlajše pa je najti v večini jam v pretočnem nizkem krasu. Eno takšnih izrazitih poplavnih obdobj, ki je verjetno zajelo večino našega nižjega krasa, je bilo, kot po naplavinah sklepa tudi R. Gospodarič (1976, 100, 112; 1982, 191), v času zgornejewürmskega glaciala ali v postglacialu. Poplavljanje so povzročale večje klimatske spremembe z izdatnimi padavinami ter topljenjem snega in ledu. Nadnaplavinske, razmeroma mlade skalne oblike so v jamah na obrobju Pivške kotline, v Tržaškem in Istrskem krasu. R. Gospodarič (1988, 94) temu obdobju pripisuje tudi dvigovanje morske gladine. Dejstvo, da so se te oblike ohranile, priča o izdatnosti poplav, ki so zalile tudi višje ležeče rove. Sledilo je obdobje zakrasevanja, vrezovanja in poglobljanja votlin ter odnašanja naplavin iz njih. To je značilnost holocena.

3.7 Skalni relief kot speleogenetska sled

Proučevanje skalnega reliefa lahko s pridom uporabimo pri tolmačenju razvoja kraškega podzemlja. Manj primerov je, kjer lahko razberemo več obdobj razvoja posameznih delov votline. Bolj uspešna je speleogenetska primerjava skalnega reliefa v jamah, ki jih sestavlja več rogov in v poligenetskih jamah. Skoraj vedno pa je moč primerjati prevladujoči skalni relief v značilnih jamah kraških predelov, ki se izkažejo za speleogenetske celote. Najhitreje je zaradi nižanja piezometričnega nivoja vode zakraseval današnji odtočni kras. Zanj so značilni navpični jamski sistemi in poligenetske jame. Navpično pretakanje vode skozi jame je večinoma dovolj točkovno razpršeno, da se je stari skalni relief, vsaj na posameznih odsekih, ohranil. Počasnejše, a dovolj izrazito za ohranitev starega skalnega reliefa, ki je sled najbolj izrazitih razvojnih obdobj, je bilo zakrasevanje v večini današnjih pretočnih kraških regij. Mlajši procesi v suhih jamah, kot sta kondenzna korozija in biokorozija, ne pa tudi razpadanje oboda, so premalo izraziti, da bi preoblikovali starejše sledi vodnih tokov. Starejši skalni relief se je delno ohranil tudi ob nadnaplavinskih skalnih oblikah.

Zakrasevanje je predvsem rezultat navpičnega členjenja kraških predelov glede na okoliške neprepustne kamnine, ki predstavljajo vodni jez. Hitrejše je zakra-

sevanje, lepše je v navpičnem prerezu votlin ohranjen značilen skalni relief. Razvoj votlin na skorajda enaki nadmorski višini, glede na okoliški neprepustni jez, namreč onemogoča ohranitev starega skalnega reliefa. V njih se lahko zvrstijo različni oblikovalni procesi in izrazitejši, mlajši, prekrivajo starejše sledi jamskega razvoja. To je značilno predvsem za kraške predele, ki se ugrezajo v katerih vode odlagajo naplavine. Navpično členjenje krasa je posledica tektonike in erozijskega nižanja okoliških dolin in podolij. Regionalno gladino vode posredno predstavlja tudi morska gladina. Na slednjo, pa tudi na zapolnjevanje votlin z naplavinami vplivajo predvsem klimatske razmere. Jasno je, da se rovi ne razvijajo enotno po vsem vzdolžnem prerezu, temveč lokalne različice votlin določa predvsem kamninska osnova. V glacialnih obdobjih so vode zapolnjevale jame z naplavinami (I. Gams, 1956, 3). To potrdijo tudi sledi hitrih tokov, ki so se pretakali nad prodrom, in obnovljeni pretok vode po površju (W. B. White, 1988, 307). Hkrati je bila v tem obdobju izdatnejša erozija neprepustnih kamnin. Za toplejša (interglacialna) obdobja je značilno predvsem zakrasevanje in praznjenje votlin z vodnimi tokovi. Ti se vrezujejo tudi v skalno dno rogov; če to dopušča pritisk vode, zalivajo nižje ležeče, poplavljen dele votlin.

Speleogeneza ni bila enakomerna, temveč skokovita. To je predvsem posledica hitrega spreminjanja klimatskih razmer in gladine podzemne vode, prenašanja in odlaganja naplavin. Na isti nadmorski višini se lahko razvrsti več različnih procesov, nato pa sledi hiter padec piezometra in votlina ostane suha. V Zadlaški jami je skokovitost razvoja povzročila zapolnitev doline z ledenikom in njegovo topljenje. Prav skokovitost omogoča jasnejše razbiranje prevladujočih procesov, ki so oblikovali skalni relief. V pretočni kraški regiji so v dostopnih votlinah oblikovno najbolj izraziti epifreatični tokovi. Postopno, enakomerno zakrasevanje zapuščala njihove sledi. Zaradi hitrega, skokovitega zakrasevanja se le redko oblikujejo večji rovi z odprtim vodnim tokom. V votlinah, ki so nastale v navpično močno in gosto pretrtem apnencu, prevladujejo epifreatične, v nerazpokanem apnencu pa so pogoste freatične jame (R. O. Ewers, 1982, 377). Voda si je v prvem primeru

poiskala najkrajšo pot. Ohranjene so tudi sledi, ki so jih zapustili počasni tokovi v globlje zalitih conah. Te so v zgornjih suhih etažah večjih jamskih sistemov (Predjama, Postojnske jame) in v starih suhih jamah. Počasno zakrasevanje bi jih preoblikovalo, naplavine prekrievale, hitro skokovito zakrasevanje pa jih ohranja. Res pa je, da so spodnji deli oboda prostornih starih rogov pogosto preoblikovani s hitrejšimi vodnimi tokovi (Fiženca v Predjami, Logaška jama). V prečnem preseku Pivškega rokava Planinske jame lahko sledimo reliefu, ki odraža počasen pretok vode v globlje zaliti coni, srednje hiter pretok, ki je zapustil fasete na stenah, in hitrejši vodni tok, ki oblikuje današnjo jamsko strugo. Skratka, skokovitost zakrasevanja je pogojila raznovrstno oblikovanje votlin in hkrati omogočila ohranitev starih razvojnih sledi. Otežkočeno pa je razpoznavanje menjavanja pestrih razvojnih obdobij, ki so se razvrstila na istih nadmorskih višinah.

4. SKLEP

Skalne oblike, ki sestavljajo relief kraških votlin, so posledica delovanja različnih speleogenetskih dejavnikov na kamnino. Vodni tokovi, polzeča voda in drugi dejavniki povzročajo procese na kamnini in odnašajo njihove produkte. Kamnina skalnega oboda rogov s svojo sestavo, skladovitostjo in pretrtostjo odloča o nastanku različnih skalnih oblik ter vpliva na njihov razvoj in oblikovanje. Isti dejavniki namreč lahko na različni kamnini oblikujejo raznovrstne skalne oblike. Če so nehomogenosti v kamnini večje ali je njena razpokanost gostejša, kot je velikost vrtincev v vodnem toku, fasete in kotlice ne nastanejo. Oblikujejo se štrline. Pretrtost kamnine se odraža tudi na obliki rogov. Če se skozi rov, ki ga sestavljajo odseki različnih premerov in strmcev, pretaka vodni tok, nastanejo značilne hidravlične razmere. Te odsevajo v skalnih oblikah. V conah izrazitega vrtinčenja nastanejo stropne kotlice. V enoličnih cevastih rovih pa so lahko po vsem obodu fasete. Kamnina različno vpliva tudi na nastanek skalnih oblik, ki jih oblikujejo drugi dejavniki (polzeča voda, zračni tok) oblikovanja jamskih sten. Pogosta značilnost karbonatnih kamnin je njihova drobnozrnata in dokaj homogena sestava. Na takšni kamnini pa se skalne oblike najlepše razvijejo. V spremenljivih pogojih lahko skalno obliko oblikuje več dejavnikov hkrati. Prevlada seveda učinkovitejši. Hitrejši vodni tok vreže stropne kotlice in fasete. Iz počasnejšega vodnega toka ali stoječe vode

pa se na položne stene kotlice odloži naplavina in pod njo nastanejo žlebiči, širijo se dna faset. V nespremenljivih pogojih skalne oblike pogosto dosežejo stopnjo zrelosti. Njihova oblika in velikost se s časom ne spreminjata. V obdobju nastajanja skalne oblike pa sta velikost in oblika le stopnji v njenem razvoju.

V aktivnih kraških votlinah je skalni relief največkrat odsev njihovega enotnega ali raznovrstnega današnjega oblikovanja. V isti votlini se lahko zvrsti več različnih razvojnih obdobij. V večjih votlinah je skalni relief zato splet sledov preteklih razvojnih obdobij in njihovega današnjega oblikovanja. Sledi različnih razvojnih obdobij so ohranjene tudi v starih jamah. Skalni relief je posledica učinkovitosti mlajših razvojnih dejavnikov, ki se vrstijo v istem delu votline. Ti stari skalni relief lahko povsem preoblikujejo ali le delno prekrijejo. Najbolj učinkoviti dejavniki preoblikovanja skalnega reliefa so vodni tokovi in razpadanje kamnine, manjši tokovi v nadnaplavinskih žlebovih pogosto le prepredejo stari skalni relief, kondenzna vlaga in biogeni dejavniki pa le razčlenijo površino starih skalnih oblik.

Iz skalnega reliefa lahko torej pogosto dokaj nazorno razberemo raznolika zaporedja najbolj izrazitih razvojnih obdobij votline. Nudi nam tudi dokaj popoln vpogled v način oblikovanja votline v teh obdobjih. Razberemo lahko način pretakanja vodnih tokov skozi rove, zapolnitev rogov z naplavino in pretok vode nad

njo. Najlepše je razviden izrazit poligenetski značaj votline, v kateri so sledi vodnega toka le na posameznih mestih prekrite s skalnimi oblikami, ki nastanejo zaradi polzenja vode.

Skalni relief nam pogosto ne nudi celovitega vpogleda v razvoj votline. V njem se namreč odražajo le najbolj učinkovita razvojna obdobja oziroma trenutek sedanjega oblikovanja votline ali prekinitve nekdanjih prevladujočih dejavnikov. Razvojnih obdobjih votline iz skalnega reliefa tudi ni moč neposredno časovno opredeliti.

Najbolj raznovrstni speleogenetski pomen skalnega reliefa je razviden predvsem v jamah, značilnih za kraški predel, ki je bil izpostavljen enotnemu razvoju. Manj različnih razvojnih obdobjih se odraža v skalnem reliefu posamezne votline ali njenega dela. Skalni relief je nazorna sled različnih razvojnih obdobjih predvsem v kraških predelih, v katerih se je izrazito znižal piezometrični vodni nivo. Čeprav se votline večinoma ne oblikujejo po enoličnih etažah, izjema so nekatere ponorne jame, pa so stare sledi njihovega oblikovanja, stari skalni relief ali naplavine, ohranjene v nadstropjih. To je posledica nižanja vodne gladine v celotnem kraškem predelu, ki pa je bilo pogosto lokalno različno hitro. Smiselnost proučevanja skalnega reliefa kot speleogenetske sledi se zato povečuje v povezavi z drugimi

speleološkimi znaki, kot so položaj in oblika votline oziroma njenih delov, sedanji dejavniki njihovega oblikovanja ter naplavina in siga v njej.

Skratka, skalni relief je pomemben, čeprav omejen razpoznavni znak sedanjega in nekdanjega oblikovanja kraških votlin. Po dosedanjih izsledkih pa lahko trdimo, da je njegovo poznavanje neobhoden del speleomorfogenetskih študij. Pestre splete omenjenih razmerij lahko razberemo že iz bogatega in raznovrstnega gradiva, ki ga nudi naš kras. Za koristna so se izkazala tudi poskusna oblikovanja skalnih oblik na mavcu. Trdim lahko, da so korak naprej od sklepanja po bolj ali manj uspešnem razpoznavanju dejavnikov, ki oblikujejo skalo. Poustvarjanje namreč terja poznavanje večine letih. Nove možnosti za proučevanje skalnih oblik so nakazala kvantitativna razčlenjevanja in primerjave njihovih oblikovnih značilnosti. Proces, ki deluje na kamnino, lahko dokaj zanesljivo razberemo tudi z mikroskopskim opazovanjem skalne površine.

Širina zajete problematike omogoča le počasno in neenakomerno gradnjo temeljev, kar se odraža tudi na poteku mojega dosedanjega dela. Vse hitreje se odpirajo poti nadaljnjega proučevanja, tako glede oblikovanja posameznih primerov skalnega reliefa, tipov skalnega reliefa v različnih votlinah ali njegovega vrednotenja kot speleogenetske sledi.

5. SEZNAM SLIKOVNIH PRILOG

- 1.1 *Izbrane jame*
 - 2.1.1 *Zaprta in odprta faseta*
 - 2.1.2 *Značilne skupine faset*
 - 2.1.3 *Fasete na steni ožine pri Blatnem jezeru v Beško Ocizeljski jami*
 - 2.1.4 *Fasete na strmem žlebu v Ponoru v Odolini*
 - 2.1.5 *Fasete na strmih tleh v Markovem spodmolu*
 - 2.1.6 *Fasete nad sifonom v Ponoru v Odolini*
 - 2.1.7 *Fasete v previsni zajedi v Blatnem rovu Zelških jam*
 - 2.1.8 *Fasete na steni rova za Toboganom v Ponikvah v Jezerini*
 - 2.1.8a *Fasete na stropu Markovega spodmola*
 - 2.1.9 *Fasete na skalnem bloku v Krožnem rovu Črne jame (Postojnske jame)*
 - 2.1.10 *Fasete na strmi steni Tolminskih korit v Mali Boki (tok navzgor)*
 - 2.1.11 *Fasete na podornem bloku v Nebesih v Mali Boki*
 - 2.1.12 *Fasete na skalnem bloku v strugi Škocjanskih jam*
 - 2.1.13 *Fasete pod vhodnim breznom v Ponoru v Odolini*
 - 2.1.14 *Fasete na pritočnem delu skalnega bloka v Podpeški jami*
 - 2.1.15 *Velike fasete v Pivškem rokavu Planinske jame*
 - 2.1.16 *Velike fasete na stropu Vilinske dvorane v Vilenici*
 - 2.1.17 *Rebra v Markovem spodmolu*
 - 2.1.18 *Fasete na intraklastnem apnencu v Markovem spodmolu*
 - 2.1.19 *Površina apnenca v Velikem Hublju*
 - 2.1.19a *Zbrusek prekrystaliziranega apnenca v Velikem Hublju*
 - 2.1.20 *Fasete na apnencu z rudisti v Pivki jami*
 - 2.1.21 *Fasete na konglomeratu v Smoganici*
 - 2.1.22 *Površina breče v Mali Boki*
 - 2.1.23 *Fasete in leče roženca med njimi v Lepih jamah (Postojnske jame)*
 - 2.1.24 *Fasete na peščenjaku v Smoganici*
 - 2.1.25 *Fasete na pretrtem apnencu Podstrešja v Mali Boki*
 - 2.1.26 *Fasete, ki prečijo kalcitne žile v Križni jami*
 - 2.1.27 *Tla dolomitnega korita v Pucovem breznu*
 - 2.1.28 *Fasete na mavčnem žlebu*
 - 2.1.29 *J. Hajna z mavčnim blokom pred Planinsko jamo*
 - 2.1.30 *Fasete na mavčnem bloku*
 - 2.1.31 *Fasete na pritočni ploskvi mavčnega bloka*
 - 2.1.32 *Fasete na stranski ploskvi mavčnega bloka*
 - 2.1.33 *Značilne mreže faset prve in druge skupine*
 - 2.1.34 *Fasete, ki jih je poglobila erozija v Vzhodnem rovu Predjame*
 - 2.1.35 *Razporeditev faset v delu rova v Markovem spodmolu*
 - 2.1.36 *Gladka pritočna ploskev izbočenega dela tal v Markovem spodmolu in fasete za njo*
 - 2.1.37 *Majhne fasete na velikih v Novem rovu v Beško Ocizeljski jami*
 - 2.1.38 *Fasete na veliki čeri v Vzhodnem rovu Predjame*
 - 2.1.39 *Stropna kotlica v Peklu v Babji jami*
 - 2.1.40 *Stropna kotlica v Kompoljski jami*
 - 2.1.41 *Tipi stropnih kotlic: vzdolžni in prečni prerez*
 - 2.1.42 *Kotlica na zgornjem delu stene Ozkega rova v Ciganski jami*
 - 2.1.43 *Stropna kotlica v Ponorni jami Lokve*
 - 2.1.44 *Stropna kotlica v Konjskem hlevu v Predjami*

- 2.1.45 *Stropne kotlice v Nebesih v Zadlaški jami*
- 2.1.46 *Stropna kotlica v Fiženci v Predjami*
- 2.1.47 *Stropna kotlica v Pretnarjevi dvorani v Divaški jami*
- 2.1.48 *Stropna kotlica v Stari jami Predjame*
- 2.1.49 *Stropna kotlica v Ponorni jami Lokve v Predjami*
- 2.1.50 *Stropne kotlice na razpokani skali v Stari jami Predjame*
- 2.1.51 *Stropne kotlice v Logaški jami*
- 2.1.52 *Strop sifona v Krožnem rovu Črne jame 2.1.52a Strop Blatnega rova v Zelških jamah*
- 2.1.53 *Stropna kotlica za ožino v spodnjem delu Lipiške jame*
- 2.1.54 *Stropne kotlice v ožini Vzhodnega rova v Predjami*
- 2.1.55 *Podolgovata stropna kotlica na začetku Sifonskega rova v Zelških jamah*
- 2.1.56 *Stropne kotlice pred zožitvijo Imenskega rova v Predjami*
- 2.1.57 *Stropne kotlice za ožino v Finkovi jami*
- 2.1.58 *Stropna kotlica v Ponorni jami Lokve v Predjami*
- 2.1.59 *Stropna kotlica s podnaplavinskimi žlebiči za ožino Tobogana v Ponikvah v Jezerini*
- 2.1.60 *Stropne kotlice v Matijeji jami*
- 2.1.61 *Stropne kotlice na dolomitu na začetku Velikega rova v Turkovi jami*
- 2.1.62 *Stropna kotlica v apnencu z rožencem v Stari jami Predjame*
- 2.1.63 *Stenska kotlica s fasetami v Markovem spodmolu*
- 2.1.64 *Draslja na skalnem bloku v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah*
- 2.1.65 *Draslja v Kopalnici v Mali Boki*
- 2.1.66 *Draslja v Ponoru v Odolini*
- 2.1.67 *Draslje v Šumeči jami v Škocjanskih jamah*
- 2.1.68 *Draslja na skalnem bloku v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah*
- 2.1.69 *Draslja na odtočnem delu skalnega bloka v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah*
- 2.1.70 *Draslji v Polhovem rovu v Mali Boki*
- 2.1.71 *Draslja na robu struge Hankejevega kanala v Škocjanskih jamah*
- 2.1.72 *Draslja na peščenjaku v Smoganici*
- 2.1.73 *Draslja v Babji jami*
- 2.1.74 *Draslja pod breznom v Beško Ocizeljski jami*
- 2.1.75 *Draslje na pritočnem delu skalnega bloka v Škocjanskih jamah*
- 2.1.76 *Stenska kotlica v Markovem spodmolu*
- 2.1.77 *Vzdolžni erozijski žlebovi na skoku struge v Markovem spodmolu*
- 2.1.78 *Erozijski žleb v Novokrajski jami*
- 2.1.79 *Žlebiči na razpokanem bloku v Šumeči jami v Škocjanskih jamah*
- 2.1.79 *Žlebiči na razpokanem bloku v Šumeči jami v Škocjanskih jamah (merilo = 15 cm)*
- 2.1.80 *Stropni žlebiči v Ponoru v Odolini*
- 2.1.81 *Skalni rogelj v niši za vhodno dvorano v Križni jami, njegova površina je razjedena s kondenzno korozijo*
- 2.1.82 *Skalni noži med velikimi fasetami v Divaški jami*
- 2.1.83 *Skalni nož v Krožnem rovu v Čni jami (Postojnske jame)*
- 2.1.84 *Vzhodni rov ob porušeni coni v Predjami (foto S. Šebela)*
- 2.1.85 *Čer v Vzhodnem rovu Predjame*
- 2.1.86 *Čer z erozijsko kotlico v Markovem spodmolu*
- 2.1.87 *Čeri s podnaplavinskimi vdolbinicami v Križni jami*
- 2.1.88 *Stenska zajeda v Fiženci v Predjami*
- 2.1.89 *Stropna zajeda v Ponoru v Odolini*
- 2.1.90 *Stenska zajeda v Trhlovci*
- 2.1.91 *Talni žleb v Markovem spodmolu*
- 2.1.92 *Talni žleb v Ponoru v Odolini*
- 2.1.93 *Talni žleb v Ciganski jami*
- 2.1.94 *Značilno vrtinčenje vodnega toka*
- 2.1.95 *Površina fasete v strugi Škocjanskih jam 2.1.95a Površina fasete v strugi Škocjanskih jam*
- 2.1.96 *Površina večje draslje v strugi Škocjanskih jam 2.1.96a Površina večje draslje v strugi Škocjanskih jam*

- 2.1.97 *Erozijsko zglajena stena Babje jame*
- 2.1.98 *Raze na erozijsko zglajeni steni*
- 2.1.99 *Kraterji z zdrobljenimi zrni*
- 2.1.100 *Obtolčena površina stropa za ožino v Babji jami*
- 2.1.101 *Obtolčena površina*
- 2.1.102 *Smolnata plast na skali v strugi Škocjanskih jam*

- 2.2.1 *Stropni žleb v Blatnem rovu Predjame*
- 2.2.2 *Stropni žleb v Blatnem rovu Beloglavke*
- 2.2.3 *Anastomozna mreža v Havajih v Brlogu na Rimskem*
- 2.2.4 *Anastomozna mreža na podvisu Velikega rova v Turkovi jami (dolomit)*
- 2.2.5 *Anastomoze na stropu Kozinskega rova v Lipiški jami*
- 2.2.6 *Anastomoze v Havajih v Brlogu na Rimskem*
- 2.2.7 *Del anastomoz v Havajih v Brlogu na Rimskem*
- 2.2.8 *Anastomoze na dolomitu v Turkovi jami 2.2.8a Rov z anastomozami na stropu v Turkovi jami*
- 2.2.9 *Mrežasti splet žlebov na dolomitnem stropu Jame v Peklu*
- 2.2.10 *Anastomoze na konglomeratu v Smoganici*
- 2.2.11 *Stropne štrline v Tihi jami v Škocjanskih jamah*
- 2.2.12 *J. Hajna pripravlja poskus z nadnaplavinskimi žlebovi*
- 2.2.13 *Stropni žleb na izviru*
- 2.2.14 *Prečni prerez poskusnega modela*
- 2.2.15 *Stropni žlebovi na mavcu*
- 2.2.16 *Stropna žlebova na mavcu*
- 2.2.17 *Del cevi, ki je nastala na stiku plasti mavca*
- 2.2.18 *Iztok iz stropnih žlebov*
- 2.2.19 *Nadnaplavinske vdolbinice v Volčji jami*
- 2.2.20 *Nadnaplavinske vdolbinice na mavcu*
- 2.2.21 *Nadnaplavinske vdolbinice v Južnem rovu Dimnic*
- 2.2.22 *Skalni nož, ki ga je razjedla vlaga pod naplavino (Velika ledenica v Paradani)*
- 2.2.23 *Veliki podnaplavinski žlebiči v Vodni jami v Lozi*
- 2.2.24 *Majhni žlebiči v Blatnem rovu Predjame*
- 2.2.25 *Podnaplavinski žlebiči v Markovem spodmolu*
- 2.2.26 *Podnaplavinski žlebiči na previsni steni Griške jame*
- 2.2.27 *Z erozijo zaobljeni podnaplavinski žlebiči v Ponikvah v Jezerini*
- 2.2.28 *Mavčni blok z žlebiči*
- 2.2.29 *Žlebiči na navpični steni mavčnega bloka*
- 2.2.30 *Del žlebiča na navpični steni mavčnega bloka*
- 2.2.31 *Podnaplavinska kotlica v Kompoljski jami*
- 2.2.32 *Podnaplavinske vdolbinice na fasetah v Osapski jami*
- 2.2.33 *Vdolbinice na skalni čeri v Križni jami*
- 2.2.34 *Štrline med vdolbinicami v Matjevi jami*
- 2.2.35 *Podnaplavinske vdolbinice, ki jih sooblikuje vodni tok v Podzemeljski Pivki*
- 2.2.36 *Vdolbinice v Mali Karlovinci*
- 2.2.37 *Podnaplavinske vdolbinice, ki jih sooblikuje erozija v Matjevi jami*
- 2.2.38 *Podnaplavinske stropne kotlice v Blatnem rovu Zelških jam*
- 2.2.39 *Podnaplavinske stropne konice v Krožnem rovu v Črni jami (Postojnske jame)*
- 2.2.40 *Podnaplavinske stropne konice na dolomitu Turkove jame*
- 2.2.41 *Skalna površina anastomoz*
- 2.2.42 *Podnaplavinska skalna površina*

- 2.3.1 *Žlebiči na steni Kamenšče*
- 2.3.2 *Žlebiči na steni Smoganice*
- 2.3.3 *Žlebiči na razpokani steni vhodnega brezna v Logaški jami*

- 2.3.4 *Žlebiči na stiku grobozrnatega in drobnozrnatega apnenca v Smoganici*
- 2.3.5 *Stena brezna v Veliki ledenici v Paradani, stik apnenca in dolomita*
- 2.3.6 *Kotlice na steni vhodnega brezna v Logaški jami*
- 2.3.7 *Stropna vdolbinica na mavcu*
- 2.3.8 *Stropne vdolbinice na mavcu*
- 2.3.9 *Stropna kotlica v vhodnem delu Trhlovce*
- 2.3.10 *Stropne kotlice v Logaški jami*
- 2.3.11 *Stropne konice v Ciganski jami*
- 2.3.12 *Stropni žlebiči v Ciganski jami*
- 2.3.13 *Talna vdolbinica na mavcu*
- 2.3.14 *Talne vdolbinice v Ciganski jami*

- 2.4.1 *Gladka stena podledne zajede*
- 2.4.2 *Podledne vdolbinice*

- 2.5.1 *Velike fasete v vhodnem delu Trhlovce*
- 2.5.2 *Fasete na stropu med Šumečo in Tiho jamo v Škocjanskih jamah*
- 2.5.3 *Stropne štrline pod sprijeto naplavino v Zadlaški jami*
- 2.5.4 *S kondenzno korozijo razjedena kalcitna žila, ki štrli iz stene Zadlaške jame*
- 2.5.5 *S kondenzno korozijo razjedena breča v Zadlaški jami*
- 2.5.6 *Skalna površina, ki jo je razjedla kondenzna korozija*

- 2.6.1 *Razjede pod lišaji v vhodnem delu Velikega Hublja*
- 2.6.2 *Razjede pod iztrebki netopirjev v Velikem Hublju*

- 3.1.1 *Prerez čez Gornji Kras in izbrane jame v njem*
- 3.1.2 *Skalni relief v Škocjanskih jamah*
- 3.1.3 *Prerez čez Matarsko podolje, Slavnik in Podgorski kras*
- 3.1.4 *Hidrološke cone oblikovanja in skalni relief Novokrajske jame*
- 3.1.5 *Prerez med Socerbsko planoto in Osapsko dolino ter jamami v njej*

- 3.2.1 *Pivška kotlina in del Notranjskega podolja z izbranimi jamami*
- 3.2.2 *Skalni relief in hidrološke cone oblikovanja Predjame*
- 3.2.3 *Hidrološke cone oblikovanja Postojnske jame*
- 3.2.4 *Skalni relief v Matijevi jami*
- 3.2.5 *Prerez Pivškega rokava v Planinski jami (pri Golgoti) in hidrološke cone oblikovanja skalnega reliefa*
- 3.2.6 *Skalni relief in hidrološke cone njegovega oblikovanja v Ciganski jami*

6. SEZNAM LITERATURE

- Aljančič, M., 1960/61: Biospeleološka raziskovanja in jamski laboratorij. – *Proteus* 23, 112–117, Ljubljana.
- Allen, J. R. L., 1972: The origin of cave flutes and scallops by enlargement of inhomogeneities. – *Rassegna speleologica Italiana*, 14/1, 3–20.
- Andrieux, C., 1970: Contribution à l'étude du climat des cavités naturelles des massifs karstiques. – *Annales de spéléologie* 25, 441–559.
- Badjura, R., 1909: Križna jama. – *Dom in svet*, 30–33, Ljubljana.
- Bini, A., Cappa, G., 1978: Considerazioni sulla morfologia delle cupole. – *Quaderni del museo di speleologia* 4 (7/8), 47–62, L'Aquila.
- Boreli, M., 1984: Hidraulika.
- Bögli, A., 1969: La corrosione per miscela d'acque. – *Atti e memorie* 8, 19–34, Trieste.
- Bögli, A., 1971: Corrosion by mixing of karst waters. – *The Transactions of Cave Research Group of GB*, Vol. 13, No 2, 109–114.
- Bögli, A., 1978: *Karsthydrographie und physische Speläologie*. – Berlin, Heidelberg, New York.
- Bratoš, K., S. Sancin, 1984: Ocizelska pečina. – *Naše jame* 26, 89–93, Ljubljana.
- Bretz, J. H., 1942: Vadose and phreatic features of limestone caverns. – *The journal of geology*, V.1, N. 6/1, 675–811, Chicago.
- Bretz, J. H., 1956: *Caves of Missouri*, Rolla, Missouri.
- Brodar, S., 1948/49: Betalov spodmol – ponovno zatopišče ledenodobnega človeka. – *Proteus* 4/5, 1948, 97–106, Ljubljana.
- Brodar, S., 1952: Prispevek k stratigrafiji kraških jam Pivške kotline, posebej Parske golobine. – *Geografski vestnik* 24, 43–77, Ljubljana.
- Brodar, S., 1966: Pleistocenski sedimenti in paleolitska najdišča v Postojnski jami. – *Acta carsologica* 4, 54–138, Ljubljana.
- Caumartin, W., 1959: Quelques aspects nouveaux de la microflore des cavernes. – *Annales de spéléologie* 14/1–2, 147–157.
- Cigna, A. A., 1983: Alcune considerazioni preliminari sull'erosione per cavitazione. – *Le grotte d'Italia*, 479–486.
- Cigna, A. A.; P. Forti, 1986: The speleogenetic role of air flow caused by convection. – *International Journal of Speleology*, 41–52, Trieste.
- Corbel, J., 1962: Marmites-de-géant, tinajitas, vagues d'érosion, niches. – *Spelunca* 2/3, 34–37.
- Cser, F., I. Szenthe, 1986: The way of cave formation by mixing corrosion. – 9° Congreso Internacional de Espeleologia, 276–280, Barcelona.
- Cser, F., 1988: Role and morphological traces of mixing corrosion in caves. – *International Symposium on Physical, Chemical and Hydrological Research of Karst*, 132–145.
- CurI, R. L., 1964: On the Definition of a Cave. – *Bulletin of the National Speleological Society* 26/1, 1–6.
- CurI, R. L., 1966: Scallops and flutes. – *The Transactions of Cave Research Group of GB*, 7/2, 121–160, Nottingham.
- CurI, R. L., 1974: Deducing Flow Velocity in Cave Conduits from Scallops. – *The NSS Bulletin* 36/2, 1–5.
- Čar, J., 1979: *Geološke osnove krasa*, Postojna.
- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobla Planinskega polja. – *Acta carsologica* 10/4, 1981, 78–105, Ljubljana.
- Čar, J., P. Habič, 1987: Strokovne osnove za zavarovanje vodnih virov in vodnih zalog Trnovsko-Banjške planote, Postojna, elaborat.
- Čepelak, M., 1972: Ponor – špilja Novokračina. – *Naše jame* 13 (1971), 85–89, Ljubljana.
- Delay, B., A. Aminot, 1975: Données sur la nature chimique de la matière organique présente dans les sédiments souterrains. – *Annales de Spéléologie* 30/3, 495–512.
- Dreybrodt, W., 1988: *Processes in karst Systems*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Duckworth, R. A., 1977: *Mechanics of Fluids*, Longmans, London and New York.
- Ek, C., H. Roques, 1972: Dissolution experimental de calcaires dans une solution de gaz carbonique – note préliminaire. – *Trans. Cave Research Group of Great Britain*, Vol. 14, N 2, 67–72.
- Ewers, R. O., 1966: Bedding plane anastomoses and their relation to cavern passages. – *Bulletin of the national Speleological Society*, V. 28/3, 133–141, Missouri.
- Ewers, R. O., 1982: *Cavern Development in the Dimensions of Length and Breadth*, A. Thesis, McMaster University Hamilton, Ontario.
- Ford, D., 1988: *Characteristics of Dissolutional Cave System in Carbonate Rocks*. – *Paleokarst*, 25–57, Springer-Verlag, New York.
- Ford, D., P. Williams, 1989: *Karst Geomorphology and Hidrology*. – London. U. Hyman, 601 pp.
- Forti, P., 1989: The role of sulfide-sulfate reaction in

- speleogenesis. – Proceedings of 10th International Congress of Speleology, Budapest – Hungary, 71–73.
- Franke, W. H, 1975: Correspondence between sintering and corrosion. – *Annales de Speleologie.*, 30/4, 665–672.
- Gams, I., 1956: Pitanja recentnosti i fosilnosti na slovenskom krasu. – Izveštaj o radu 4. kongresa geografa FNRJ (Beograd), 73–77.
- Gams, I., 1956/57: Speleološka postaja v Podpeški jami. – *Proteus* 19, 225, Ljubljana.
- Gams, I., 1959: O legi in nastanku najdaljših jam na Slovenskem. – *Naše jame* 1, 4–10, Ljubljana.
- Gams, I., 1959a: Poskus s ploščicami v Podpeški jami. – *Naše jame* 1, 76–77, Ljubljana.
- Gams, I., P. H a b i č, 1961: Brezno pod Grudnom. – *Proteus* 24/2, 58–60, Ljubljana.
- Gams, I., 1961: Prečni jamski profil in njegova odvisnost od lege skladov. – *Naše jame* 2 (1960), 47–54, Ljubljana.
- Gams, I., 1962: Slepe doline v Sloveniji. – *Geografski zbornik* 7, 263–306, Ljubljana.
- Gams, I., 1962/63: Kako nastanejo korozijske kotlice?. – *Proteus* 25/1, 26–28, Ljubljana.
- Gams, I., 1963: Logarček., *Acta carsologica* 3, 5–74, Ljubljana.
- Gams, I., 1963a: Meritve korozijske intenzitete v Sloveniji in njihov pomen za geomorfologijo. – *Geografski vestnik* 34 (1962), 3–18, Ljubljana
- Gams, I., 1964: Logaška jama. – *Naše jame* 5 (1963), 11–19, Ljubljana.
- Gams, I., 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. – *Geografski vestnik* 37, 60–101, Ljubljana.
- Gams, I., 1967: Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kamninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. – *Geografski vestnik* 38 (1966), 11–68, Ljubljana.
- Gams, I., 1967/68: Tiha jama v sistemu Škocjanskih jam. – *Proteus* 30/6, 146–150.
- Gams, I., 1971: Podtalne kraške oblike. – *Geografski vestnik* 43, 27–45, Ljubljana.
- Gams, I., 1972: Železna jama (kat. št. 2678). – *Naše jame* 13 (1971), 28–33, Ljubljana.
- Gams, I., 1974: Kras. – Ljubljana.
- Gams, I., 1975: Jama pod Babjim zobom in vprašanje razčlenitve würma. – *Naše jame* 17, 111–116, Ljubljana.
- Gams, I., 1983: Škocjanski kras kot vzorec kontaktnege krasa. – *Mednarodni simpozij »Zaščita Krasa ob 160 letnici turističnega razvoja Škocjanskih jam«*, Lipica okt. 1982, SOZD Timav, 22–26, Sežana.
- Gams, I., 1984: Nastanek Vilenice v luči geomorfološkega razvoja Sežanskega krasa. – *Sežanski kras*, 7–11, Sežana–Lipica.
- Gèze, B., 1965: *La spéléologie scientifique.* – Paris.
- Gèze, B., 1973: *Lexique des termes français de spéléologie physique et de karstologie.* – *Annales de spéléologie*, 13, 23–49.
- Gilli, E., 1985: *Le mode de creusement des cavités de grandes volumes souterrains*, 15–28, 3–4. mars 1984, Paris.
- Gospodarič, R., P. Habič, 1966: Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline. – *Naše jame* 8, 12–32, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1969: Speleološki procesi v Postojnski jami iz mlajšega pleistocena. – *Naše jame*, 10 (1968), 37–46, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1970: Speleološke raziskave Cerkniškega jamskega sistema. – *Acta carsologica* 5, 109–169, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami. – *Acta carsologica* 6, 327–366, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1974a: Izvor apnenčevega proda v Planinski jami. – *Acta carsologica* 6, 169–182, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. – *Acta carsologica* 7, 5–139, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1981: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije. – *Acta carsologica* 9, 87–110, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1982: Stratigrafija jamskih sedimentov v Najdeni jami ob Planinskem polju. – *Acta carsologica* 10/8, (1981), 173–195, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1983: *Hydrogeologic Features of Some Karst Parts of Slovenia.* – *Hydrogeology of Dinaric Karst, Field trip to the Dinaric Karst*, [brez pag.].
- Gospodarič, R., 1984: Jamski sedimenti in speleogeneza Škocjanskih jam. – *Acta carsologica* 12, (1983), 27–48, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce. – *Acta carsologica* 13 (1984), 5–36, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1988: Paleoclimatic record of cave sediments from Postojna karst. – *Annales de la Societe Geologique de Belgique*, T. 111, 91–95.
- Gospodarič, R., 1989: Prispevek k vodnogospodarskim osnovam Pivke, *Acta carsologica* 18, 21–38, Ljubljana.
- Grm, A., 1989: Stranski južni rov v Podpeški jami. – *Naše jame* 31, 105–106, Ljubljana.
- Habe, F., F. Hribar, 1965: Saješko polje. – *Geografski vestnik* 36, (1964), 13–44,
- Habe, F., 1970: Predjamski podzemeljski svet. – *Acta carsologica* 5, 5–94, Ljubljana.
- Habe, F., 1976: Morfološki, hidrografski in speleološki

- razvoj v studenskem flišnem zatoku. – *Acta carsologica* 7, 144–215, Ljubljana.
- Habič, P., 1964: O podzemeljskih ledenikih na Nanosu. – *Naše jame* 5 (1963), 19–29, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, 1966: Hidrologija kraša med Idrijco in Vipavo. – *Postojna*.
- Habič, P., 1968: Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. – *Naše jame* 10, 47–54, Ljubljana.
- Habič, P., 1970: Hidrogeološke značilnosti visokega kraša v odvisnosti od geomorfološkega razvoja. – *Prvi kolokvij o geologiji dinaridov*, 2. del, 125–133, Ljubljana.
- Habič, P., P. Krivic, 1972: Nova odkritja v Pološki jami. – *Naše jame* 13 (1971), 98–108, Ljubljana.
- Habič, P., 1973: O vodnih sifonih v kraških jamah. – *Naše jame* 14 (1972), 15–24, Ljubljana.
- Habič, P., 1974: Nekateri speleološke značilnosti Trnovskega gozda. – *Naše jame* 16, 61–78, Ljubljana.
- Habič, P., 1975: Razlike med alpskim in dinarskim krasom. – *Naše jame* 17, 77–84, Ljubljana.
- Habič, P., 1982: Pregledna speleološka karta Slovenije. – *Acta carsologica* 10 (1981), 5–22, Ljubljana.
- Habič, P., 1982a: Kraški relief in tektonika. – *Acta carsologica* 10 (1981), 23–44, 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., M. Knez, J. Kogovšek, A. Kranjc, A. Mihevc, T. Slabe, S. Šebela, N. Zupan, 1989: Škocjanske jame speleological revue. – *Int. J. Speleol.* 18/ 1–2, 1–42.
- Habič, P., 1991: Geomorphological classification of NW Dinaric karst. – *Acta carsologica* 20, 131–164, Ljubljana.
- Herman, J. S., W. B. White, 1985: Dissolution kinetics of dolomite: Effects of lithology and fluid flow velocity. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 49, 2017–2026.
- Hochstetter, V. F., 1881: Die Kreuzberghöhle bei Laas in Krain und der Höhlenbar. – *Denkschriften der math.-naturwiss. Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, 43, 1–18, Wien.
- Hsu, K. J., 1989: *Physical Principles of Sedimentology*. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Jamarski priročnik, 1964, Ljubljana
- Jekič, M., M. Ziokolica, 1988: Pečina Piskovica. – *Speleobih* 1–2/88, 69–78, Sarajevo.
- Jennings, J. N., 1971: *Karst*, Cambridge, Massachusetts and London.
- Kogovšek, J., 1982: Vertikalno prenikanje v Planinski jami v obdobju 1980/81. – *Acta carsologica* 10 (1981), 107–125, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1976/77: Najstarejši objavljeni načrt kraške jame. – *Proteus* 39, 226–267, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1981: Prispevek k poznavanju razvoja kraša v Ribniški Mali gori. – *Acta carsologica* 9/1980, 27–81, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1982: Sedimenti iz Babje jame pri Mostu na Soči. – *Acta carsologica* 10 (1981), 197–212, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1983: Dinamika odpadanja sige v Golobji luknji, Predjama. – *Acta carsologica* 11 (1982), 99–116, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1985: Une exemple de corrosion sur les galets carbonates. – *Spelunca Memoires* 14, 80.
- Kranjc, A., 1986: Transport rečnih sedimentov skozi kraško podzemlje na primeru Škocjanskih jam. – *Acta carsologica* 14/15, 109–116, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1986: Recentni fluvialni jamski sedimenti. – *Doktorska disertacija*.
- Kranjc, A., 1989: Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis. – *Razred za naravoslovne vede*, Dela 27, Ljubljana. Kraški pojavi v trasi avtoceste Kozina–Rupa, 1991, *Postojna*.
- Krivic, P., M. BriceIj, M. Zupan, 1989: Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre. – *Acta carsologica* 18, 263–295, Ljubljana.
- Lajovic, A., 1985: O Podpeški jami v Dobropolju. – *Naše jame* 27, 32–34, Ljubljana.
- Lange, A., 1959: Introductory notes on the changing geometry of caves structures. – *Cave studies* 1–11, 69–90, San Francisco.
- Lange, A. L., 1963: Planes of repos in caves. – *Cave notes*, V5, No 6, 41–48.
- Lauritzen, S. E., 1981: Simulation of ročk pendants – small scale experiment. – 8th international congress of speleology, 407–409, Georgia.
- Lauritzen, S. E., I. Andrew, B. Wilkinson, 1983: Meam annual runoff and the scallop flow regime in a subarctic environment. – *Trans. British Cave Research Association* 10/2, 97–102.
- Lauritzen, S. E., J. A. Abbot, R. Arnesen, G. Crossley, D. Grepperud,
- A. Ive, S. Johnson, 1985: Morphology and Hydraulics of an Active Phreatic Conduit. *Cave Science* 12/4.
- Lesjak, Z., 1977: Sistem Male Boke. – *Naše jame* 18 (1976), 78–82, Ljubljana.
- Lismonde, B., A. Lagmani, 1987: Les vagues d'érosion. – *Karstologia* 10–2, 33–38.
- Lismonde, B., 1987: Une marmite remarquable du Trou qui souffle. – *Karstologia* 10–2, 39–42.
- Maire, R., 1980: La spéléologie physique. – *Spelunca* 1980, N°1 supplément.
- MaIečkar, F., S. MoreI, 1987: Osapska jama v Bržaniji. – *Naše jame*, 29. 47–49, Ljubljana.
- Maucci, W., 1960: Evoluzione geomorfologica successiva a l'emersione definitiva. – *Bolletino della società*

- Adriatica di scienze naturali 51, 165–189, Trieste.
- Maucci, W., 1975: L'ipotesi dell' »erosione inversa«, come contributo allò studio délia speleogenesi. – *Le grotte d'Italia Vol.4* (1973), Bologna.
- Melik, A., 1960: Slovensko Primorje. – Ljubljana.
- Michler, I., 1934: Križna jama. – *Proteus* 5, 97–102, Ljubljana.
- Mihevc, A., I. G a m s, 1979: Nova odkritja v Ledenici v Paradani (kat. št. 742). – *Naše jame* 20 (1978), 7–20, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1989: Kontaktni kras pri Kačičah in ponor Mejame. – *Acta carsologica* 18, 171–194, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1990: Morfologija brezen v odvisnosti od strukture na primeru Velike ledenice v Paradani. – Četvrti skup geomorfologa Jugoslavije, Pirot 20.–23. juna, 71–76.
- Mihevc, A., 1991, MN: Morfološke značilnosti ponorne kontaktnega krasa. – Magistrska naloga.
- Mihevc, A., 1991a: Ravni stropi, inicialni in stropni kanali ter stropne anastomoze na primerih jam Piskovice in Brloga na Rinskem. – *Naše jame* 33, 19–27, Ljubljana.
- Mucke, B., R. Völker, S. Wadewitz, 1983: Cupola formation in occasionally inundated cave roofs. – European regional conference on speleology, Sofia – Bulgaria 22.–28. 9. (1980), 133–137, Sofia.
- Novak, D., 1964/65: Hidrogeologija območja Osapske reke. – *Vesnik* 4/5, serija B, Zavod za geološka i geofizička istraživanja, 81–91, Beograd.
- Palmer, A. N., 1982: Geomorphic interpretation of karst features. – *Ground water as a Geomorphic Agent* – R. G. La Fleur, 173–209.
- Pasquini, G., 1975: Considerazioni sulla percolazione e sulla condensazione. – *Le grotte d'Italia V*, 4/4, (1973), 323–327.
- Quinif, Y., 1973: Contribution à l'étude morphologique des coupoles. – *Annales de spéléologie* 28/4, 565–573.
- Radinja, D., 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. – *Geografski zbornik* 13, 197–243, Ljubljana.
- Rakovec, L., 1951: Jamski lev iz Postojnske jame. – *Razprave 1 SAZU*, 127–172, Ljubljana.
- Rakovec, I., 1954: Povodni konj iz Pivške kotline. – *Razprave 2 SAZU*, 297–317, Ljubljana.
- Rakovec, I., 1954/55: Pivško jezero iz predzadnje mledene dobe. – *Proteus* 17, 265–271, Ljubljana.
- Renault, Ph., 1957: Sur deux processus d'effondrement karstique. – *Annales de spéléologie* 12, 19–46, Paris.
- Renault, Ph., 1958: Éléments de spéléologie karstique. – *Annales de Spéléologie* 13, 21–48.
- Renault, Ph., 1968: Contribution à l'étude des action mécanique et sédimentologiques dans la spéléogenèse. – *Annales de spéléologie* 23/3, 529–596.
- Reynolds, A. J., 1974: *Turbulent Flows in Engineering*. – London.
- Round G. F., V. K. Garg, 1986: *Applications of Fluid Dynamics*. – Avon.
- Rudnicki, J., 1960: [Experimental work on flutes development]. – *Speleologia*, Tom 2, Nr. 1, 17–30, Warszawa.
- Sancin, S., C. Bratos, 1984: Pod Socerbsko planoto, izviri v Dolini. – Jamski odsek Slovenskega planinskega društva v Trstu.
- Scheffer, F., P. Schachtschabel, 1975: *Lehrbuch der Bodenkunde*. – Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Scheidegger, A. E., 1961: *Theoretical geomorphology*. – Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Serbon, M., 1987: Wall microrelief in caves – effect of turbulence. – *Theoretical and Applied Karstology* 3, 1–30, Bucuresti.
- Slabe, T., 1987: Jamske anastomoze v Dimnicah. – *Acta carsologica* 16, 167–179, Ljubljana.
- Slabe, T., 1988: Kondenzna korozija na skalnem obodu Komarjevega rova v Dimnicah. – *Acta carsologica* 17, 79–92, Ljubljana.
- Slabe, T., 1989, MN: Skalne oblike v kraških jamah in njihov pomen pri proučevanju Dimnic, Križne in Volčje jame ter Ledenice na Dolu. – Magistrska naloga, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani.
- Slabe, T., 1989: Skalne oblike v Križni jami in njihov speleogenetski pomen. – *Acta carsologica* 18, 197–220, Ljubljana.
- Slabe, T., 1990: Skalne oblike v dveh poligenetskih jamah visokega krasa. – *Acta carsologica* 19, 165–196, Ljubljana.
- Slovenska kraška terminologija, 1973, Ljubljana.
- ŠebeIa, S., 1991: Površinske geološke strukture in njihov vpliv na oblikovanje Predjame. – Magistrska naloga, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, VTOZD Montanistika, Ljubljana.
- Šikić, D., M. Pleničar, 1975: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100000, list Trst L33–88, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Šušteršič, F., 1972/73: Med Škocjanom in Labodnico. – *Proteus* 35, 320–322, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1982: Morfologija in hidrografija Najdene jame. – *Acta carsologica* 10 (1981), 127–155, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1985: Speleometrična izhodišča za proučevanje jamskih prečnih prerezov. – *Naš krš*, V.11, No.18–19, 81–87, Sarajevo.
- Šušteršič, F., 1991: S čim naj se ukvarja speleologija. – *Naše jame* 33, 73–85, Ljubljana.
- TrudgiII, S. T., 1979: Chemical polish of limestone and interaction between calcium and organic matter in

- peat drainage waters. – Trans. British Cave Research Assoc. 6/1, 30–35.
- Trudgill, S., 1985: Limestone geomorphology. – London and New York.
- Viles, K., 1987: A quantitative scanning electron microscope study of evidence for lichen weathering of limestone, Mendip Hills, Somerset – Earth surface processes and landforms 12, 467–473.
- Viehmann, J., 1959: Contributions a la connaissance de la genèse des marmites. – Speleologia 1/3, 145–175, Warszawa.
- Vukovič, M., A. Soro, 1985: Osnovi hidraulike. – Beograd.
- Vaoru, L., 1986: Process of karst caverns' development and three phases' flow. – Comunicacions, 9° Congreso International de Espeleologia, 273–276, Barcelona.
- White, W. B., 1988: Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. – New York.
- Wilford, C. E., 1966: »Bell Holes« in Sawarak Caves. – Bulletin of the National Speleological Society 28/4, 179–182.
- Zupan, N., A. Mihevc, 1988: Izvor in mineraloška analiza sedimentov v Veliki ledenici v Paradani. – Speleobih, 10. kongres speleologa Jugoslavije, Sarajevo 27.–30.10. 1988, 17–24.
- Zupan, N., 1990: Izvor in mineralna sestava jamskih peskov in ilovic, Magistrska naloga, FNT; Geologija, Ljubljana.
- Zupan, N., 1991: Flowstone datations in Slovenia. – Acta carsologica 20, 187–204, Ljubljana.