

**JAMSKI SKALNI RELIEF, KI GA DOLBE  
VODNI TOK**

**CAVE ROCKY RELIEF HOLLOWED OUT  
BY A TURBULENT WATER FLOW**

**TADEJ SLABE**

**Izvleček**

UDK 551.435.1(497.4)

**Tadej Slabe: Jamski skalni relief, ki ga dolbe vodni tok**

Najbolj izraziti dejavniki oblikovanja kraških votlin so vodni tokovi, ki zpuščajo speleomorfogenetsko pomembne sledi tudi v skalnem reliefu. Predstavljen je nastanek in razvoj najbolj značilnih tovrstnih skalnih oblik. Študij je dopolnjen z laboratorijskimi poskusi z mavcem. Posamezne skalne oblike so povezane v skalni relief, značilen za rove, ki se oblikujejo v različnih hidroloških conah krasa.

**Ključne besede:** jamska skalna oblika, jamski skalni relief, Slovenija, kras, speleomorfogeneza

**Abstract**

UDC 551.435.1(497.4)

**Tadej Slabe: Cave rocky relief hollowed out by a turbulent water flow**

The most important factor that shapes the karst caverns is water flow that leaves important speleomorphogenetical evidences on a cave rocky relief. The origin and development of most typical rocky features of a kind are presented. The study is completed by laboratory tests in plaster of Paris. Single rocky features compose a rocky relief which is typical of the passages shaped in different hydrological zones of karst.

**Key words:** cave rocky feature, cave rocky relief, Slovenia, karst, speleomorphogenesis

*Naslov - Address*

Dr. Tadej Slabe, dipl. geogr.

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Titov trg 2

SI - 6230 Postojna

Slovenija

## UVOD

Velik in koristno berljiv delež jamskega skalnega reliefa oblikujejo podzemeljski vodni tokovi, kar dokazuje tudi proučevanje raznovrstnih jam našega krasa. Zaradi izrazitosti in prevlade nad drugimi skalnimi oblikami so fasete, stropne kotlice, draslje in druge skalne oblike ohranjene tudi v starih, danes suhih rovih. Razlaga načina oblikovanja posameznih skalnih oblik nam nudi možnost tolmačenja skalnega reliefa kot speleogenetske sledi. Fasete, sem že predstavil v Krasoslovnem zborniku (Slabe 1993), tokrat pa dodajam še opis in razlago nastanka ostalih najbolj značilnih skalnih oblik, ki jih dolbe vodni tok. Opisane so tudi značilnosti skalnega reliefa rovov, ki se oblikujejo v različnih hidroloških pogojih. Po literaturi sem zato povzel splošne osnove hidravličnih značilnosti pretakanja vodnih tokov, ter lastnosti vrtinčenja ob gladkih in hrapavih površinah jamskih sten.

Oblikovanje skalnega reliefa sem proučeval v številnih naših jamah. Nastanek in razvoj posameznih skalnih oblik pa sem ponazoril tudi z laboratorijskimi poskusi z mavcem. Zaradi razdrobljene vsebine, ki je posledica večjega števila obravnavanih skalnih oblik, sem pregled literature razdelil po poglavjih. Proučevanje skalnega reliefa je potekalo v okviru projekta Nastanek in oblikovanje kraških votlin, ki ga je denarno podprlo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije. Večina gradiva je bila predstavljena v knjigi *Cave rocky relief* (Slabe 1995). Tokrat pa sem izpostavil predvsem učinkovanje vodega toka na skalni obod jamnskih rovov in kar je bolj pomembno, zbrani so predlogi za slovensko poimenovanje različnih skalnih oblik in procesov, ki jih ustvarjajo.

Raziskave so bile izvedene z denarno pomočjo Ministrstva za znanost in tehnologijo Republike Slovenije v okviru projekta *Kras v Sloveniji 2*.

## HIDRAVLIČNE OSNOVE

Hitrost in način pretakanja vode skozi rov določenega prereza ali povezane rove z različnimi premeri v zaliti coni sta posledici tlaka, pri vodnem toku s prosto gladino pa nagiba rova. Med rovi s prosto vodno gladino so lahko zaliti odseki, sifoni (Habič 1973). Za ožine v zalitih rovih je značilna večja hitrost pretakanja vode in manjši pritisk na stene kot v bližnjih večjih rovih. 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.

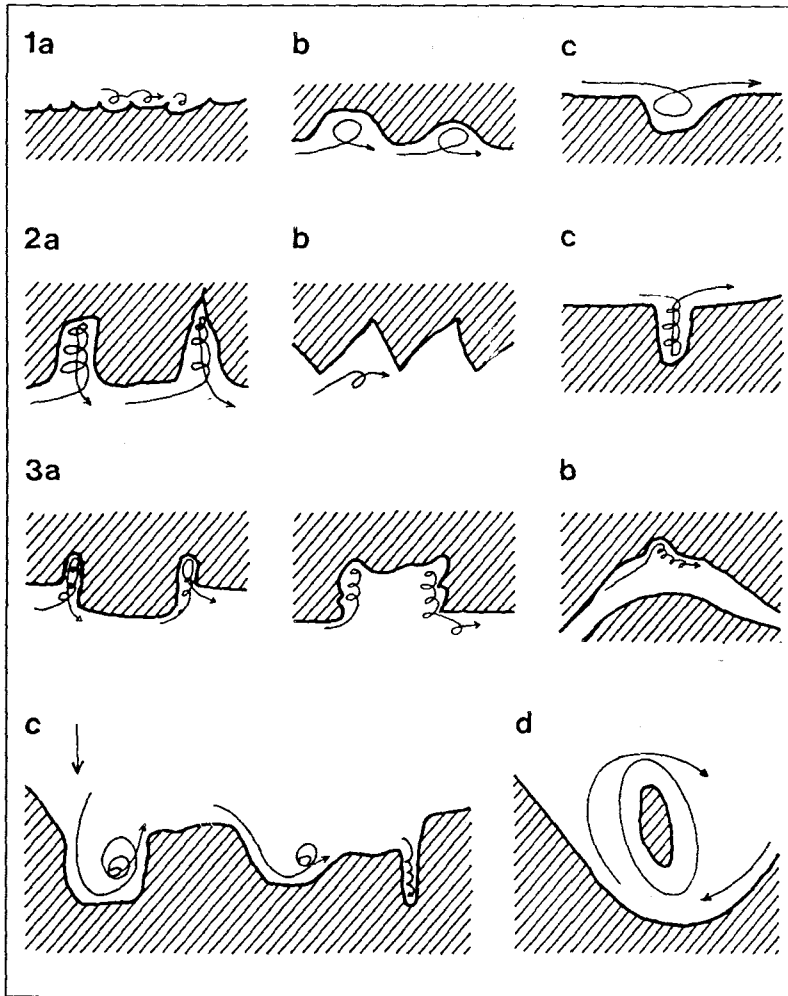
Na hitrost in način pretakanja vodnih tokov vplivajo tudi trenje, ki ga premaguje voda, ko obliva bolj ali manj nehomogeno in razpokano kamnino, izgube energije, ki jih povzročajo stiki rovov z različnimi premeri in nakloni, njihova posledica so hidravlični skoki, in premagovanje ovir v toku (čeri, skale).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

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 (Round & Garg 1986, 22). Po mnenju Serbana (1987, 26) je kritični premer cevi za nastanek turbulentnega toka 2 cm, po Dreybrodtu (1988, 80) 1 cm, White (1988, 275) pa meni, da se turbulentni tok razvije v ceveh širokih 0,5-5 cm, pri 1 cm premera pa nastane okrogli 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 (White 1988, 164; Round & Garg 1986, 22), je tok laminaren, če pa je večje, je tok vrtinčast. Hitrost vrtinčastega toka se spreminja s kvadratom hidravličnega gradienta (White 1988, 163). Vrtinčasti tok v jamah zaradi hrapavosti in oblike rovov nastane pri manjšem  $Re$  kot v gladkih ceveh, kjer je odločilna predvsem hitrost toka. White (1988, 164) navaja kot ločnico med tokovima  $Re = 10$ , Reynolds (1974, 207) pa  $Re = 10-200$ . V odprtih tokovih se voda vrtinči pri Reynoldsovem številu 500 (White 1988, 165). Tokovnice v laminarnem toku so vzporedne s stenami cevi, vrtinčasti tok pa lahko razdelimo na tanko laminarno mejno plast ob steni in vrtinčasto jedro. Hitrost ob stenah je zaradi adhezije delcev viskozne vode nanje enaka ničli (Boreli 1984, 357), od sten proti središču pa narašča in z njo tudi hitrost gibanja delcev vode zaradi vrtinčenja. Laminarna mejna plast, v kateri sta viskoznost in trenje odločilna pri določanju značaja toka (Boreli 1984, 359), se tanjša z večanjem Reynoldsovega števila (White 1988, 163), s katerim korenoma je obratnosorazmerna. Vrtinčasto jedro se približuje steni. Ločimo dva vzroka vrtinčenja. Če je hrapavost stene tanjša od laminarne mejne plasti, je vrtinčenje posledica viskoznosti vode v mejni plasti (Duckworth 1977, 163). Inercialne sile postanejo prevelike, da bi viskozne sile oblažile trenje (Boreli 1984, 392). Če pa je višina hrapavosti večja od debeline laminarne mejne plasti, ovire povzročajo dodatne vrtince (Duckworth 1977, 163). Posamezne večje ovire lahko torej prekinajo mejno plast tudi pri nizkih Reynoldsovih številih. Pri izrazitem vrtinčastem toku se vpliv viskoznosti, izražene v  $Re$ , lahko zanemari (Boreli 1984, 359). Skratka pri visokih  $Re$  številih je koeficient trenja odvisen od hrapavosti kamnine in skorajda neodvisen

od viskoznosti, pri majhnih  $Re$  pa je odvisen predvsem od viskoznosti in le malo od hrapavosti (Reynolds 1974, 5). V rovih zaradi omejene homogenosti kamnine in oblikovanosti sten vpliva na nastanek drobnih oblik (manjše fasete), ki jih vrezuje hitrejši vodni tok, predvsem prvi tip vrtinčenja. Pri nastanku večjih oblik (velike fasete), ki so posledica delovanja počasnejšega toka, je odločujoč drugi tip vrtinčenja. V toku nastanejo torej vrtinci različnih premerov in nestabilnih linij vodnih delcev.

Vrtinec je vrteča vodna masa, v kateri so tokovnice koncentrični krogi, hitrost v vsaki točki pa je obratnosorazmerna s premerom tokovnic (Duckworth 1977, 91). Proti središču vrtinca narašča hitrost, tlak pa se niža. V samem središču vrtinca je hitrost neskončna in viskoznost povzroči, da se jedro vrtil kot trdno telo. Hitrost njegove osi je nič (Duckworth 1977, 92, 93). Manj je tekočina viskozna, manjši je premer vrtinca (Serban 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 (Serban 1987, 17). Število majhnih vrtincev narašča z večanjem Reynoldsovega števila (Serban 1987, 20). Poleg trenja ob obodu povzroča 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 (Duckworth 1977, 182) in na prehodih nastane vrtinčata 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 (Duckworth 1977, 182). Posamezne zajede v steni povzročijo nastanek vrtincev že pri  $Re$  10-200. Vrtinec je odvisen od oblike zajede in se zapleteno spreminja z  $Re$  (Reynolds 1974, 207). Večje vrtinčaste cone (sl. 1/3a) se 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 skale v njej, se sprosti veliko energije. Nastane hidravlični skok in erozija je zato izrazita (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 zaradi manjšanja nagiba po toku navzdol ali tlaka v zaledju. Razporeda hitrosti ter pritiska sta v preseku enaka vzdolž celega toka (Vuković & Soro 1985, 58). Tok je stalni neenotni, ko se njegova debelina, hitrost in tlak spreminjajo skokovito. Zanj so značilni hidravlični skoki (Round & Garg 1986, 283). Posebej sta izdvojena tudi kritični tok, katerega hitrost je enaka hitrosti neskončno majhnih delcev in superkritični tok, ko majhne ovire vplivajo po toku navzdol (Round & Garg 1986, 284). Vodni tok se spreminja tudi v času, poleg osnovnega toka obstajajo še pulzirajoči tokovi (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.



Sl. 1: Značilno vrtnčenje vodnega toka

1. vrtnčenje ob homogeni, nerazpokani kamnini
  - a. fasete
  - b. stropne kotlice
  - c. draslja
2. vrtnčenje ob razpokah
  - a. stropne kotlice
  - b. noži
  - c. draslja
3. vrtnčenje, ki ga povzroča oblika rovov
  - a. stropne kotlice

- b. stenska kotlica na zavoj*
- c. draslje: pod slapom, spuščajoči tok, pred oviro*
- d. draslja ob zavoj*

*Fig. 1: Typical turbulence of water flow*

- 1. turbulence at homogeneous, solid rock*
  - a. scallops*
  - b. ceiling pockets*
  - c. potholes*
- 2. turbulence along the fissures*
  - a. ceiling pockets*
  - b. knives*
  - c. potholes*
- 3. turbulence due to shape of a passage*
  - a. ceiling pockets*
  - b. wall pocket at meander*
  - c. potholes; below a waterfall, falling flow, in front of obstacle*
  - d. pothole; at passage meander*

## PROCESI NA KAMNINI

Procesa oblikovanja kamnine, ki jih povzročajo vodni tokovi, sta predvsem raztapljanje kamnine in njeno mehansko dolbljenje. Pospešujeta tudi razpadanje skalnega oboda.

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

Mehansko delovanje vodnega toka lahko razdelimo na delovanje same vodne mase in dolblenje z materialom, ki ga prenaša voda. Hiter, vrtinčasti vodni tok, ki ima tanko mejno laminarno plast, trga s skalne površine manjše delce, ki jih osami korozija.

Problem korozije mešanice različno nasičenih voda, ali voda z različno temperaturo, ki postanejo spet korozijsko učinkovite (Bögli 1971), sem skušal vrednotiti pri razlagi nastanka stropnih kotlic.

Kavitacija (Scheidegger 1961, 57; Splošni tehniški slovar 1978; Cigna 1983, 481) v kraškem podzemlju še ni dokazana. Je razjedanje materiala zaradi implozije parnih mehurčkov v vodnem toku, nastalih pri znižanem tlaku v področju povečanih hitrosti toka. Cikle kavitacije je Cigna (1983, 481) razdelil na nastanek cone nizkega tlaka v predelih nepravilnosti v toku, na nastanek žepov izparine, ko je lokalni tlak nižji od napetosti izparine in končno 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 tlake, ki lokalno dosežejo desetine megapaskalov. Hitro in veliko menjavanje tlaka vsrka zrak iz por kamnine in povzroči njen razkroj. Cigna (1983, 480) je predpostavil tudi možnost korozije, zaradi oksidacije v vodi, ki je obogatena z mehurčki kisika. Mehurčki se tvorijo v trenutku znižanja tlaka. V majhnih rovih je hitro dosežena največja možna hitrost vode. V večjih kanalih, kjer so večje razlike v tlakih, je kavitacija bolj verjetna. Proučiti bi bilo potrebno sifone, saj vodni tok v njih dosega največje hitrosti, tudi 10 m/s (Kranjc 1986, 209). V zalitem rovu naj bi bile s kavitacijo pogojene tudi oblike, ki nastanejo tik za ovirami, v vadoznem toku pa so takšne oblike pod slapovi. Zaradi kavitacije je skalna površina luknjičasta (Cigna 1983, 485). Serban (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 tlakom 9 m vodnega stolpca. Cigna (1983, 485) predlaga mikroskopsko opazovanje izpostavljene skalne površine zaradi morebitno premaknjenih kristalov.

Na oblikovanje oboda rovov 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 hitri 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 (Herman & 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 korozijsko razjedena, obdržali svoje pravilne oblike. Tudi Ek in 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.

## SKALNE OBLIKE, KI JIH DOLBE VODNI TOK

V tabeli 1 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 vrtncev, ki jih povzroči oblika rovov (sl. 1/3a, b). Procesa njihovega oblikovanja sta raztapljanje in njeno mehansko dolbljenje.

Fasete, ki so ena najbolj značilnih tovrstnih oblik, sem predstavil v 22. številki Krasoslovnega zbornika (Slabe 1993).

### STROPNE KOTLICE

Stropna kotlica (sl. 2), ki doseže meter in več premera, je vdolbina na stropu ali na zgornjih delih sten rova, (fr.: coupole la voute (Renault 1968, 29; Quinif 1973; Maire 1980, 35), marmite inverse, marmite de pression (Gèze 1973, 9); an.: ceiling pocket, solution pocket (Bretz 1942; Bögli 1971; Ford 1988, 43); it.: cupole (Pasquini 1975; Binni & Cappa 1978); nem.: Korrosionskolke (Bögli 1978, 163)).

Kotlice so pogoste sledi vrtnčenja vodnih tokov v epifreatični in freatični coni. Skozi epifreatične vodne rove (Ponikve v Jezerini, Ponor v Odolini, Križna jama, Ponorna jama Lokve v Predjami, Osapska jama, Dimnice, stari suhi tovrstni rovi pa so v Trhlovcu, Brlogu na Rimskem, Stari jama v Postojnski jami in v zgornjih rovih v Predjami) se pretaka srednje hiter vodni tok, po fasetah sklepam na njegovo hitrost od 25 do 50 cm/s. Tla prekrivata prod ali ilovica. 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. Najmanjše kotlice pa so na stropih manjših, ponavadi nekoliko dvigujočih 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). Spodnji deli oboda teh jam so ponavadi mehansko zglajeni: Matijeva jama, Babja jama, ali pa so na njih fasete kot v Kompoljski jami.

Iz skalnih oblik, ki so danes v suhih jamah, sklepam, da so kotlice nastale tudi v globlje zalitih, freatičnih rovih zaradi vrtnčenja 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 (Slabe 1989 b, 209), Brezna na Škrklovici, Mežnarjeve jame in Pečine v Radotah.



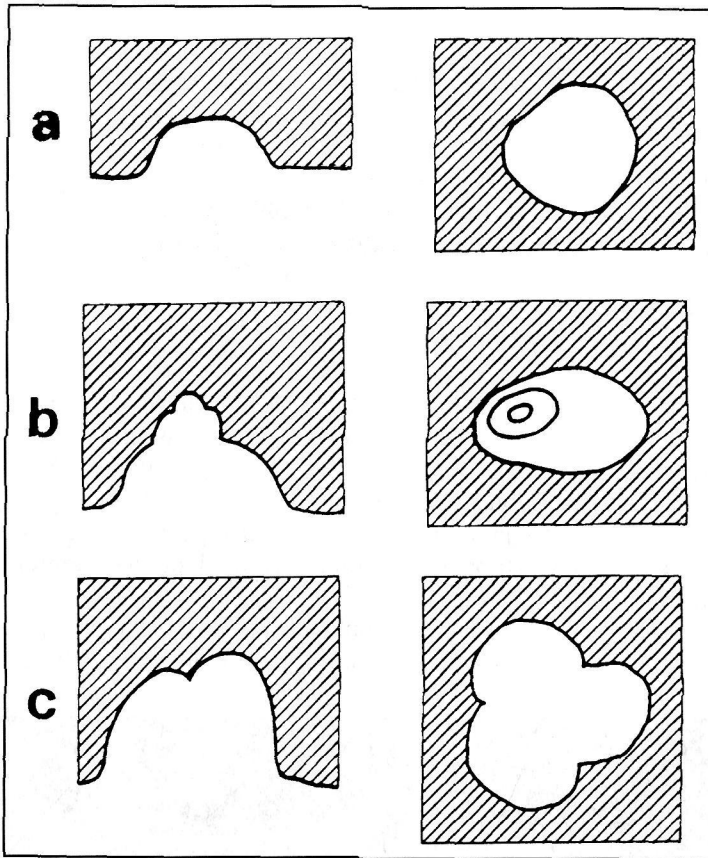
*Sl. 2: Stropna kotlica v Ponorni jami Lokve*  
*Fig. 2: Ceiling pocket in Ponorna jama of the Lokva*

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

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

#### **Oblika, velikost in položaj stropnih kotlic**

Stropne kotlice so samostojne in sestavljene. Samostojna kotlica (sl. 3a) se sama zajeda v skalo. Enostavna je, ko je enotnega, večinoma polkrožnega prereza, ki se oža navznoter. V drugo skupino sodijo samostojne nadstropne kotlice (sl. 3b). Nadstropnost pomeni skokovito spremembo premera kotlice. V tretjo skupino sem uvrstil sestavljene nadstropne kotlice (sl. 3c) na razpokani ali nerazpokani skali. V sestavljenih kotlicah je znotraj večje kotlice več manjših, ali pa so enake in različne kotlice bočno povezane. Sestavljene kotlice



Sl. 3: Tipi stropnih kotlic: vzdolžni in prečni prerez

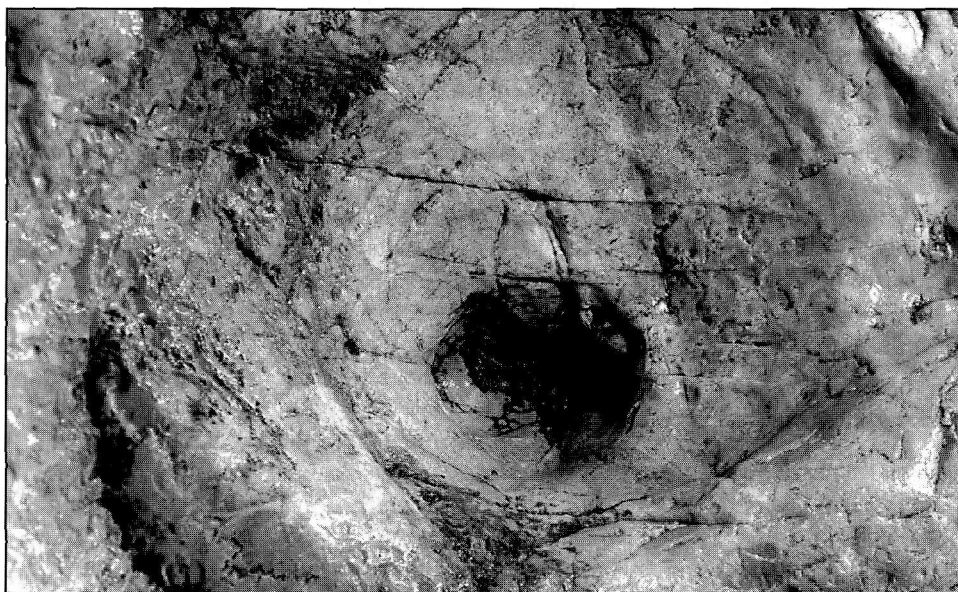
- a. samostojna, enostavna kotlica
- b. samostojna, nadstropna kotlica
- c. sestavljena, nadstropna kotlica

Fig. 3: Types of ceiling pockets: longitudinal and cross section

- a. independent, simple pocket
- b. independent pocket in levels
- c. composed pocket in levels

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 v Zelških jamah, v Stari jami v Predjami in v Baru v Dimnicah (Slabe 1989 a, 29).

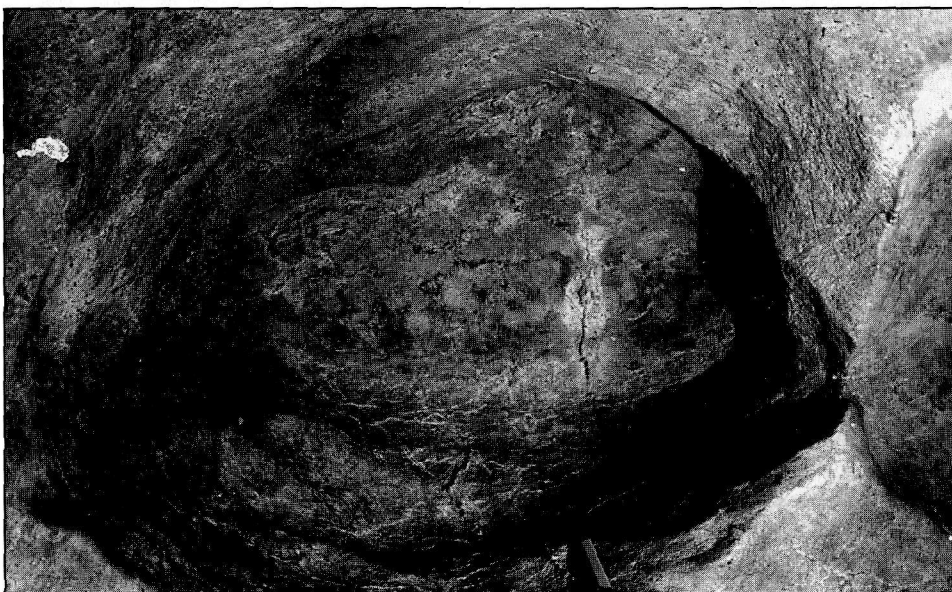
Kotlice v prvi skupini lahko razdelimo na manjše in večje. Manjše kotlice, katerih premer meri od 8 do 15 cm, prav toliko so globoke, so dokaj pravilnih polkrogelnih oblik ali pa so ob razpokah nekoliko podaljšane v elipse. Takšne kotlice so značilne za stropne manjših rovov v izvirnih jamah na vznožju visokega krasa (sl. 4). V Matijevi jami (Slabe 1989 a, 188; sl. 5) 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 ozkih rovih (sl. 6). 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 ponavadi 3-4 krat ožji kot premer odprtine. Kotlice, ki so glede na premer plitke, so polkrogelnih prerezov. Druge so ob nadstropju razširjene. Ob izrazitih razpokah so kotlice ozke in globoke ter imajo oblike valjev, njihova dna pa so krožna in ravna (sl. 7). Poseben primer so spiralasto pogobljene kotlice.



*Sl. 4: Stropna kotlica v Peklu v Babji jami*  
*Fig. 4: Ceiling pocket in Pekel, Babja jama*



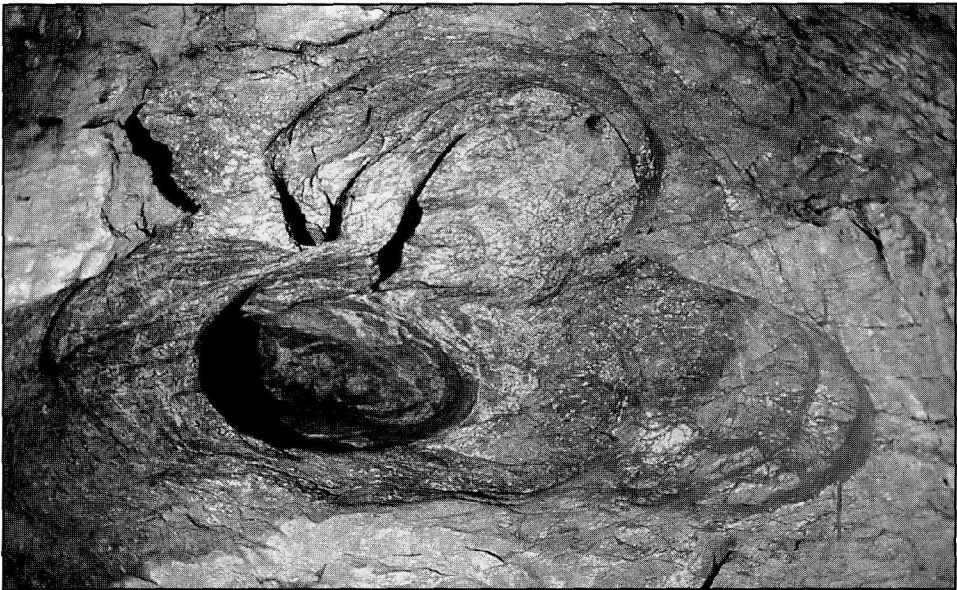
*Sl. 5: Stropne kotlice v Matijevi jami*  
*Fig. 5: Ceiling pockets in Matijeva jama*



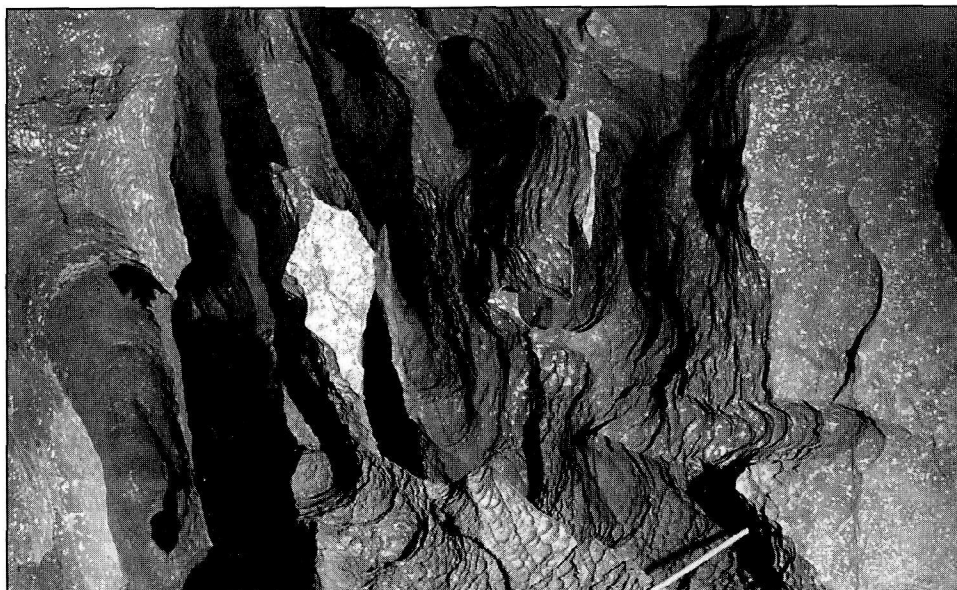
*Sl. 6: Kotlica na zgornjem delu stene Ozkega rova v Ciganski jami*  
*Fig. 6: A pocket at the upper part of the wall in Ozki rov, Ciganska jama*



*Sl. 7: Stropne kotlice v Nebesih v Zadlaški jami (merilo = 15 cm)*  
*Fig. 7: Ceiling pockets in Nebesa, Zadlaška jama (scale = 15 cm)*



*Sl. 8: Stropna kotlica v Stari jami Predjame*  
*Fig. 8: Ceiling pocket in Stara jama, Predjama*



*Sl. 9: Strop sifona v Krožnem rovu Črne jame (merilo = 15 cm)*

*Fig. 9: The ceiling of a siphon in Krožni rov, Črna jama (scale = 15 cm)*

V dno sestavljene kotlice se zajedajo manjše (Slabe 1989 a, 31) ali pa so bočno povezane. Povezujejo se dve ali tri kotlice (sl. 8). Praviloma je ena globlja. Ob razpokah so često povezane v nize. Najbolj gosto pa so kotlice povezane na razpokani skali, kjer so združene v večjo stropno zajedo. Kotlice v zajedi 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. V gosto razpokani skali so lahko anastomozno povezane, saj so robovi med njimi prežrti. Takšne kotlice so dokaj nepravilnih oblik (sl. 9).

Izdvojim naj kotlice, ki so široke 1-3 m in globoke do 1 m. Imajo dokaj ravna dna, njihove osi pa so navpične. Kotlice v Vzhodnem rovu v Predjami imajo na robu manjši žleb. Takšne kotlice so na nekoliko nižjih delih stropa. Prerezi kotlic so polkrožni ali pa so razpotegnjeni ob razpokah. V vodnem rovu Zelških jam dna 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.

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, široke so 20-30 cm in 25 cm globoke. Na odtočni strani ožin so kotlice nekoliko razpotegnjene v smeri vodnega toka, dolge so



*Sl. 10: Stropna kotlica v Ponorni jami Lokve v Predjami*

*Fig. 10: Ceiling pocket in Ponorna jama of the Lokva, Predjama*

1-1,5 m in globoke do 0,75 m. Pogosto so (Babja jama) so nanizane druga za drugo (sl. 10). V ponorni jami Lokve v Predjami je pritočni rob kotlice za ožino prerezan. Pri poskusu na mavcu je najbolj izrazita zajedava s kotlicami nastala pred ožino v cevi.

### **Nastanek in razvoj stropnih kotlic**

Kotlice nastanejo zaradi vrtinčenja vodnega toka ob razpoki, večji nehomogenosti v kamnini ali pa so vrtinci pogojeni z obliko rova. Začetni vrtinci pri nastajanju kotlic so odvisni predvsem od hitrosti in tlaka vodnega toka ter položaja v rovu, nato pa vrtince določa tudi oblika kotlic sama. Že manjši vrtinci nimajo več iztočnih repov, ki so značilni za fasete (Slabe 1993). Začetni vrtinci, ki oblikujejo polkrogelne kotlice, imajo tokovnice pravokotne na steno. Takšno vrtinčenje je značilno tudi za večje kotlice s polkrogelnim dnom, če se kotlica enakomerno širi in pogloblja. 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. To nam potrdi tudi ravno krožno dno kotlic (sl. 7). 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. V sestavljenih kotlicah prevlada eden izmed vrtincev. V Matijevi jami so kotlice združene v kamin, ki ima stene polkrožno razčlenjene.

Nadstropne kotlice so praviloma sestavljene, le redko so samostojne. Pri sestavljenih kotlicah prevladuje eden izmed vrtincev in je nadstropnost zato razumljiva. Skokovita sprememba premera vrtincev je lahko posledica skladovitosti kamnine (Slabe 1989 b, 207) in značilnosti razpoke, če so kotlice nastale ob njej. Se v nadstropnosti kotlice odraža tudi širjenje rovov, upad gladine vode, torej manjši pritisk na stene, in se premer kotlic zato navzgor manjša? Nadstropnost je lahko tudi posledica spremembe smeri strujnic vodnih vrtincev v globljih kotlicah.

Kot smo ugotovili iz oblik kotlic, je za lokalni položaj, nastanek in obliko

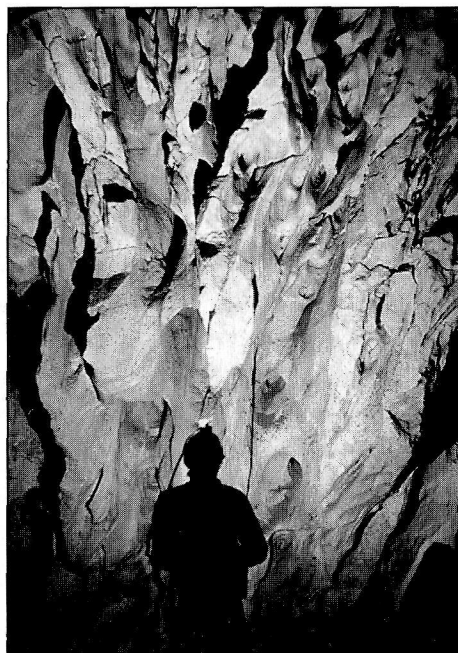


pomembna predvsem razpokanost ali skladovitost kamnine. Večina kotlic je vezana na razpoke in lezike. Če so razpoke izrazite in gosto prepredajo kamnino, kotlice pravilnih oblik ne morejo nastati, ali pa se pravilno razviti. Takšen primer je tudi v Zelških jamah (sl. 11). Na nastanek kotlic manj vpliva sestava kamnine. Kotlice nastanejo tudi na kamnini, katere sestava je preveč nehomogena ali pregosto razpokana, se prehitro drobno kruši, da na njej ne morejo nastati fasete. Tako so kotlice nastale na drobnozrnatem dolomitu v Turkovi jami, na prekristaliziranem apnencu v Finkovi jami, v Predjami pa so se kotlice oblikovale tudi preko manjših leč roženca (Slabe 1994). Stene teh so hrapave.

Kotlice nastanejo lahko tudi ob razpokah na stenah, kjer so fasete (sl. 12; Slabe 1989 a, 84). V površino takšnih kotlic se zajedajo fasete. V zatišjih kotlic so fasete nekoliko večje kot na izpostavljenih delih oboda.

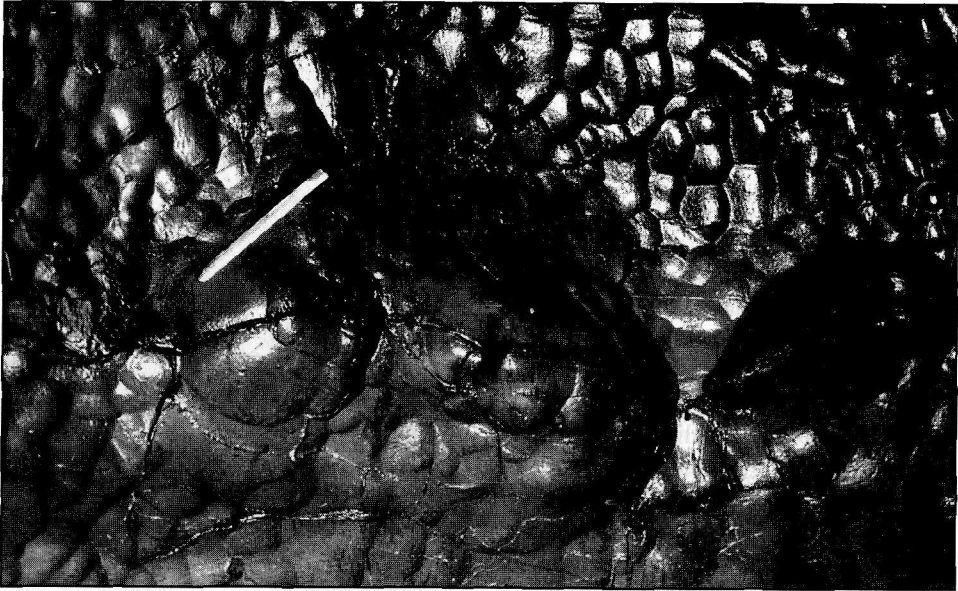
Od nastanka kotlice z vrtincem ali njenega oblikovanja z zračnimi mehurji in od sestave kamnine je odvisna tudi zglajenost njene površine. Kotlice, ki jih obliva hitrejši vodni tok, imajo gladke obode ali pa iz njihove površine štrlijo počasneje topni deli kamnine (Matijeva jama), roženci. Kotlice, v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

Poudaril lahko tudi značilne položaje kotlic v rovu. Kotlice so največkrat na stropu širših in višjih delov rovov, zlasti izrazite so pred in za ožinami, 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. 3). Vrtinčenje vode torej ni povzročeno le z drobnimi ovirami na kamnini, temveč predvsem z značilno oblikovanostjo rovov. To nam je potrdil tudi poskus z mavčno cevjo različnih premerov. V krajšem, prostornejšem delu cevi, torej med ožjima deloma, so nastale le kotlice, v ožjem pritočnem in odtočnem delu cevi pa fasete. Na stikih cevi z različnimi premeri so nastale večje zajedaje s kotlicami.



*Sl. 11: Strop Blatnega rova v Zelških jamah*

*Fig. 11: The ceiling of Blatni rov in Zelške jame*



*Sl. 12: Stenska kotlica s fasetami v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)*  
*Fig. 12: Wall pocket with scallops in Markov spodmol (scale = 15 cm)*

Zakaj so kotlice le na stropu in na zgornjih delih sten, saj se vrtinčenje širi na vse strani? Plinom (Cser & Szenthe 1986, 279), ki so ujeti pod stropom ter pospešujejo korozijo, pripisujem manjši pomen. Odločilen je predvsem razvoj in oblika rogov ter vrtinčenje vodnega toka v njih. Različna sestava kamnine, skladovitost in pretrtost oboda rogov povzročajo različne premere in naklone rogov. S stropa odpadajo večji skalni bloki in nastajajo zajedne. 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 izravnajo, stropovi pa razčlenjujejo. Zato lahko v večini razčlenjenih rogov opazujemo, da so na spodnjih delih sten fasete, na stropu pa kotlice. V enakih hidravličnih pogojih bi na obodu cevastega rova z enotnim premerom nastale večje fasete (Kozinski rov v Lipiški jami), ali pa bi bil rov meandrast. Pri poskusu z mavčno cevjo so kotlice nastale po vsem obodu širšega dela cevi. Podarjena cona vrtinčenja, ki je posledica sprememb premera cevi, se je razširila čez celo dolžino širšega dela cevi. Če bi bil srednji in širši del cevi daljši, bi kotlice nastale le ob razširitvi oziroma zoženju cevi, med njimi pa bi se oblikovale fasete.

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 mehansko. S skalnega površja odnaša še neraztopljene delce. Njihova površina je gladka.

Pogosto se pri razlagi nastanka kotlic omenja pomen plinov s  $\text{CO}_2$ , ki se v vrtinčastem toku dvigujejo navzgor in pospešujejo raztapljanje. Tudi raztapljanje  $\text{CO}_2$  iz zraka, ki je pod visokim tlakom ujet pod stropom, naj bi povečalo lokalno korozijsko stopnjo (Bögli 1978, 158; Ford & Williams 1989, 298; Cser 1988, 132). Nastanek kotlic z ravnim dnom Cser in Szenthe (1986, 279) razlagata s premikanjem zračnih mehurjev pod stropom. Stare kotlice z ravnim dnom, ki nimajo izrazitih znakov vrtinčenja, so tudi v Vodni jami v Lozi in v Divaški jami, na steni pod njimi pa so velike fasete, ki so značilne za globlje 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. Mucke, Völker in 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 vrtinčenja 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. Forti (1989, 72) opozarja na pomen oksidacije sulfidov, ki se vključujejo v konvekcijo. Serban (1987) razpravlja tudi o majhnih vdolbinicah na stropu rovov. Te naj bi bile posledica majhnih vrtincev, ki se razvijajo iz večjih. Bögli pa meni, da so te oblike, zajedene tudi v večje fasete in stropne kotlice, posledica kondenzacije vlage, ki jo stisnejo poplavne vode pod strop. Pri proučevanju majhnih oblik (0,5-3 mm) je treba posebno pozornost poznavanju kamnine, saj so lahko posledica njene sestave.

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 (Bögli 1969). Quinif (1973, 570) tudi nadstropnost kotlic razlaga s korozijo mešanice. Ozke in globoke kotlice je naredil s poskusom. V posodo z vodo je do polovice potopil prelomljeni kamen in skozi razpoko nalival  $\text{HCl}$ . Binni in Cappa (1978, 58) dodajata, da je za nastanek takšnih kotlic potreben počasni vodni tok, ki naj bi sesal vodo iz razpok. Sam korozije zaradi mešanja voda še nisem uspel razložiti. V večini proučenih kotlic pa korozija mešanice ni povzročila njihove nadstropnosti. Pri razlagi stropnih kotlic v Logaški jami kot možni proces njihovega oblikovanja Gams (1964, 13) navaja korozijo mešanice. Poleg kotlic, ki se navzgor zožujejo in njihovega dna ni videti, obstajajo tudi kotlice, ki imajo ravna krožna dna, kar je sled vrtinca. Korozija mešanice verjetno lahko razširi razpoke, da jih lažje izkoristi vrtinec. Tako ugotavljata tudi Ford in Williams (1989, 298). Razpoke pa lahko širi tudi voda, ki prenika v občasno suh rov, seveda če se pri prenikanju ne nasiti. V že suhi Logaški jami je prenikajoča voda med kotlicami oblikovala večje kamine.

Najvišje vode v večjih delih rovov, skozi katere se pretakajo počasneje, odlagajo ilovico na zgornjih delih oboda. Ilovica se obdrži tudi na položnejših stenah globljih kotlic, ko se iz nje izceja voda, vrezuje podnaplavinske žlebiče (Slabe 1994a).

## **DRASLJE**

### **Oblika, velikost in položaj draselj**

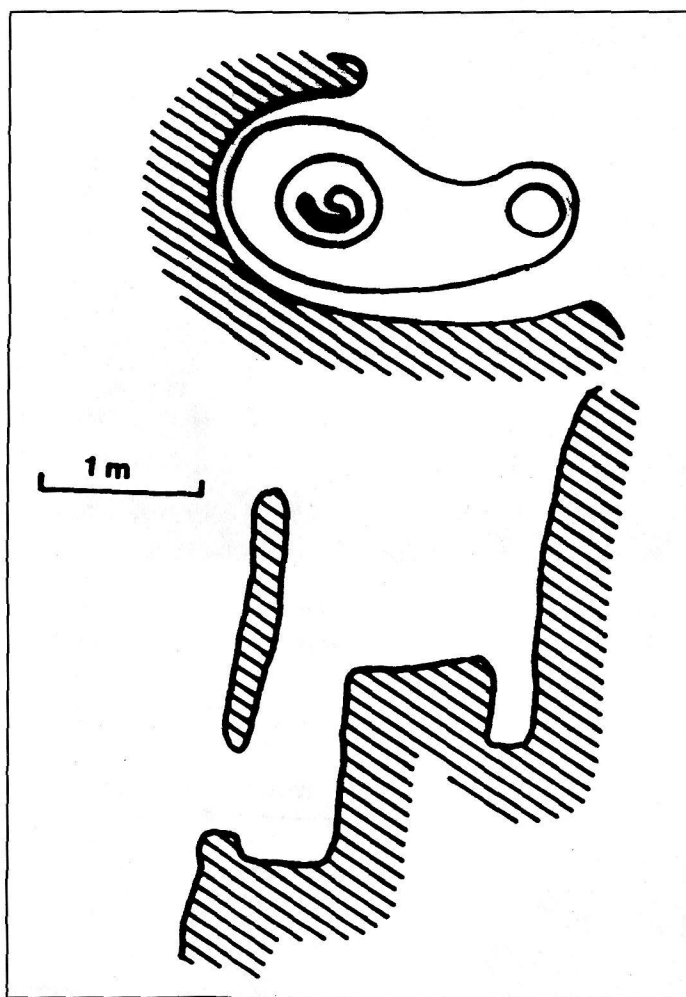
Draslje (fr. marmite de géant (Renault 1958, 30, 31; Viehman 1959; Corbel 1962; Gèze 1973, 9; Maire 1980, 35; Lismonde 1987), an. pothole (Bretz 1942); nem.: Erosionskolke (Bögli 19789, 165)) so samostojne (sl. 13) ali sestavljene (sl. 14) kotlice na skalnih tleh rovov. V sestavljenih drasljah ena prevladuje. So enostavne ali pa nadstropne. Izdolbe jih vodni tok, ki vrtinči tudi prod in pesek.

Draslje lahko razdelimo polkrogelne in na tiste, ki so globlje od premera odprtine (sl. 1c). Manjše draslje prve skupine imajo premer velik 5 do 10 cm in dokaj pravilno obliko polkrogle. Pogosto so podaljšane na odtočni strani. Le redko so majhne draslje globlje od premera odprtine, če pa so že, njihovo obliko pogojuje položaj pred oviro (sl. 1c). Velike polkroglaste draslje, katerih premer preseže tudi meter, so glede na velikost plitke. V njihovo dno se pogosto zajeda polkrožna vdolbina z ravnim dnom. V drugo skupino sodijo



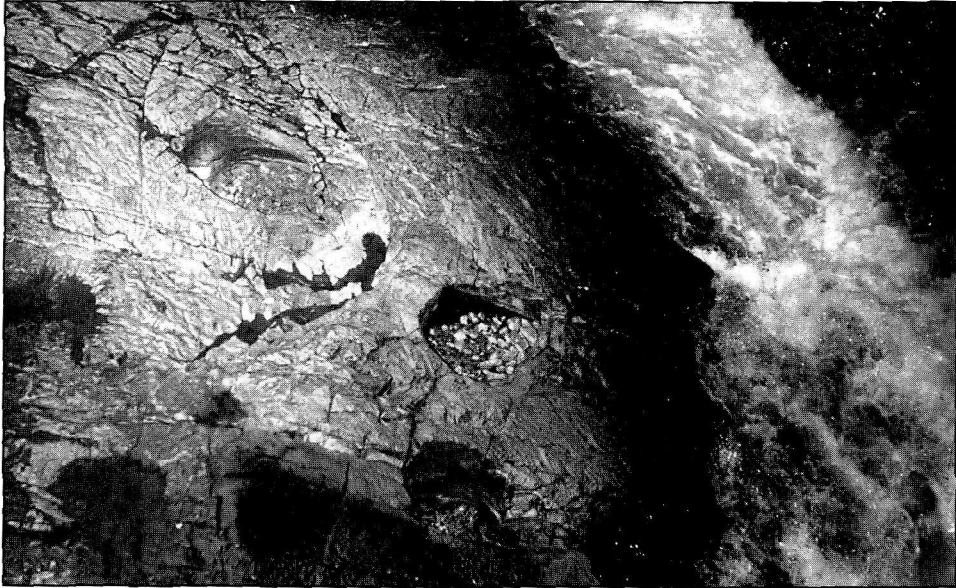
*Sl. 13: Draslja v Kopalnici v Mali Boki (merilo = 15 cm)*

*Fig. 13: Pothole in Kopalnica, Mala Boka (scale = 15 cm)*

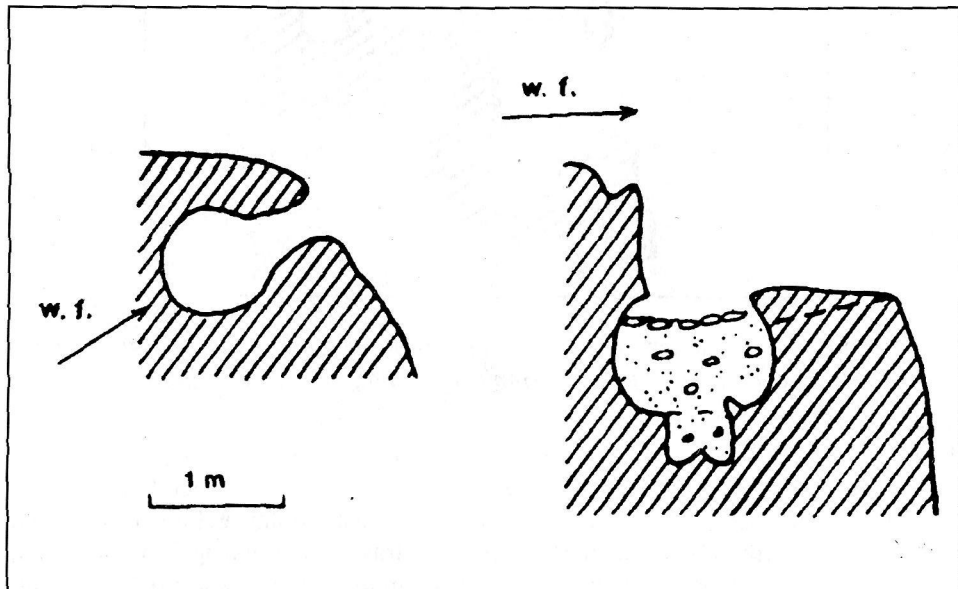


Sl. 14: Draslja na skalnem bloku v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah  
Fig. 14: Pothole in rocky block in Hankejev kanal, Škocjanske jame

draslje, ki so globlje od premera odprtine. Njihove stene so navpične, draslje se navznoter ožijo (sl. 13), polkrožno širijo (sl. 15) in so različnih premerov, od 20 cm do več metrov. Pritočni robovi, zlasti polkrogelnih draselj, so nekoliko bolj strmi kot odtočni. Dna plitkih draselj so polkrogelno zaobljena, dna globljih draselj pa so ravna, se zožujejo, imajo na dnu spiralo (sl. 16) ali pa na sredini široko konico. Pogosto je v draslji ostalo kamnito jedro, ki je nagnjeno v smeri vodnega toka. Manjše polkrogelne draslje, ki so nastale ob razpokah, so razpotejnjene v elipse, skorajda vse večje pa imajo bolj ali manj



Sl. 15: Draslje v Šumeči jami v Škocjanskih jamah  
Fig. 15: Potholes in Šumeča jama, Škocjanske jame



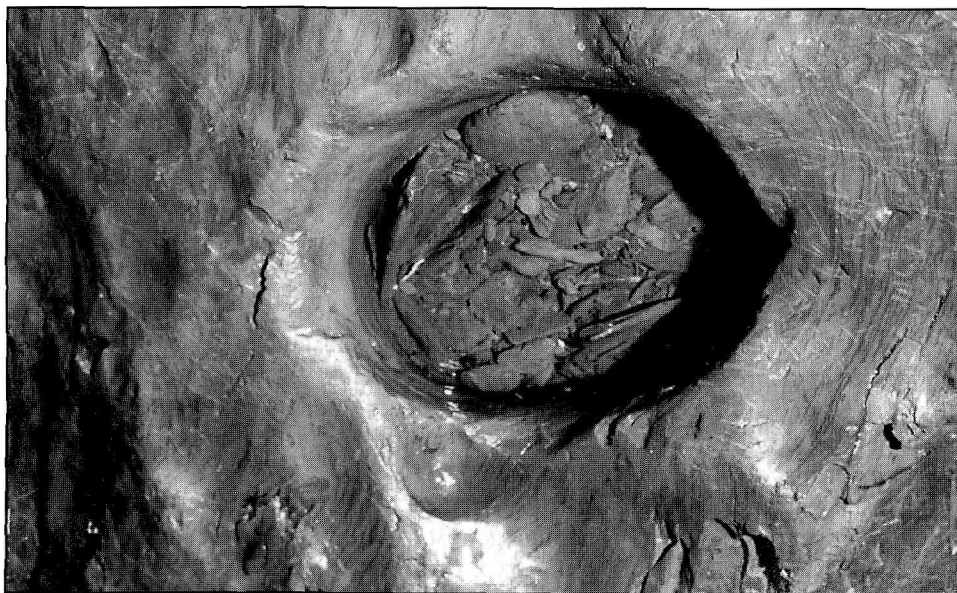
Sl. 16: Draslja na skalnem bloku v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah  
Fig. 16: Pothole in rocky block in Hankejev kanal, Škocjanske jame

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. 15) zgornje stene višje. Draslje na skalnih blokih so pogosto podaljšane v iztočne repe (sl. 16) ali pa se na odtočni strani nadaljujejo v žlebove.

### **Draslje nastanejo v 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 (Slabe 1989 a, 86, 87). Obod okoli draslje je mehansko zglajen v Babji jami, v Polhovem rovu v Mali Boki pa je brečasta skala grobo hrapava (Slabe 1994). Gladka je tudi površina draselj, ki so nastale na kremenovem peščenjaku v Smoganici (sl. 17). Mikroskopska opazovanja nam pričajo o trenju trdnih delcev ob skalno površino, kar povzroči njeno drobno hrapavost, ki jo s prostim očesom opredelimo kot gladko.

Velike draslje so v prostornejših rovih za ožinami. V Babji jami 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



*Sl. 17: Draslja v peščenjaku v Smoganici*  
*Fig. 17: Pothole in sandstone, Smoganica*



Sl. 18: Draslja pod breznom v Beško Ocizeljski jami

Fig. 18: Pothole below the shaft in Beško Ocizeljska jama

strugah, kakršna je v Ponoru v Odolini, kjer draslje dosežejo 1 m premera. V Beško Ocizeljski jami so pod brezni nastale draslje (sl. 18), ki imajo 5 m in več premera, njihovo dno pa zaradi prodne naplavine ni vidno. Draslje so 1-2 m 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 skalah, ki prekrivajo strugo. Opazoval sem nekaj primerov v Hankejevem kanalu v Škocjanskih jamah. Na pritočni zgornji ploskvi skale nastane polkrožna zajeda, ki je prečna na smer vodnega toka in široka 0,5 m. Na pritočni strani je zajeda plitkejša, na odtočni strani, kjer so v nizu razvrščene manjše kotlice, pa je njena stena strma. Na odtočni strani skal so kotlice pogosto nanizane v nižjih zajedah in imajo

odtočne žlebove. Draslje nastanejo tudi med skalami, ki tesno druga ob drugi prekrivajo strugo. V Markovem spodmolu je kotlica na skalni čeri.

### Nastanek in razvoj draselj

Pri nastanku in oblikovanju draselj ima odločilen pomen material, ki se vrtinči v vodnem toku. Draslje zato praviloma nastanejo na spodnjih delih oboda rovov, preko katerih voda prenaša večino grobozrnatega vlečenega tovora (Kranjc 1986, 24). V ožjih rovih lahko mehansko delovanje hitrega vodnega toka oblikuje ves obod (Babja jama), vendar je njegov vpliv zaradi teže materiala največji na skalnih tleh.

Draslja nastane na mestu izrazitega vrtinca. To je v enakomerno oblikovanih rovih določeno predvsem z nehomogenostjo ali razpoko v kamnini, torej s točko šibkosti, v razčlenjenih rovih pa z opisanimi položaji, v katerih se razvije izrazito vrtinčenje. Oblika draslje nam odraža značilnost vrtinca v njej. Draslje, ki so glede na premer plitke in imajo polkrogelna dna, večkrat tudi iztočne repe, oblikujejo vrtinci, katerih tokovnice krožijo pravokotno na steno. Draslje,

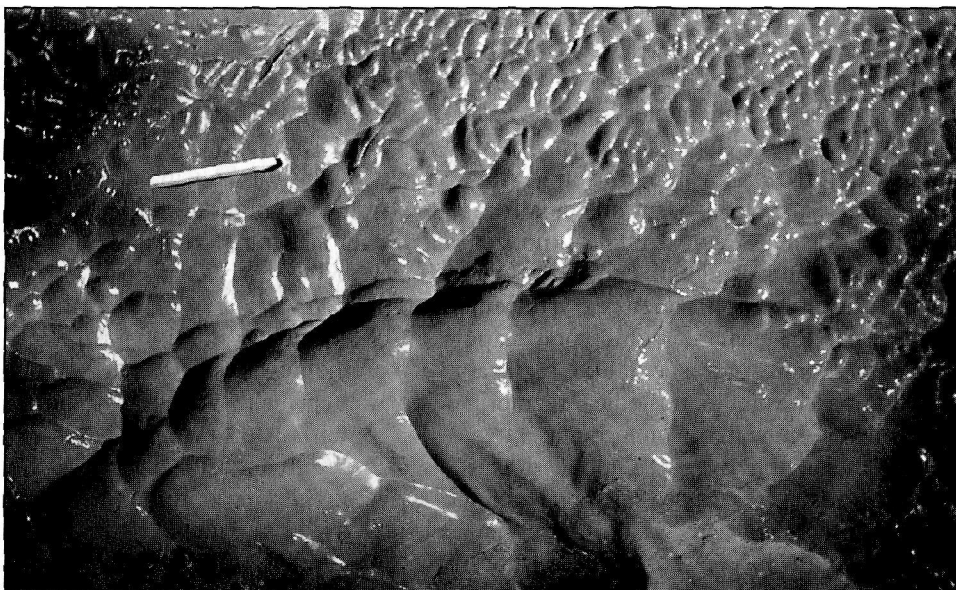


ki so globlje od premera odprtine, njihova dna pa so ravna ali spiralasta, pa dolbejo svedrasti vrtinci, katerih tokovnice so skorajda vzporedne z dnom. Večji prodniki, ki so v večjih kotlicah, izpričujejo večjo moč dolbenja vode. Velikost draslje torej ni neposredna posledica hitrosti toka. Premeri vrtincev v hitrejšem vodnem toku so manjši, hiter in močan tok pa prenaša več večjega materiala. Pri oblikovanju draselj je torej pomembna tudi količina vode, ki z večjim pritiskom deluje na stene, 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 posledica razmerja hitrosti in pritiska vode na kamnino ter količine in velikosti materiala, ki ga voda prenaša. Je seveda tudi odsev časa njenega oblikovanja. Globlje draslje so nad dnom pogosto zožene ali pa se cela draslja stožčasto zožuje (Habič & Krivic 1972, 105). To je posledica manjše moči vode v globini. 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 občasno ali nekdanji večji moči vodnega toka. Zaradi prevladujočega pomena mehanskega dolbljenja pri nastanku draselj, se lastnost kamnine in njena razpokanost na obliko draselj, razen najmanjših, ne odraža. Draslje imajo večinoma pravilne krožne prereze. 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 Hankejevega kanala so 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 nimajo sledov brušenja sten. Njihova dna sestavljajo zavita rebra, ki so razporejena v rozeto (sl. 19). 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 drobno hrapava. Podobna je površini manjših faset, ki tudi nastanejo v zatišnih legah. V *Le trou qui souffle* (Lismonde 1987) je velika talna kotlica s fasetami na stenah. Torej brez izrazitih sledi mehanskega delovanja vode, ki so značilne za draslje.

Draslje nastanejo 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



*Sl. 19: Stenska kotlica v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)*

*Fig. 19: Wall pockets in Markov posmol (scale = 15 cm)*

količino tovara so pogosti v ponorih jamah (Škocjanske jame, Beško Ocizeljska jama, Novokrajaska jama, Ponikve v Jezerini) ali pa v izvirnih jamah, ki imajo občasno v zaledju visok vodni tlak (Babja jama, Matijeva jama). Prod v slednjih je avtohton. Preoblikovana so tudi dna strug v večjih pretočnih jamah (Križna jama, Vzhodni rov v Predjami). Draslje v teh jamah so praviloma manjše. Oblikuje jih počasnejši vodni tok.

Hiter vodni tok, ki lahko prenaša grobozrnat material, teži k odnašanju naplavin iz jam (Kranjc 1986, 278) in odkriva ter 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, ki so večji 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 mehanskemu dolblenju z vodnim tokom. Peščenjak je manj odporen in lažji. Voda že pri manjši hitrosti v svoje vrtinčenje vključuje prodnike iz peščenjaka.

Voda lahko dolbe kamnino hkrati z drugimi procesi. Delno preoblikovane fasete smo že omenili (Slabe 1993, 1996). V Matijevi jami pa so na tleh ozke (nekaj cm) in razmeroma globoke vdolbinice z navpičnimi stenami. Vdolbinice

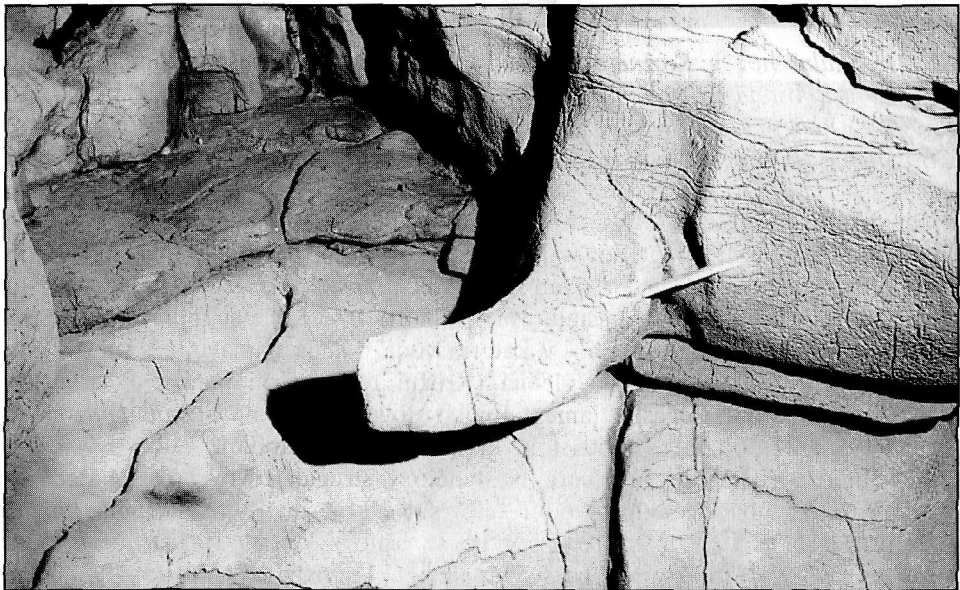
so nastale kot splet korozije pod drobnozrnato naplavino, ki jo odlaga nižja poplavna voda in mehanskega dolbljenja s peskom, ki ga vrtinči občasni hiter vodni tok, ko bruha iz jame.

### **STEBRI, ROGLJI, NOŽI, ČERI IN MOSTIČI**

Združeni so večji deli kamnine, ki štrlijo iz skalnega oboda. Opisane (Slabe 1994) so že manjše štrline na stenah, ki jih obliva vodni tok. Hrapavost je predvsem posledica sestave kamnine. Iz površine štrlijo deli kamnine, ki sestavljajo brečo v Mali Boki, večji kristali apnenca v Velikem Hublju, vezivo konglomerata v Smogancici.

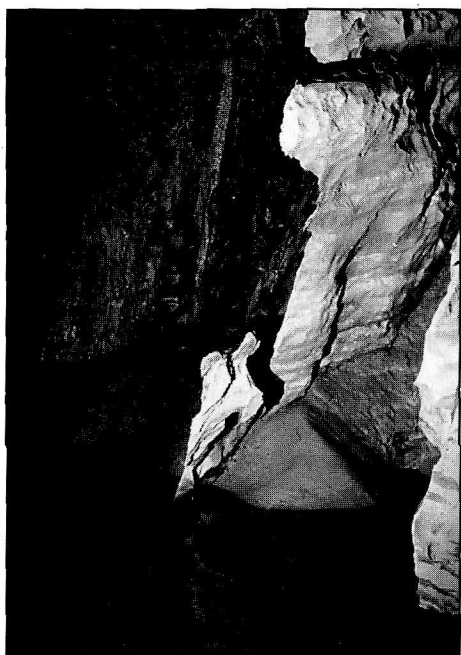
Stebri (an.: pillar (Lange 1959, 81)) so večji, navpični deli oboda rovov. Imajo oglete prečne prereze. Nastali so ob razpokah, ki pokončno prepredajo kamnino. Pri oblikovanju stebrov so razpoke razporejene redkeje, ob gosti mreži razpok namreč nastanejo noži.

Rogljji so posamične štrline, ki imajo ovalne prečne prereze. Njihova pritrdišča so ponavadi enako široka kot končni deli. Lahko so tudi razčlenjeni. V veliki niši za vhodom v Križno jamo je rogelj (sl. 20) na steni ostal kot odpornejši del kamnine med velikimi fasetami. Nastal je torej v zalitem rovu zaradi počasnega vodnega toka.



*Sl. 20: Skalni rogelj v niši za vhodno dvorano v Križni jami, njegova površina je razjedena s kondenzno korozijo*

*Fig. 20: Rocky cusp in a niche behind the entrance chamber, Križna jama; its surface is etched by condensation corrosion*



Sl. 21: Skalni nož v Krožnem rovu v Črni jami (Postojnske jame)

Fig. 21: Rocky knife in Krožni rov, Črna jama (Postojnska jama)

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 ali od smeri vodnega toka, tako kot kamnino prepredajo razpoke, med katerimi so nastali. Na nožih so fasete, 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). Enako dolge štrline na stropu (pendants; Bretz 1956, 22) oblikuje vodni tok, ki rov občasno zapolni.

Posamične štrline so tudi čeri. Nastanejo v strugah rovo, skozi katere se pretaka hiter, pogosto odprt vodni tok. Največkrat imajo razmeroma močna pritrdišča (Slabe 1989 a, 88) navzgor pa se ožijo v konico. Takšne čeri vodni tok preplavi. V Vzhodnem rovu v Predjami je 1,5 m visoka čer (sl. 22), ki je najožja na spodnji tretjini, navzgor pa se razširi. Na najožjem delu, na pritočni strani, je nekoliko globlje zajedena in gladka. Na ostalih stranicah pa čer prekrivajo fasete. Tok je strugo naprej hitro poglobil, nato pa so prevladale srednje visoke vode in čer je do njihove gladine zato ožja. V Markovem spodmolu je večja čer, ki ima na vrhu plitko drasljo, na pritočni strani pa

Nože (skalni nož, Slovenska kraška terminologija, 1973, 26) imenujem podolgovate štrline, ki se navzven ožijo. V Divaški jami so na steni širši noži, 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. 11) in v Podzemeljski Pivki (sl. 9). Oblikoval jih je počasnejši tok v zalitih rovih. Ožji in ostri noži prepredajo strop v Malih jamah v Postojnski jami in v Mali Karlovinci. Na stenah rovo so srednje velike fasete. V Krožnem rovu v Črni jami (Postojnska jama) so na stenah tanki noži (sl. 21), ki so razčlenjeni, robove pa imajo nazobčane. Skozi rov se občasno pretaka vodni tok s hitrostjo 0,25 m/s. V pritočnem delu Vzhodnega rova Predjame, ki je oblikovan ob porušeni coni in prečno nanjo, so kratki noži, ki imajo razmeroma močna pritrdišča, a ostre robove. So na stenah, stropu in na tleh. Skozi rov se višje vode pretakajo



*Sl. 22: Čer v Vzhodnem rovu Predjame*  
*Fig. 22: "Čer" in Vzhodni rov, Predjama*



*Sl. 23: Čer z erozijsko kotlico v Markovem spodmolu (merilo = 15 cm)*  
*Fig. 23: "Čer" and erosion pocket in Markov spodmol (scale = 15 cm)*

polkrožno zajedo (sl. 23). Na ostalih stenah čeri so fasete. 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 v širšem delu vodnega rova v Križni jami so razčlenjene v več krakov. Njihovi robovi so nazobčani in na njih so podnaplavinske vdolbinice (Slabe 1992, 24). Čeri so le občasno poplavljene in zato podnaplavinska korozija prevladuje nad kratkotrajnim delovanjem višjega vodnega toka.

V Golobini je vodni tok prežrl stenski nož. Nastal je mostič (natural bridge (White 1988, 102), window (Jennings 1979, 21)).

Oblika štrlin, ki so največkrat posledica vrtinčenja vodnega toka ob razpokah in lezikah, je rezultat razmerja med lastnostmi razpok in njihovo razporeditvijo ter hitrostjo in vodnim tlakom. Hitrejši je vodni tok, bolj koničaste in kratke so štrline. 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.

### **STENSKÉ NIŠE**

Niše (Slovenska kraška terminologija 1973, 22) so večje polkrožne ali podkvaste vdolbine z metriskimi premeri. Niše v zgornji etaži Dimnic (Slabe 1994) in v Križni jami (Slabe 1989 a, 29) so oblikovali večji vrtinci, na kar kažejo tudi kotlice na zgornjih delih sten in na stropu. Vrtinčenje je povzročilo hitrejšo 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 Križne jame, so manjše stenske niše, ki imajo 1 do 2 m premera. Nastale so zaradi vijuganja počasnega vodnega toka po drobnozrnati naplavini (an.: meander niche (Bretz 1956, 18)). Vodni tok odlaga naplavino zlasti na notranji strani vijug, 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 vijuge.

Podkvaste niše so posledica vijuganja vodnega toka ob pravokotni mreži 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, ki ga je oblikoval počasen vodni tok, spremenil v vadozni prevodnik in hitri vodni tok si je skrajšal pot (Slabe 1989 b, 217). Tudi zaradi zapolnjevanja rovov z naplavinami in sigo, si voda poišče novo pot ali preseka vijuge. Če se rov nato večja, ostanejo takšne niše oblike v steni, mnogokrat pa so to stranski rovi.

### **STENSKÉ IN STROPNE ZAJEDE**

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

Zajede so lahko sledi združevanja rovov. V Fiženci v Predjami sta se združila manjši zgornji in večji spodnji rov. V Ponoru v Odolini pa kažejo na vzporedno združevanje manjših rovov (sl. 24).

Plitke zajede so pogosto na vseh stenah večjih rovov (Križna jama, Markov spodmol, Dimnice). Prekrivajo jih fasete. Odražajo dolgotrajnejši nivo vodnega toka (water level horizon, Lange 1963, 41). Rov se je poglobljal (vodni rov v Škocjanskih jamah), ali pa se je voda pretakala nad prodno naplavinno (Slabe 1989 a, 24, 27). V Trhlovcu je zgornji del meandrastega rova razčlenjen v zajede s premerom 1 do 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 jami in v Ključavnici v Vodni jami v Lozi. Zajede izpričujejo poglobljanje rova z različnimi pretoki vodnega toka.

Velikost in oblika zajed sta torej posledici velikosti vodnega toka, njegove hitrosti ter trajanja na določenem nivoju. Enakomerno hitro vrezovanje toka navzgor ali navzdol ustvari kanjonske rove brez stenskih zajed (Brlog na Rinskem). Povečan vodni pretok lahko preoblikuje manjše zajede. Pomembno je ločiti opisane zajede od zajed, ki so posledica hitrejšega zajedanja vode ob



*Sl. 24: Stropni zajedi v Ponoru v Odolini*

*Fig. 24: Ceiling notches, Ponor v Odolini*

lezikah ali razpokah in od zajed, ki so posledica različne odpornosti skladov kamnine (Smogonica). Tako lahko nastanejo tudi navadne ali inverzne stopnice.

Pogosto se zajede preoblikujejo zaradi naplavine, ki jo na njihovih položnih spodnjih delih odlaga voda. Naplavina jih štiti pred korozijo. Voda se zato zajeda v bok in zgornji del zajede.

Stenske zajede so tudi na zgornjih delih oboda rovov (Slabe 1989 a, 23, 36), ki so bili zapolnjeni z ilovico, nad katero se je pretakala voda (Kamnešča, Ciganska jama). V večjih rovih so na stenah zajed 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 v jezerih. Ford (1988, 46) razlaga njihov nastanek s celično konvekcijo, ko se potaplajo 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 (Ford & Williams 1989, 307). Stenske zajede so nastale tudi ob gladini vode pri poskusu oblikovanja nadnaplavinskih žlebov na mavcu (Slabe 1992).

### **TALNI ŽLEBOVI**

Ločim žlebove, ki jih vrezuje vrtinčasti vodni tok in tiste, ki so posledica pretakanja manjših količin vode po skalnih tleh.



*Sl. 25: Vzdolžni talni žlebovi na skoku struge v Markovem spodmolu*

*Fig. 25: Longitudinal bottom channels in the riverbed jump, Markov podmol*



V Markovem spodmolu so na strmem skoku struge (750) vzdolžni talni žlebovi (sl. 25). Široki so 30 cm in globoki 15 cm. Razčlenjeni so v prečne, plitve polkrožne zajede. So posledica prelivanja hitrega in plitkega vodnega toka, ki se razdeli v vzdolžne tokovnice. Podobni žlebovi so nastali tudi pri poskusu, ko se je plitev tok pretakal po mavcu. Žlebove razčleni vrtinčenje, podobno tistemu, ki vrezuje rebra.

V Ponoru v Odolini je na najnižjem delu strme struge polkrožen vzdolžni žleb (Slabe 1994). Njegova površina je fasetirana. Večja količina vode, ki žleb občasno zapolni, vrezuje majhne fasete.

Na pritočnih in odtočnih delih večjih skal v vodnih strugah nastanejo prečne žlebaste vdolbine. V žlebovih, ki so na začetku skale in so na pritočni strani plitvejši, na odtočni pa bolj strmi, na koncu skale pa je nižja odtočna stena žleba, so namreč pogosto manjše draslje. Takšne žlebove lahko vidimo v Hankejevem kanalu Škocjanskih jam. Za manjšimi skalami na tleh skalnih strug (Novokrajska jama), za prečnimi grbinami in ob večjih prečnih razpokah nastajajo manjši prečni žlebovi. Tudi ti so pogosto poglobljeni 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 plitvega vodnega toka 1 cm širok in 0,5 cm globok prečni žleb. Voda v žlebovih se razdeli v posamezne vzporedne vrtince in žleb je zato lahko razčlenjen v rebra.

Na odtočni, navzdol nagnjeni površini velike skale v Hankejevem kanalu, so nastali ozki vzdolžni žlebiči, ki so različno dolgi. Med njimi so zaobljeni razi. Žlebiči so posledica goste vzdolžne razpokanosti kamnine. Če jih oblikuje tudi voda, ki se plitvo preliva čez skalni blok, in kakšen je pomen nihanja vodne gladine, še nisem uspel ugotoviti.

V drugo skupino sodijo žlebovi, ki so sled pretakanja manjših količin vode po skalnih tleh.

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. 26). Žleb je zgoraj širok 1 m, spodaj, kjer se pretaka voda, pa le nekaj cm. Majhen naklon tal je povzročil vijuganje manjše količine vode. Na posameznih mestih si je voda že skrajšala pot in zavoje zapustila. Ozko dno žleba je gladko, stene, ki so polkrožno razširjene zaradi pretakanja občasnega vodnega toka skozenj, pa so prekrte z manjšimi fasetami.

Na bolj strmi strugi v Ponoru v Odolini je raven žleb (Slabe 1994 a), ki je na dnu širok 5 cm in ima prečni prerez oblike črke V s prirezano konico. 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 rovov.

Nekoliko večji, 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 plitvega polkrožnega prereza in so do 5 cm široki. So posledica pretakanja majhne količine vode iz višjih jezer. Rovi izvirne jame



*Sl. 26: Talni žleb v Markovem spodmolu*  
*Fig. 26: Bottom channel, Markov spodemol*

se zlasti v pritočnem delu jame dvigujejo navzgor, proti izhodu, in ob nizkih vodah ujeta voda odteka proti smeri vodnega toka.

Vijugasti žleb, ki je širok do 50 cm in je 15-20 cm globok, na strmih odsekih pa je globlji in ožji, je tudi na tleh ozkega rova v Ciganski jami. Tla širšega dela žleba so sestavljena iz dveh vzporednih nizev plitkih kotlic. 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 vijugasti 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 je 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 100 (Osapska jama). Vijugasti žlebiči nastajajo tudi v gorskih jamah pod brezni ali pa na dnu meandrov, ki vežejo brezna (Velika ledenica v Paradani). Nastanek tovrstnih žlebov je mogoč le, če tla ne prekriva naplavina ali podorno skalovje. Gola tla pa so najbolj pogosta v rovih, skozi katere se vsaj občasno pretaka hiter in močan vodni tok. In res je v takih rovih, v katerih so na višjih delih kotanje z ujeto 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 prekrte 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 rogov, ali pa kot mlajše oblike v že oblikovanem rogu, kot je to primer v Ciganski jami.

### **STROPNI ŽLEBOVI**

Na nagnjenem stropu ( $45^\circ$ ) pod ponornim breznom v Ponoru v Odolini so plitki in do 5 cm široki, vzdolžni žlebovi (Slabe 1994 a, 158). Dna širših delov žlebičev so ravna, ožji pa imajo polkrožne prečne prereze. Med žlebovi so zaobljeni robovi. Na odtočni strani se zaključujejo v polkotličaste zajede. Nastali so z oblivanjem previsne stene z večjo količino vode, ki hitro odteka s skale.

### **POVRŠINA SKALNIH OBLIK POD VELIKIMI POVEČAVAMI ELEKTRONSKEGA VRSTIČNEGA MIKROSKOPA**

Površino jamskega skalnega reliefa sem natančneje že opisal (Slabe 1994 b). Tokrat naj povzamem izsledke o površini skalnih oblik, ki jih dolbe vodni tok.

Gladkost skalne površine, ki jo nazorno razčlenimo šele pod večjimi povečavami, je 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 v zatišnih legah, odmaknjene od vlečenega vodnega tovara, torej na odtočni strani grbin, zgornjih ploskev večjih skal, ali pa višje na steni. Mehansko zglajene površine, ki imajo dokaj ravne osnovne ploskve, so pod velikimi povečavami drobno hrapave zaradi trenja prodnikov in peska ob skalo. Najbolj izpostavljeni deli skalnih blokov in izboklin na dnu struge so pogosto obtolčeni.

### **ZNAČILNOSTI SKALNEGA RELIEFA ROGOV, KI GA OBLIKUJE VODNI TOK**

Oblikovanost votlin je predvsem posledica hidravličnih pogojev, v katerih nastajajo. Ti se značilno odražajo v različni kamnini in jamskem skalnem reliefu. Hidrološke cone so največkrat posledica položaja kamnitega bloka glede na okolne neprepustne kamnine, doline ali podolja (Habič 1982, 13, 14). Z nižanjem vodne gladine so pogosto ostale stare, vodoravne jame, ki so bile nekoč zalite, suhe, ali pa jih zlasti v gorskem krasu preoblikujejo razpršeni curki prenikajoče vode.

Način oblikovanja rogov pogosto razberemo iz njihovega prečnega prereza in skalnega reliefa. Po razporeditvi skalnih oblik in njihovi prepletenosti na obodu rogov lahko sklepamo na spremenljive speleogenetske pogoje. Enaki pogoji in procesi pa se samosvoje odražajo tudi v različno velikih in oblikovanih rovih. To lahko opazujemo zlasti ob njihovem vzdolžnem prerezu.

Prečni jamski profil je ena izmed osnov za študij speleogeneze, je ugotovil 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. 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. Šušteršič (1985, 81), ki se opira na dognanja Langa, rezultate odnašanja kamnine imenuje speleogene. Izdvoji pasivne faktorje, ki so odsev lastnosti kamnine in aktivne faktorje, ki so neposredni dejavniki odnašanja kamnine. Poudarja (Šušteršič 1985, 85), da so različne oblike prečnih prerezov lahko le zaporedno stanje v njihovem razvoju. Maire (1980, 29) razvojne faze rogov z ustreznimi prečnimi prerezi deli na singenetske, paragenetske in na obdobja pretakanja odprtih vodnih tokov. Ford in Williams (1989, 294, 299, 272) rove in njihove prereze delita na freatične, vadozne in paragenetske.

Značilnosti rogov, zlasti raznovrstnih v večjih jamskih sistemih, so temelj za razlago speleogeneze kraškega podzemlja. Predstavil bom skalni relief rogov, ki jih v značilnih hidroloških pogojih oblikujejo vodni tokovi.

#### **A. SKALNI RELIEF ROGOV V FREATIČNI CONI**

V freatični coni (Slovenska kraška terminologija 1973, 7; Gams 1974, 34; prežeta cona, Šušteršič 1991; an.: phreatic conditions, Bretz 1956, 15; Trudgill 1985, 72; Ford 1988, 34; Ford & Williams 1989, 263, izdvajata še jame v globlje zaliti coni: bathiphreatic caves; fr.: zone noyée, Maire 1980; nem.: phreatisch Zone, Bögli 1978, 219) se trajno zalite votline oblikujejo s tlačnim in počasnejšim pretakanjem vode. Rove delim po skalnem reliefu, oblikovanim z različno hitrim vodnim tokom, ki se pretaka skozi njega. V rovih, ki so bili globlje zaliti, skozi njih pa se je pretakal počasen vodni tok, so na obodu velike fasete, v razčlenjenih rovih 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 ali nagnjenih rovih, kjer se je pretakala navzgor (Vilenica) ali navzdol (Pečina v Radotah, Brezno na Škrklovici). V rovih zalitih 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 pretakal s hitrostjo 5 do 20 cm/s.

Opazoval sem lahko le stare (starostna, akumulacijska faza, Gams 1961, 51) takšne rove. Njihov obod je pogosto preoblikovan zaradi razpadanja, odprtih vodnih tokov in korozije na stiku z drobnozrnato naplavinno (Volčja jama, Kozinski rov v Lipiški jami). Stare skalne oblike so prekrite z mlajšimi, ali pa so mlajše oblike le na spodnjih delih sten (Logaška jama, Fiženca v Predjami). Deloma jih preoblikuje 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) lahko dokaj okrogli (eforacijski profil, Gams 1974, 103), podobni elipsam (niša v Križni jami) ali pa se prilagajajo pretrti in skladoviti kamnini (dolomitu v Turkovi jami).

Gosto prepletenih rogov (spongework; Jennings 1980, 6), ki bi jih oblikoval vodni tok s hitrostjo le nekaj m na dan in za katere so značilni kupolasti stropi, v izbranih jamah nisem zasledil. Je to posledica značilnega zakrasevanja kraških predelov s pretakanjem vode na nekraško obrobje v izrazitejših tokovih? Ali pa so takšne oblike predvsem značilnost počasnega oblikovanja bolj poroznih kamnin.

## **B. SKALNI RELIEF ROGOV V EPIFREATIČNI CONI**

V epifreatični coni (iztočna cona, Gams 1974, 34; v angleščini tudi shallow phreatic zone, Palmer 1982, 178; Ford & Williams, 1989, 263; fr.: zone épinoyé) so deli votline, ki so na lokalnem piezometričnem nivoju vode, občasno zaliti. Skozi rove se praviloma pretaka hitrejši vodni tok kot v globlje zaliti coni Razdelimo jih na rove, skozi katere se pretaka srednje hiter in hiter vodni tok.

V rovih, skozi katere se pretaka srednje hiter vodni tok, so na obodu srednje velike fasete 2. skupine (Slabe 1993, 163), ki so dolge od 5 do 15 cm, na razčlenjenem stropu pa kotlice. V širših delih rogov, kjer so na stenah večje fasete, so pogosti tudi podnaplavinski žlebiči in vdolbinice (Slabe 1992, 21). 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 na 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 (Slabe 1993, 163), v ožinah pa pogosto 1. skupine. 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 in, kot lahko opazujemo v Mali Boki, tudi 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 z visokim tlakom v zaledju. Takšni rovi so v izvornih jamah na robu visokega krasa (Babja jama, Matijeva jama in Suhadolica), v katerih se vrtinči avtohtoni prod. Na razčlenjenem stropu rogov so majhne kotlice, tla in stene pa so mehansko zglajene. Ob povzročenih vrtincih so draslje. Vodni tok v teh rovih pogosto presega hitrost 2 m/s, kar dokazuje tudi velikost proda, ki prekriva dno rogov. Prevladujoče mehansko delovanje vodnega toka onemogoča nastanek faset.

Rovi imajo podobne prečne prereze kot tisti v freatični coni, le redko so struge poglobljene zaradi občasno hitrega vodnega toka s prosto gladino (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 elipasasti rovi so nastali v debeloskladovitem apnencu, špranjasti pa v gosto pretrti breči. Prve prekrivajo majhne fasete, drugi pa imajo obod razčlenjen v majhne štrline in vdolbine. 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 tiste nastale z mehanskim delovanjem vodnega toka in materiala, ki ga prenaša, na kamnino, in druge, ki nastajajo predvsem z raztapljanjem kamnine. Njihove značilnosti je povzel 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 špranjasti rovi (Slepič v Križni jami, del rova v Podpeški jami) kot veliko 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 mehansko oblikovani rovi imajo skalni obod zglajen (Babja jama).

Značilen tip skalnega reliefa lahko prisodimo estavelam. Proučeval sem Matijevo jamo (Slabe 1996) in Gabranco. Na stropu jame so manjše polkroglaste kotlice (sl. 5). Spodnji del jame je občasno poplavljen. Tla in položne stene spodnjih delov jame prekrivajo podnaplavinske vdolbinice. Visoke vode pa se s precejšnim pritiskom prelivajo po jami navzgor in vrtinčijo prod in pesek. Dno pokončnih, vhodnih rogov je mehansko zglajeno. Skalni relief torej odraža menjavanje pogostega manjšega nihanja vodne gladine v njenem spodnjem delu in občasnih izbruhov vode iz jame oziroma vodnega toka v jamo.

### **C. SKALNI RELIEF ROVOV V VADOZNI CONI**

Hiter vodni tokovi s prosto gladino (free surface cave stream, Bretz 1956, 15) v vadozni coni (aeracijska cona, Slovenska kraška terminologija 1973, 6; Gams 1974, 33; neprežeta cona, Šušteršič 1991; an.: vadose zone, Bretz 1956, 17; Trudgill 1985, 72; Ford & Williams 1989, 267; fr.: zone vadose, Maire 1980, 28; nem.: vados Zone, Bögli 1978) so značilni predvsem za večje ponorne in izvirne 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 (Slabe 1993, 148), rebra, draslje, čeri in talni žlebovi. Pritočna, izpostavljena skalna površina je pogosto obtolčena.

Odperti vodni tok obliva tudi brezna ali navpične rove (Ponor v Odolini, Beško Ocizeljska jama, del rova v Markovem spodmolu). Nastajajo stropni žlebovi, na položnejših odsekih talni žlebovi prekriti z majhnimi fasetami (sl. 26), pod brezni ali strmimi deli struge pa draslje (sl. 18).

Manjši odperti vodni tokovi se pretakajo tudi v dnu meandrov (Kamnešca, Velika ledenica v Paradani). V Kamenšci so na dnu meandra manjše fasete, pod strmimi odseki tal pa plitke kotlice.

Prečni prerezi vadozних rogov velikokrat kažejo na poglobljanje freaticnih ali epifreaticnih 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 Trhlovcu) in kanjoni (spodnji del Beško Ocizeljske jame (Mihevc 1991, 46)). Lep primer prereza rova 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 prerez rova predvsem posledica različne odpornosti raznovrstnih, položnih skladov kamnine.

### **SKLEP**

Skalne oblike, ki jih dolbe vodni tok, so odsev hidravličnih razmer v rovih, ki so različno veliki in oblikovani. Vodni tok z različnimi hitrostmi in značilno velikimi vrtinci korozijsko razjeda ali mehansko gladi različno sestavljeno in pretrto kamnino oboda rogov.

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 oboda namreč prekrije enakomerno vrtinčenje (sl. 1, 1a). Z večjimi vrtinci ob razčljenjenem stropu in na prehodih med rovi, ki so različno veliki ali različnih naklonov, nastanejo stropne kotlice. Tla izravnata erozija in naplavina. Ob večjih razpokah, ki prepređajo stene, so pogosto niše. Na skalnih tleh rogov, 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. 1, 2b). Kaotičnost vrtinčenja onemogoča nastanek pravih vdolbljenih skalnih oblik. Ko je vodni tok hitrejši, pridejo do izraza že 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.

Združil sem 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, ter svedraste vrtince, ki so značilni za globlje kotlice. Velikost in značaj vrtinca sta posledica hitrosti vodnega toka ter položaja v rovu. Cone vrtinčenja namreč nastajajo pred in za ožinami rovov, v stropnih zajedah, pod skoki v strugi, na skalnih blokih, zavojih sten, voda pa se hitreje zajeda tudi ob razpokah. Spreminjanje nivoja vodnega toka ali pa združevanje rovov odražajo stropne in stenske zajede.

Zaradi zakrasevanja pogosto lahko sledimo spremembi hidroloških pogojev razvoja votline. Skozi nekoč zalite rove se danes pretaka hitrejši vodni tok s prosto gladino, ali pa so sledi vodnih tokov že stare. Spremembe se odražajo tudi na skalnem reliefu, ki ga sestavlja en tip skalnih oblik ali pa več različnih. Hitrejši vodni tokovi hitro vrežejo manjše fasete preko morebitnih večjih starejših. Tako se lahko spremeni ves obod rova ali pa se preoblikuje le njegov spodnji del (Slabe 1993, 165). Tudi manj izraziti dejavniki kot so pretakanje vode nad drobnozrnato naplavino, biokorozija, ki deluje le na posamezne dele oboda ali pa so manj učinkoviti, omogočajo ohranjanje starih, nekoč prevladujočih sledi. Skratka skalni relief, ki ga oblikujejo vodni tokovi, je raznovrstna in pomembna sled oblikovanja in razvoja kraških votlin.

## REFERENCES

- 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.- Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, p.515, Beograd
- 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.
- 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 zatočišče ledenodobnega človeka.- Proteus 4/5, 1948, 97-106, Ljubljana.
- Cigna, A. A., 1983: Alcune considerazioni preliminari sull'erosione per cavitazione.- Le grotte d'Italia, 479-486.



- 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<sup>o</sup> 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.
- Dreybrodt, W., 1988: Processes in Karst Systems.- Springer-Verlag, p.288, Berlin, Heidelberg.
- Duckworth, R.A., 1977: Mechanics of Fluids.- Longmans, p.275, London and New York.
- Ek, C. and H. Roques, 1972: Dissolution expérimental de calcaires dans une solution de gaz carbonique - note préliminaire.- Trans. Cave Research Group of Great Britain, Vol. 14, N 2, 67-72.
- 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 p.
- Forti, P., 1989: The role of sulfide-sulfate reaction in speleogenesis.- Proceedings of 10<sup>th</sup> Int. Conres of Speleology, Budapest-Hungary, 71-73.
- Gams, I., 1961: Prečni jamski profil in njegova odvisnost od lege skladov.- Naše jame 2 (1960), 47-54, Ljubljana.
- Gams, I., 1964: Logaška jama.- Naše jame 5 (1963), 11-19, Ljubljana.
- Gams, I., 1974: Kras.- Ljubljana.
- 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.
- Habič, P., 1968: Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo.- Naše jame 10, 47-54, 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., 1982: Pregledna speleološka karta Slovenije.- Acta carsologica 10 (1981), 5-22, 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.
- Herman, J.S., W.B. White, 1985: Dissolutin kinetics of dolomite: Effects of lithology and fluid flow velocity.- Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 49, 2017-2026.
- Jennings, J.N., 1979: Cave and karst terminology.- ASF Newsletter No. 83, 4-21, NSW.

- Jennings, J.N., 1980: The problem of cavern formation., ASF Newsletter No.89, 2-19, NSW.
- Kranjc, A., 1986: Recentni fluvialni jamski sedimenti.- Doktorska disertacija, p.336 + annex, Univerza v Ljubljani.
- Kranjc, A., 1989: Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis.- Razred za naravoslovne vede, Dela 27, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 1, 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.
- 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, 1-56, Paris.
- Mihevc, A., 1991: Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa.- Magistrska naloga.
- 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.
- 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 V4/4, (1973), 323-327.
- Quinif, Y., 1973: Contribution à l'étude morphologique des coupoles.- Annales de spéléologie 28/4, 565-573.
- 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 spéléogenese.- Annales de spéléologie 23/3, 529-596.
- Reynolds, A.J., 1974: Turbulent Flows in Engineering.- John Wiley & Sons, p.462, London, New York, Sydney, Toronto.
- Round, G.F., V.K. Garg, 1986: Applications of Fluid Dynamics.- Edvard Arnold, p.403, Avon.
- Scheidegger, A.E., 1961: Theoretical geomorphology.- Springer Verlag, p.333, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Serban, M., 1987: Wall microrelief in caves - effect of turbulence.- Theoretical and Applied Karstology 3, 1-30, Bucuresti.
- Slabe, T., 1989, a: 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, b: Skalne oblike v Križni jami in njihov speleogenetski pomen.- Acta carsologica 18, 197-220, Ljubljana.

- Slabe, T., 1992: Naravni in poskusni obnaplavinski jamski skalni relief.- *Acta carsologica* 21, 7-34, Ljubljana.
- Slabe, T., 1993: Fasete, pomembna sled oblikovanja in razvoja kraških votlin.- *Acta carsologica* 22, 139-177, Ljubljana.
- Slabe, T., 1994 a: Jamski skalni relief in njegov pomen pri proučevanju oblikovanja in razvoja izbranih jam slovenskega istrskega krasa.- *Annales* 4, 155-162, Koper.
- Slabe, T., 1994 b: Dejavniki oblikovanja jamske skalne površine.- *Acta carsologica* 23, 369-398, Ljubljana.
- Slabe, T., 1995: Cave Rocky Relief.- *ZRC* 10, p.128, Ljubljana.
- Slabe, T., 1996: Skalni relief izbranih jam na robu Pivške kotline.- *Annales* št. 9, v tisku, Koper.
- Slovenska kraška terminologija, 1973, 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.
- Trudgill, S., 1985: Limestone geomorfology.- Longman, p. 196, London and New York.
- Viehmann, J., 1959: Contributions à la connaissance de la g n se des marmites.- *Speleologia* 1/3, 145-175, Warszawa.
- Vukovi , M., A. Soro, 1985: Osnovi hidraulike.- Beograd.
- White, W.B., 1988: Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains.- Oxford University Press, p.464, New York etc.

## **CAVE ROCKY RELIEF HOLLOWED OUT BY A TURBULENT WATER FLOW**

### **Summary**

A large and very instructive part of a cave rocky relief is shaped by underground water flows. Due to their prominent form and prevalence over other rocky features the scallops, ceiling pockets, potholes and other features of this kind may often be preserved in old, now dry passages. The understanding how a single rocky feature was shaped offers the opportunity to interpret rocky relief as a speleogenetical evidence. I already presented in *Acta carsologica* (Slabe 1993) the scallops which are the most prominent features; this time I add a description and explanation of origin of other typical rocky features hollowed out by a water flow. The properties of a cave rocky relief developed in different hydrological conditions are described. After literature I summarized general bases of hydraulic properties related to water flow, either those that fill entire tube or free surface flows and also the properties of turbulence at smooth or coarse surfaces.

I studied the development of rocky relief in numerous Slovene caves; the origin and development of single rocky forms is illustrated by laboratory experiments in plaster of Paris.

Rocky features hollowed out by water flow reflect the hydraulic conditions in the passages which are of various size and shape. The water flowing with different velocity and having typical turbulence dissolves and mechanically smoothes variously composed and crushed rocks on a perimeter of a passage.

Homogeneous, non-fissured rocky surfaces, parallel to water flow and larger than the diameter of turbulence in the flow of a defined velocity generate scallops; in longitudinal rocky notches these are flutes. The surface of a perimeter is covered by even turbulence (Fig. 1, 1a). Larger turbulences along a dissected roof and at the transition between passages, that have different size or different gradients, generate ceiling pockets. The bottom is levelled by erosion and sediments. Along larger fissures on the walls niches are frequent. On rocky bottom of the passages where fast and usually free surface flow flows, potholes develop. The material transported by water help to shape them. When a perimeter is conspicuously inhomogeneous it unables development of smaller scallops, or when it is strongly fissured it influences the formation of larger scallops and ceiling pockets, pendants occur between the fissures (Fig. 1, 2b). Chaotic turbulence unables the origin of regular incised rocky features. When water flow is faster even smaller fissures may play an important role. On the ceiling and on the wall rocky knives are therefore frequent. At the bottom that is shaped by the fastest water flow transporting load, "čer" develops.

I combined some typical turbulences of a water flow to illustrate the above statements. We differ the turbulences that have their flow lines rectangular to wall and they shape relatively shallow hollows and spiral turbulences that are typical of deeper cups. The size and the property of an eddy depends on velocity of water flow and on location in the passage. The turbulence zones appear in front and beyond the narrowness in the passage, in ceiling notches, below the jumps in a riverbed, on rocky blocks, in wall meanders and water is strengthened also along the fissures. The water level change or linking of passages are reflected by water level horizons.

Due to karstification one may frequently perceive the change of hydrological conditions during the cave's development. The passages that were in past filled up by water display today faster free surface flow or the traces of water flow are fossil already. These changes are reflected on a rocky relief also, which is either composed by one type of rocky features or by several different types. Fast water flow quickly incises smaller scallopes over eventual larger and older. Thus the entire perimeter of the passage might change or only its lower part is transformed (Slabe 1993, 165). Also less prominent factors than is water flowing above fine-grained sediments, for example biocorrosion that acts only on single parts of a perimeter or is less effective, enables the preservation of older, prevailing traces of past periods. In short, rocky relief shaped by water flow is diversified and important evidence of formation and development of karst caves.