

**FASETE, POMEMBNA SLED OBLIKOVANJA IN  
RAZVOJA KRAŠKIH VOTLIN**

**FACETS - AN IMPORTANT TRACE OF SHAPING  
AND DEVELOPMENT OF THE KARST CAVERNS**

**TADEJ SLABE**

**Izvleček**

UDK 551.441 (497.12)

**Slabe, Tadej: Fasete, pomembna sled oblikovanja in razvoja kraških votlin**

Fasete so ena najbolj poznanih jamskih skalnih oblik. Nastajajo zaradi vrtnčenja vodnega toka ob hrapavi površini topljive kamnine. Po zbranih vzorcih s terena sem ugotavljal, da je oblika mreže faset in njihova velikost predvsem posledica hidravličnih razmer v različno oblikovanih in velikih rovih. Na nastanek in oblikovanje faset pomembno vpliva tudi sestava in pretrtost kamnine, ki jo obliva vodni tok. Pri razlagi oblikovanja faset sem si pomagal z laboratorijskimi poskusi z mavcem.

Ključne besede:

speleomorfogeneza, kraška votlina, jamska skalna oblika, faseta, Slovenija, Dinarski kras

**Abstract**

UDC 551.441 (497.12)

**Slabe, Tadej: Facets - an Important Trace of Shaping and Development of the Karst Caverns**

Current markings are one of the most significant rock forms. Their origin is controlled by swirling water flow against the rough surface of the soluble rock. On collected samples I stated that the current markings net shape and their size depend on hydraulic conditions in the channels of the various shape and size. The composition and structure of the rock overflowed by water are one of the important factors influencing to the origin and shape of current markings. The explanation of facets formation was backed up by the laboratory experiments in plaster.

Key words:

speleomorphogenesis karst cavern, rocky cave feature, facet, Slovenia, Dinaric Karst

*Naslov - Address*

dr. Tadej Slabe, dipl. geogr., znanstveni sodelavec  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU  
Karst Research Institut  
66230 Postojna, Titov trg 2  
Slovenija

## VSEBINA

UVOD .....	143
VIRI O FASETAH .....	143
OBLIKA IN VELIKOST FASET TER NJIHOVA POVEZANOST V MREŽO .....	145
VPLIV KAMNINE NA RAZVOJ FASET .....	153
POVRŠINA FASET .....	157
LABORATORIJSKO OBLIKOVANJE FASET NA MAVCU .....	158
NASTANEK IN RAZVOJ FASET .....	162
NEKAJ PRIMEROV ZNAČILNEGA OBLIKOVANJA FASET .....	165
REBRA IN NJIHOV NASTANEK.....	168
SKLEP .....	169
LITERATURA .....	170
SUMMARY: FACETS - AN IMPORTANT TRACE OF SHAPING AND DEVELOPMENT OF THE KARST CAVERNS .....	172



## UVOD

Faseta (Slovenska kraška terminologija 1973, 6; an: scallops (Curl 1966; Allen 1972); nem: Fliesfacette; fr: vague d'érosion (De Joly 1933 - navaja Maire 1980, 31; Renault 1968)) je nekaj 10 ali 100 milimetrov dolga ovalna vdolbinica na skalnem obodu votlin, skozi katere se pretakajo ali so se pretakali vodni tokovi. Globlja in strmejša je na pritočni strani, na odtočni strani, kjer je podaljšana, pa se polagoma izklinja. Ločimo več različnih tipov manjših faset. Velike fasete so podobne plitkim kotlicam. Rebra (an.: flutes (Curl 1966)) so podolgovate zajedice pravilne oblike, ki so nanizane prečno na smer vodnega toka. Za obe obliki je značilno, da sta povezani v mrežo. Te oblike, ki so nastale zaradi vrtinčenja vodnega toka ob hrapavi površini skale, nam pomagajo pri določevanju načina in smeri pretakanja vode skozi rove.

O proučevanju in določanju povezanosti dolžine faset in hitrosti vodnega toka, ki jih vrezuje, je že poročalo več avtorjev. Sklenil sem več pozornosti posvetiti primerjavi njihovih oblikovnih značilnosti in povezanosti v mrežo ter proučevanju dejavnikov in procesov njihovega nastanka in oblikovanja. Natančneje sem opredelil tudi vpliv kamnine na vrtinčenje. Pri tem so mi koristile predvsem obsežne raziskave na terenu ter laboratorijsko oblikovanje faset na mavcu, pri katerih mi je pomagal J. Hajna.

## VIRI O FASETAH

Shaw (1992, 148, 155, 165) v zgodovini speleologije omenja avtorje, ki so prvi opozorili na fasete. Maire (1980, 31) navaja, da je prvi razpoznal fasete R. de Joly leta 1933. Bretz (1942, 731), ki je skalne oblike, nastale zaradi raztapljanja kamnine, razdelil na freaticne in vadozne, poudarja pri nastanku faset odločilni pomen korozije. Opisal je primere faset, iz katerih so štrleli silikatni delci. Fasete opisuje tudi v delu (Bretz 1956), kjer je prvi vrednotil skalne oblike kot speleogenetsko sled.

O proučevanju in določanju povezanosti dolžine faset in hitrosti vodnega toka, ki jih vrezuje, so poročali Rudnicki (1960, 17), Curl (1966, 1974), Goodchild in Ford (1971), Allen (1972), Lauritzen (1983) ter Lismonde in Lagmani (1987).

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. 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, stenske zajede in odtočne strani skalnih blokov v strugi.

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 vodnega toka in velikosti faset. Ugotavlja, da sta oblika in velikost posledica poprečne hitrosti vodnega toka v kanalu, dimenzije kanala, gostote in viskoznosti vode ter difuzivnosti ionov, če je raztapljanje enakomerno in kamnina homogena. Poudarja pa tudi pomen različnih lastnosti, zlasti razpokanosti kamnine, ki povzročajo nepravilnosti pri nastajanju faset. Nepravilnosti na površju kamnine povzročajo namreč nastanek zatišnih leg v vodnem toku in ker so fasete povezane v mrežo, se po toku navzdol poznajo tudi vplivi predhodnih oblik. Dodaja vpliv erozije. Predstavi tudi rebra.

Renault (1968, 563) je nastanek majhnih faset razlagal s pospeškom vodnega toka, ki ga usmerijo prodniki. 50 milimetrov dolg prodnik povzroči cirkulacijo vode s hitrostjo 20 milimetrov na sekundo, kar ustreza nastanku fasete, dolge 10 - 20 milimetrov. To trditev zanika že dejstvo, da fasete nastajajo tudi v rovih, kjer prodnikov ni, oziroma prodniki pogosto celo zgladijo stene rovov.

Goodchild in Ford (1971) sta s poskusi na mavcu poizkušala določiti hidravlične vzroke za različne velikosti faset. Z opazovanjem na terenu sta predpostavila velik pomen kamnine pri njihovem oblikovanju. Prevladujoč proces oblikovanja faset je tudi po njenem mnenju korozija.

Tudi Allen (1972), ki Curlo očita preveliko teoretičnost razglabljanj, si je pomagal s poskusi na mavcu. Mavec v 3 m dolgem kanalu je oblival s tokom s hitrostjo 28 do 90 cm na sekundo in debelino 1,5 do 15 cm. Allen (1972, 7) poudarja, da fasete nastanejo le, če so nehomogenosti v kamnini dovolj velike, da se oblikujejo samostojni vrtinci ob steni. Nehomogenosti v kamnini vplivajo na razporeditev faset, že posamezna nehomogenost pa povzroči nastanek faseti podobne oblike.

Lauritzen (1983) je meril hidravlične razmere v rovu, velikost faset ter hitrost njihovega nastanka.

Trudgill (1985, 75) posebej izpostavlja, da je za nastanek in razporeditev faset odločilna litološka nehomogenost: razlike v topljivosti posameznih delcev kamnine povzročajo lokalne turbulence in mešanje vode poveča lokalno korozijsko stopnjo.

Lismonde in Lagmani (1987) sta Curlove študije hidravličnih razmer v pravilno oblikovanih rovih skušala dopolniti s poudarkom na raznovrstnosti rovov.

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 z Williamsom dodajata (1989, 305), da so prekinitve mejne plasti bolj pogoste, čim hitrejši je vodni tok.

Fasete, ki jih vodni tok vrezuje v stene Križne jame, omenjata Badiura (1909, 31) in Michler (1934, 99). Poimenovala sta jih vdolbinice podobne školjkam.

Gams je fasete omenil v študiji o Logarčku (1963, 51). Leta 1974 je v delu Kras (101, 102, 160), kjer je strnil pregled skalnih oblik, predstavil tudi fasete,

Skalne oblike so omenjene v Jamarskem priročniku.

Habe (1970, 26, 33) razlaga razvoj Predjame tudi z erozijskimi kotlicami in fasetami, Beloglavke pa (Habe 1976, 197, 200) s stopničastimi erozijskimi poličkami in erozijskimi kotlicami.

Prvi sistematični pregled skalnih oblik, tudi faset, je predstavljen v Slovenski kraški terminologiji (1973).

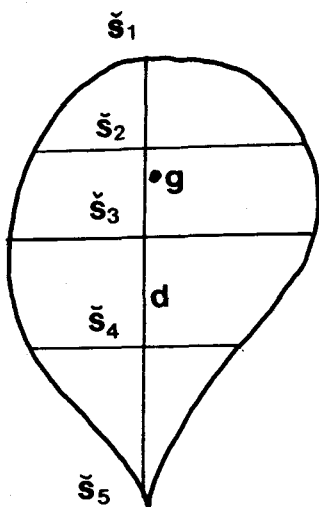
Gospodarič je pri proučevanju speleogenetskega pomena naplavin v Križni jami (1974, 332, 333, 348) skalne oblike poimenoval mikrooblike ter s fotografijo predstavil fasetirano čer. Leta 1985 je Gospodarič (1985, 22) opisal fasetirane erozijske zajede v Trhlovcu.

Oblike, ki so produkt odnašanja kamnine, je Šušteršič (1985) imenoval speleogene.

Sam sem opisal majhne fasete, ki jih vrezuje občasni hitri vodni tok v Križni jami (Slabe 1989, 203).

### **OBLIKA IN VELIKOST FASET TER NJIHOVA POVEZANOST V MREŽO**

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



Sl.1. Zaprta in odprta faseta:

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

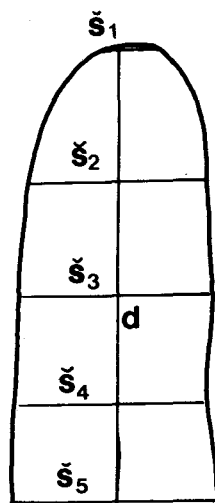
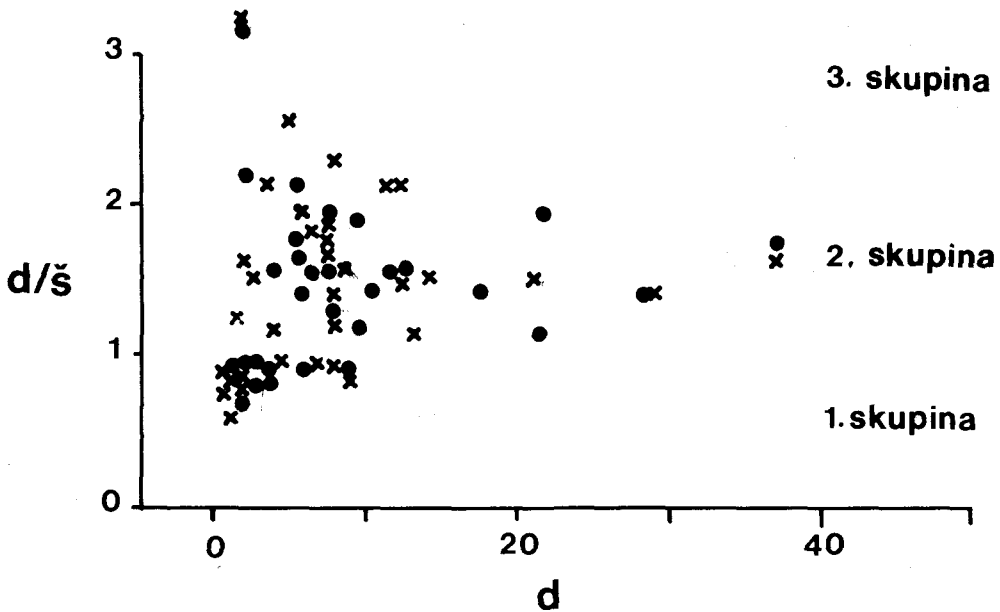


Fig.1. Closed and open facet:

- d = length
- š = width
- g = depth
- k = contact angle of outflow edges

Obliko posamezne fasete sem razdelil v številčne skupine, 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. 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 ter sklepni kot zaprtih faset. Na ta način sem dobil poprečno obliko in velikost faset v posameznih mrežah. Poprečne 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. 1) in fasete, ki so na odtočni strani odprte (sl. 1), posamezne se v zadnji tretjini deloma zaprejo. Ti obliki sta povezani v isti mreži ali pa v njej prevladujeta. Zaprte in odprte fasete iste mreže se praviloma uvrščajo v isto skupino. 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 poprečne oblike faset v mreži razmerja med dolžino fasete in omenjenimi širinami. Podobne številčne podatke sem razvrstil v 3 skupine in vmesni podskupini (sl. 2).



Sl.2. Značilne skupine faset

$d/\bar{s}$  = razmerje med dolžino in širino fasete

$d$  = dolžina fasete

Fig.2. Characteristical groups of the facets

$d/\bar{s}$  = rate between the length and the width

$d$  = facet's length



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 po polovici. V posameznih primerih (strma stena, 45o, Ponora v Odolini, strop Ponorne jame Lokve in strop v Kompoljski jami) v mreži prevladujejo odprte fasete. Fasete v 1. skupini so večinoma majhne, saj so dolge od 4,7 mm 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. 3). Odtočna robova zaprtih faset se praviloma stikata pod kotom, ki je večji od 90o (do 120o), premer pritočnega polkrožnega roba pa je glede na velikost faset velik. Bočni robovi faset so mnogokrat le slabo izraženi in mreža spominja na rebra. Prečni nizi sledijo tudi lokalnim smerem vodnega toka: v Novokrajški 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. Najmanjše fasete, ki so nastale zaradi pretakanja odprtega vodnega toka, dolge so od 4,7 do 23 mm, so na strmih tleh (30o nagiba) in v strmih (75o) žlebovih. Podobne, le nekoliko večje, so v izrazitejših ožinah rovov, ki so občasno zaliti. Fasete prekrivajo cel obod ožine. Premeri ozkih delov rovov merijo od 1 do 2,5 m, pritočnih in odtočnih delov pa do 5 m. 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.



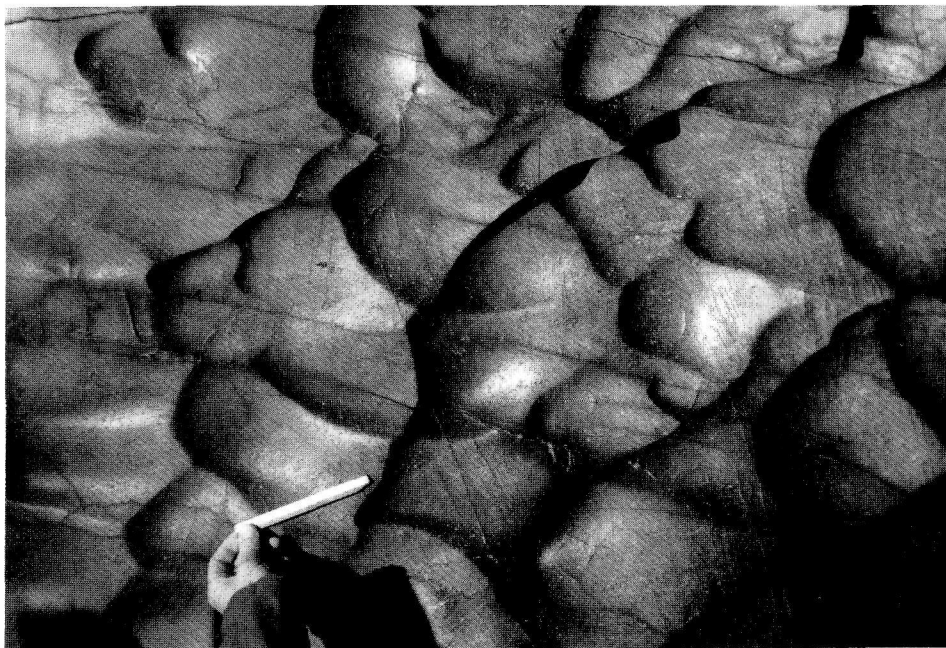
Sl.3. Fasete na steni ožine pri Blatnem jezeru v Beško Ocizeljski jami (merilo=15cm)

Fig.3. Facets on the wall at the narrowness at Blatno jezero in Beka Ocizla (scale = 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 100-130°. So večje kot v prvi skupini, dolge so od 40-110 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 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 odloženo nekaj ilovice, ki jih je korozijsko razširila. Na nasprotni strani rova so fasete v stenski zajedi usmerjene navzdol. Fasete na stenah Trhlovce, Logaške jame in v Brlogu na Rimskem 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 prvi 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 tudi največje fasete, je pa razlika med najdaljšo in najkrajšo precejšnja: od 24 do 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. 4). Fasete druge skupine so nastale večinoma 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 blokkih, ki prekrivajo strugo (Osapska jama, Krožni rov v Črni jami), vendar so te nekoliko širše, v mreži pa prevladujejo odprte fasete. V to skupino sodijo tudi fasete, ki so nastale na strmih, navzdol (45°) ali navzgor (50°) nagnjenih odsekih tal, te so nekoliko podaljšane, in na strmih previsnih stenah, kot je to primer v ožini Lipiške jame. Skoznjjo se je pretakal vodni tok navzgor. Premeri rovov s fasetami takšnih oblik so večji kot tistih, v katerih so fasete 1. skupine. Manjši merijo 1 meter, 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 skupinah, 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. Nastanek na skalnih blokkih določa obliko in velikost mreže (sl. 5). Mreža je podobna onim v prvi ali drugi skupini, pogosto se začinja na stiku z gladko površino skale. Fasete nastajajo na skalnih blokkih v večjih strugah, ki so široke 5-10 m, in po katerih se pretaka odprti 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 zaključuje. Ob robu bloka so fasete povezane v prečne nize. Na dotočnih delih

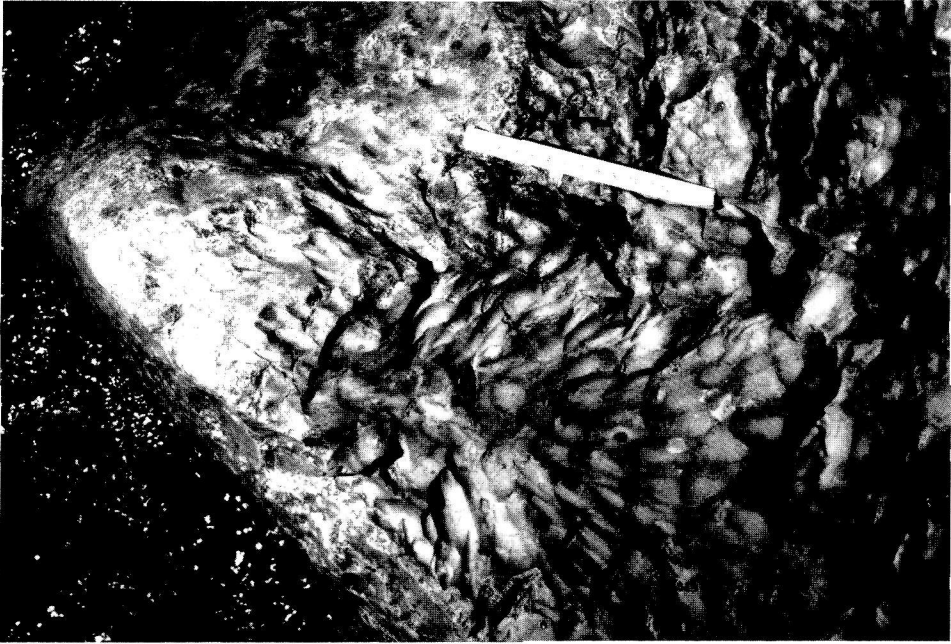


Sl.4. Fasete na stropu Markovega spodmola  
Fig.4. Facets on the ceiling of Markov spodmol

blokov 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. Plast vode je torej dokaj debela. Fasete so na tleh ali na steni. So večinoma odprte in značilne za izpostavljena konveksna dna rovov (glavni rov v Križni jami, del izbočenih tal v Markovem spodmolu), ali za izpostavljene dele sten pred razširitvami rovov (stena 2-3 m nad tlemi v Markovem spodmolu, Vzhodni rov v Predjami: rob korita).

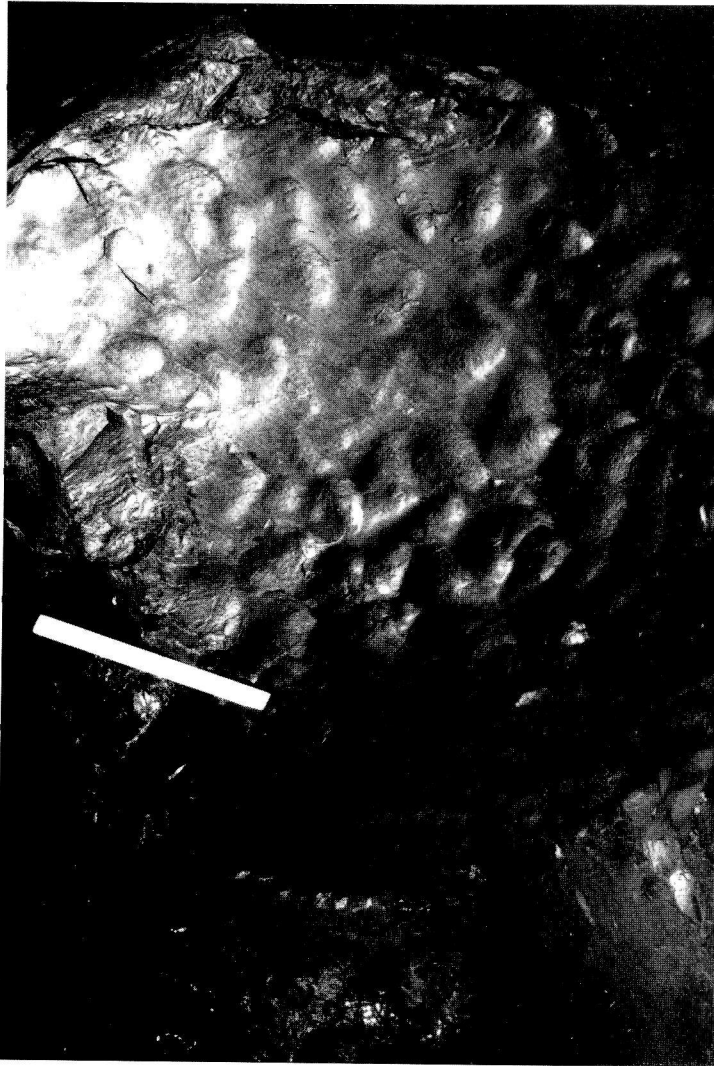
Posebej lahko izdvojimo še en tip manjših faset. To so majhne, le nekaj cm dolge fasete, ki so globoke do 0,5 cm. So večinoma krožnih obrisov in smer vodnega toka je iz njih le slabo razvidna. So posamične ali povezane v mrežo in so na stiku z gladko površino skale, ali pa so med njimi manjše površine gladke skale. Takšne fasete so pod večjimi padajočimi tokovi, ali pa na pritočni, pokončni strani blokov v strugi (sl. 6).



Sl.5. Fasete na skalnem bloku v strugi Škocjanskih jam (merilo=15 cm)

Fig.5. Facets on rocky boulder in the riverbed in Škocjanske jame (scale = 15 cm)

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 so globoke od 0,3 do 0,5 m (sl. 7). Velike fasete imajo oblike plitkih polkrogel. Njihova mreža je težko razberljiva. 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. Njihova povezanost v mrežo je bolj izrazita in iz nekaterih primerov je moč sklepati na smer vodnega toka. Velike fasete so nastale v zalitih rovih in najdemo jih lahko na stenah in na stropu.



Sl. 6. Fasete na pritočnem delu skalnega bloka v Podpeški jami (merilo je 15 cm)  
Fig.6. The facets on the inflow part of rocky boulder in Podpeška jama (scale = 15 cm)



Sl.7. Velike fasete v Pivškem rokavu Planinske jame (merilo= 15 cm)  
Fig.7. Big facets in Pivka branch of Planinska jama (scale = 15 cm)

## VPLIV KAMNINE NA RAZVOJ FASET

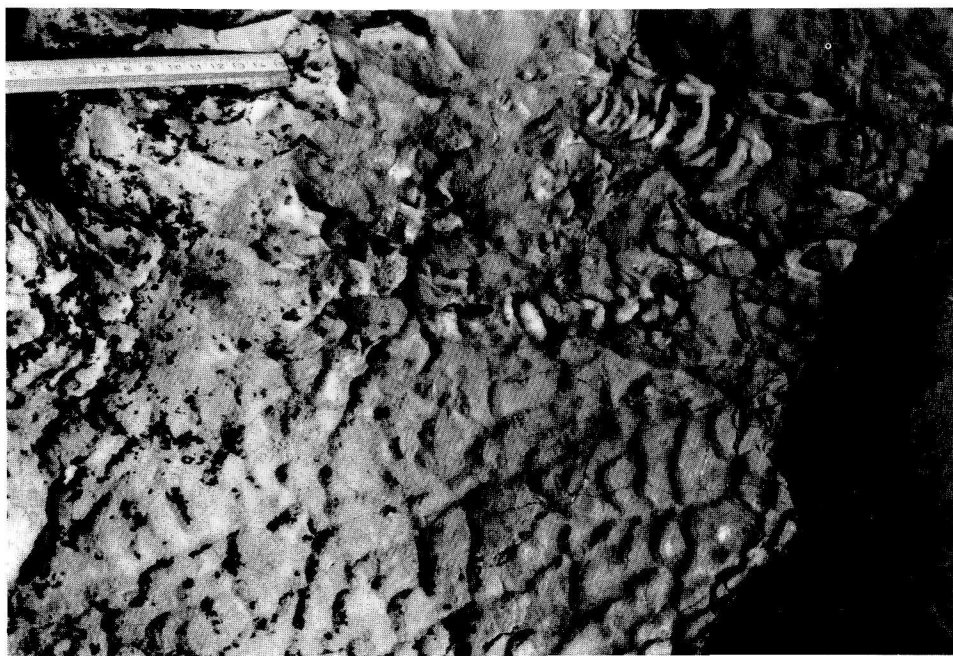
Večina faset je oblikovana na različnih apnencih, redkeje jih najdemo na dolomitu, konglomeratu, breči, sigi in peščenjaku. Na nastanek in obliko faset vpliva tudi razpokanost kamnine.

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. 8). 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 spartni kristali, faset ni. V površino so zajedajo le posamezne majhne vdolbinice. Na okolnem, 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. 9). Tudi v Predjami v Ponorni jami Lokve štrlijo iz stene 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. 3).

Nehomogenost kamnine vpliva tudi na odstopanje smeri posameznih faset od lokalne



Sl.8. Fasete na intraklastnem apnencu v Markovem spodmolu  
Fig.8. Facets on the intraclastic limestone in Markov spodmol



Sl.9. Fasete na apnencu z rudisti v Pivki jami (merilo= 15 cm)

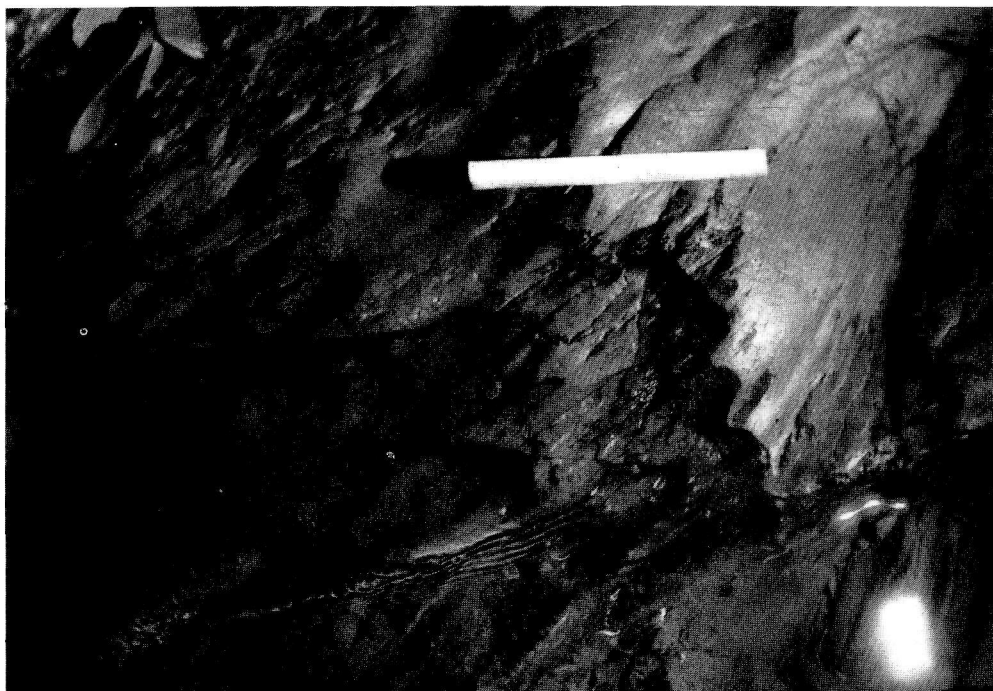
Fig.9. Facets on the limestone with Rudists in Pivka jama (scale = 15 cm)

smeri vodnega toka in na njihovo različno velikost. Takšno odstopanje je značilno zlasti za mreže večjih faset, ko ob strlečih delih kamnine nastanejo "cvetovi" (sl. 4). V njih se voda razliva na različne strani in smeri posameznih faset odstopajo tudi za 60°. Fasete so usmerjene proti robovom stenskih nožev, odlomnih površin in skalnih blokov, ter temu tudi oblikovno prilagojene.

Na dolomitu so fasete 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 zdobljenem mikrosparitnem dolomitu brez kalcitnih žilic.

V Smoganici so v strugi, katere obod tvori karbonatni konglomerat, fasete 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 razčlenjenih konicah štrli iz skalne površine. Podobno je oblikovana breča v Bazinovi jami pri Podlaških topolih. Na bližnjem delu oboda, ki je apnenčast, so fasete. Faset ni na intraformacijski breči v Podstrešju Male Boke. Brečo sestavljajo manjši deli kamnine (1-3 cm premera), vmes pa je





Sl.10.Fasete na peščenjaku v Smoganici (merilo= 15 cm)

Fig.10. Facets on the sandstone in Smogancica (scale = 15 cm)

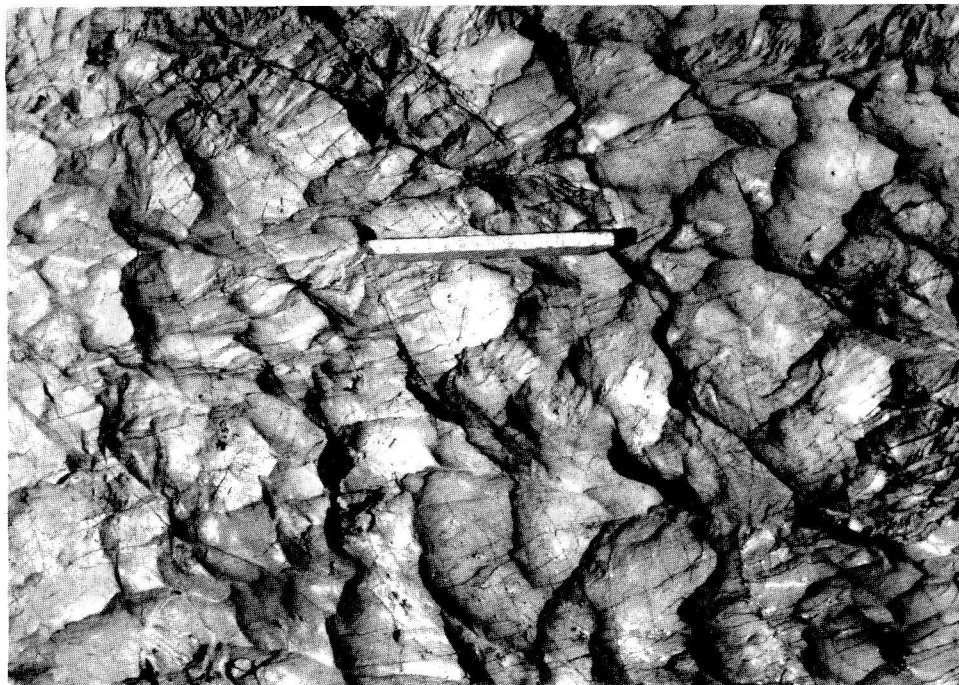
trdno sparitno vezivo, ki štrli iz sten. Med sparitnim vezivom so nastale oglete vdolbinice, podolgovate ob razpokah. V bližnjem rovu z apnenčastim obodom, kjer se ob visokih vodah ustvarijo enaki hidrološki pogoji, nastajajo fasete, ki so dolge 2-3 cm.

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.

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 nastanejo fasete 1. skupine.

V Smoganici so nastale fasete na kremenovem peščenjaku s kalcitnim vezivom (sl. 10). 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.

Ob drobnih razpokah so fasete (sl. 11) lahko podaljšane (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 dosega tudi 3.



Sl.11.Fasete na pretrtem apnencu Podstrešja v Mali Boki (merilo=15 cm)

Fig.11. Facets on crushed limestone of Podstrešje in Mala Boka (scale = 15 cm)

Na izraziteje, gosto pretrti in zdrobljeni kamnini faset ni. So le na morebitnih vmesnih, večjih in nerazpokanih površinah. Stene rovov so zato razčlenjene v konice, ob izrazitejših razpokah pa v stenske nože. Drugače pa vplivajo na oblikovanje faset razpoke, ki so zapolnjene s kalcitnim vezivom. Vezivo je pogosto nekoliko odpornejše od okolišne 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, je njihov vpliv neznat. 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 prekristaliziran apnenc sestavljen iz večjih sparnih kristalov. Zato na stenah ni majhnih faset, ki bi jih vrezal vodni tok, ki doseže hitrost 1 m/s. Majhne površine dolomita, ki se kroji in ga obliha hiter vodni tok v Pucovem breznu, so gladke. Površina se členi v stopničke.

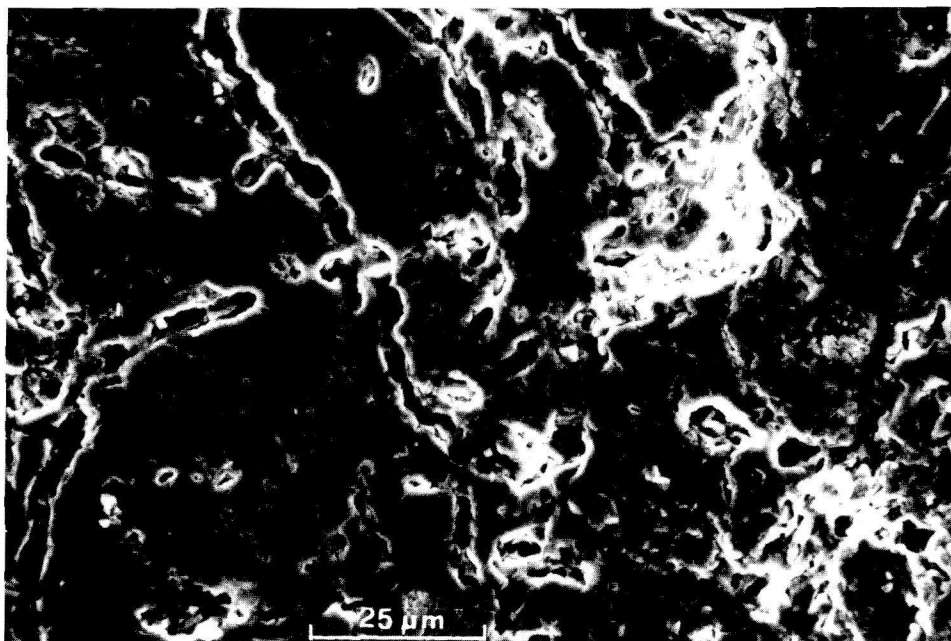
### POVRŠINA FASET

Pogosto se po površini faset sklepa na proces njihovega oblikovanja. V primerjavi s površino drugih skalnih oblik je površina faset, zlasti manjših, dokaj gladka. Drobna

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 in intraklasti v mikritni osnovi. V drugem pa so vdolbinice vezane na hitreje topljive dele ali pa na drobne razpoke. 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. Gladke so tudi površine majhnih faset na paleogenskem apnencu. V Oczeljski jami (sl. 3) se alveoline, numuliti in orbitoline na površini faset ne odražajo. Večjim fasetam v Ponorni jami Lokve v Predjamski dolini dajo hrapavost rudisti, ki štrlijo iz površine, majhne fasete pa na takšni kamnini v Pivki jami (sl. 9) 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.

Očitno je, da so skalne površine, ki jih gladijo hitrejši vodni tokovi, izpostavljene različnim procesom. Zato sem se odločil za njihovo razpoznavanje s pomočjo elektronskega vrstičnega mikroskopa. Za vzorce smo izdelali tudi zbruske kamnine. Tako lahko primerjamo sestavo kamnine in njeno izpostavljeno površino. Manjše fasete (sl. 12), ki so nastale na biomikritnem apnencu v Križni jami (Slabe 1989, 206) in na biomikrospartnem apnencu v Škocjanskih jamah, so zelo gladke. Na njih se odražajo le večje nehomogenosti ali pa



Sl.12. Površina fasete v strugi Škocjanskih jam

Fig.12. The surface of the facet in the riverbed in Škocjanske jame

prepredenost s kalcitnimi žilicami. Zglajena površina manjših faset je posledica prevladujočega korozijskega delovanja vodnega toka, katerega vrtnčasto jedro se povsem približa steni in odnaša tudi počasneje topne delce kamnine, ki štrlijo iz nje. Značilno je, da so fasete v zatišnih legah, odmaknjene od vlečenega vodnega tovara, torej na odtočni strani grbin, zgornjih ploskev skalnih blokov, ali pa višje na steni. Erozijsko zglajena površina skale je pod vrstičnim mikroskopom drobno hrapava, kar je posledica trenja s trdnimi delci kamnine, ki jih prenaša vodni tok.

### 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 vodne plasti je bila le 1 cm. V nizkem toku se je voda razporedila v ozke in nekaj cm dolge, skoraj vzporedne tokovnice. Nastale so fasete (sl. 13), 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

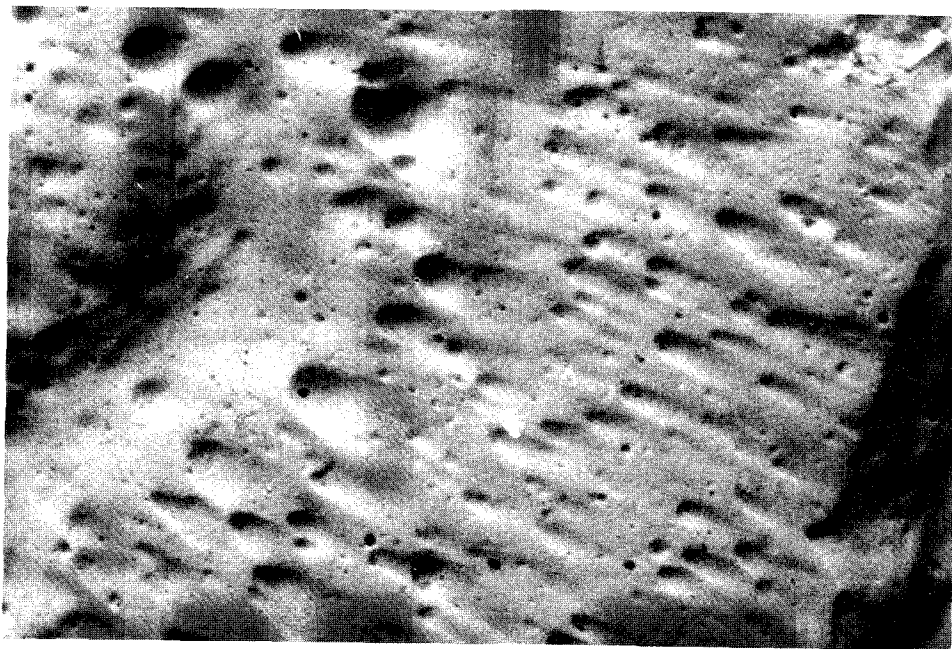


Sl.13. Fasete na mavčnem žlebu - nehomogen mavec

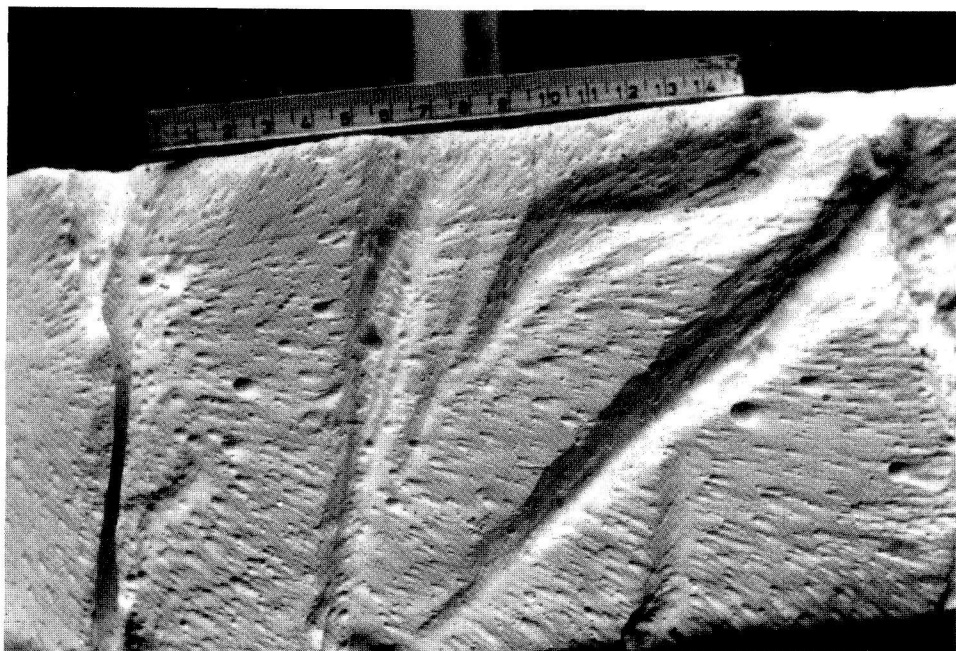
Fig.13. Facets on plaster groove - inhomogeneous plaster

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.

Večji osmerokotni mavčni blok 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 metra na sekundo. V obeh primerih so na bloku nastale fasete (sl. 14). Fasete so se izoblikovale že po dveh urah in njihova velikost ter oblika se nato nista več spreminjali. V prvem primeru so dolge do 1 cm, v drugem pa do 1,5 cm. Fasete so ozke (do 0,5 cm) in razmeroma dolge (3. skupina). Posamezne fasete so široko odprte, če pa so ena ob drugi, povezane v mrežo, so zaprte. Značilna je 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, ki so usmerjene k robovom. Podobno je oblikovan tudi blok v strugi Podpeške jame. Na ploskvi (sl. 15), ki je bila vodnemu toku izpostavljena pod kotom 45o, so fasete po vsej površini. Na začetku so fasete vzporedne s tokom, na drugi polovici so usmerjene k robovom. Na



Sl.14.Fasete na mavčnem bloku - homogen mavec  
Fig.14. Facets on plaster block - homogeneous plaster

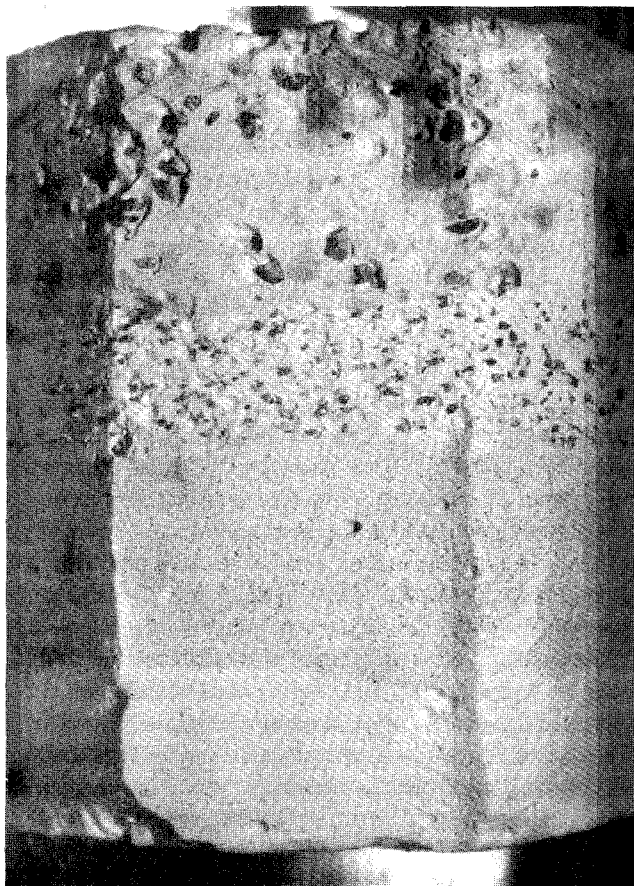


Sl.15.Fasete na stranski ploskvi mavčnega bloka

Fig.15. Facets on the lateral side of the plaster block

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 Škočjanskih jamah).

Enako velik mavčni blok (sl. 16), ki je bil sestavljen iz plasti, katerim smo primešali različno velike netopne ali počasneje topne delce peska, smo izpostavili vodnemu toku, ki je imel hitrost meter na sekundo. Spodnjo plast mavca so sestavljali delci, ki so bili manjši od 0,1 mm. V drugi plasti smo delcem, velikim 0,1 do 0,25 mm, dodali 20% delcev s premerom 0,5 mm. V tretjo plast mavca, ki so ga sestavljali delci, veliki 0,1 do 0,25 mm, smo primešali 10% netopnih delcev, ki so bili veliki 1,25 do 2,5 mm. Četrti plasti mavca smo dodali 10% netopnega peska z delci s 5 do 10 mm premera. Razporejenost faset na bloku je bila podobna zgoraj opisanemu primeru, različna kamnina pa značilno oblikovana. Na najbolj homogenem mavcu so nastale lepe mreže majhnih faset. Na mavcu, ki so mu bili primešani večji netopni delci, so okoli njih nastale nekoliko večje vdolbinice. Te so bile na površinah z redkejšimi ovirami povezane v slabše razločno mrežo faset. Velikost vdolbinic je bila posledica velikosti ovire v kamnini in je dosegla 2 do 3 krat večji premer kot fasete.



Sl.16.Fasete na plastovitem mavčnem bloku

Fig.16. Facets on bedded plaster block

Torej na velikost faset vpliva tudi sestava kamnine? Na delih mavca, kjer so večje ovire najbolj gosto razporejene, o mreži faset ne moremo govoriti, čeprav je površina mavca ob ovirah luknjičasta. Ob posameznih ovirah so nastale vdolbinice, ki so imele oblike široko odprtih faset.

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 homogenem mavcu, so pravilnih oblik in njihova površina je gladka. Tiste, ki pa so na mavcu z zrni peska, so bolj raznolikih oblik in hrapave. Fasete so nastale z raztapljanjem mavca, le večje, netopne delce, je odnašala voda. Tudi ostri robovi mavca, ki se ohranijo v hitrem vodnem toku, dokazujejo, da se fasete na njem oblikuje s korozijo.

## NASTANEK IN RAZVOJ FASET

Pri nastanku in oblikovanju faset so odločilni kamnina, hitrost in pritisk vodnega toka z določeno viskoznostjo in agresivnostjo vode, in velikost rova ter oblika oboda. Omenjeni dejavniki se prepletajo v različnih razmerjih, vendar so osnove oblikovanja značilnih mrež faset določene predvsem s hidravličnimi razmerami. Kamnina odloča o nastanku faset oziroma o obliki posameznih faset v mreži in vpliva na njihovo velikost.

Pri visokih Reynoldsovih številih je trenje odvisno od hrapavosti oboda cevi in skorajda neodvisno od viskoznosti tekočine, pri majhnih  $Re$  pa je odvisno od viskoznosti in le malo od hrapavosti (Reynolds 1974, 5). Ta značilnost oblikovanja sten z vodnim tokom se, kot kaže, odraža tudi pri oblikovanju majhnih oziroma velikih faset. Premer vrtincev v vodnem toku je predvsem posledica njegove hitrosti. Na velikost vrtincev vpliva tudi sestava kamnine. Ob večjih ovirah so vrtinci večji (sl. 16). Če pa so ovire, ki so enako velike ali večje od faset, gosto druga ob drugi, prepletanje vrtincev lahko privede do prevelike kaotičnosti v smereh strujnic in značilna mreža faset ne nastane. Za nastanek mreže faset mora biti velikost vrtincev večja od velikosti sestavnih delcev kamnine. Tudi na razporeditev manjših faset, poleg hidravličnih razmer in geometrije prostora, vplivajo predvsem nehomogenosti v kamnini. To se je lepo pokazalo pri poskusu z mavcem. Pri oblikovanju manjših faset gre torej za prekinitve mejne laminarne plasti vode zaradi neenakomerno topljive zrnate sestave kamnine, kar ugotavljata tudi Ford in Williams (1989, 305). Na mavcu je ob oviri voda najprej izdolblja vdolbinice. Ovire, nekoliko večje drobce mavca, je nato odnesla. Hkrati so nastale vdolbinice in nato fasete tudi na bolj topnih delih mavca ter ob manjših razpokah. Fasete, ki so nastale ob redkih ovirah in niso povezane v mrežo, ali pa če so odprte, so nastale ob robu odsekanih skalnih površin. Posamezna faseta je torej odprta. Tudi Allen (1972) je ugotavljal, da lahko posamezna nehomogenost v kamnini povzroči nastanek fasete. Če je kamnina homogena, jo enakomerno prekrijejo vrtinci in razvije se mreža faset. Na homogenem pesku nastanejo "valovi" (Hsü 1989, 108), ki so podobni enakomerni mreži zaprtih

faset. Enakomerno nehomogenost omogoča zrnata sestava karbonatnih kamnin. V mreži prevladujejo zaprte fasete, ki so različnih oblik, največ pa jih ima polkrožne pritočne dele in trikotne iztočne.

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 povzroča trenje ob mejni plasti, povzročilo hitrejše 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. 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. V Ponorni jami Lokve rudisti, ki štrljo iz površine, ne vplivajo na obliko srednje velikih faset, medtem ko manjše fasete na podobni kamnini v Pivki jami ne morejo nastati.

Z dobrim poznavanjem hidravličnih značilnosti vrtinčastega toka in sestave kamnine lahko torej določimo razmerje, pri katerem lahko nastanejo fasete oziroma določimo vpliv



sestave kamnine na njihovo velikost. Fasete lahko nastanejo le na posameznih odsekih oboda, ki so dovolj veliki za razvoj mreže vrtincev in ki z manjšimi koti odstopajo od smeri vodnega toka.

Voda v vrtincih kroži pravokotno na površino, ki jo obliva, kar nam potrdi tudi odtočni podaljšani in plitvejši del fasete. Največja ovira tokovnicam v vrtincu je stena fasete, ki je najbolj 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. Pri velikih fasetah, ki imajo premere večje od 50 cm, pa smeri vodnega toka ni več mogoče razbrati, saj vrtinci, ki so jih vrezali, nimajo več izrazitih iztočnih repov.

Z naraščanjem hitrosti vodnega toka se manjša premer vrtincev in tako dolžina 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 metra na sekundo, če računamo po formuli Lismonda in 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 pravilnih krožnih prerezov. U je hitrost toka, L je poprečna dolžina faset. Tovrstni izračuni hitrosti vodnega toka so se dokaj ujemali s tistimi, ki smo jih dobili na podlagi velikosti prodnikov (Scheidegger 1961, 135), 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 metra na sekundo. V Markovem spodmolu so na strmih delih struge najmanjše fasete dolge le 0,4 cm, torej nakazujejo hitrost vodnega toka 6 metrov na sekundo in drobnozrnato, homogeno kamnino, na kateri nastajajo. Za apnenca je značilna zrnata sestava in glede na lokalno velike hitrosti vodnega toka ter majhne vrtince v njem, pogosto omejena homogenost.

Opazil sem več značilnih povezav faset v isti mreži. Ločimo fasete, ki imajo dokaj popolne oblike in tiste, ki so podrejene načinu povezovanja v mrežo zaradi nehomogenosti kamnine. Razporeditev vrtincev, ki na zato 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 enakomernem toku dosežejo svojo mejno velikost in ravnotežno stanje. Pri poskusu na mavcu se velikost fasete po 2 urah ni več spreminjala.

Po zbranim gradivu sklepam, da po obliki podobne fasete nastajajo v enakih hidroloških pogojih.

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. To je osnovni, zreli tip faset (sl. 4). 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 cevastem rovu v Mali Boki so fasete enakih

dolžin tako na stropu kot na tleh, so pa talne fasete skorajda za tretjino širše. Hitrost toka blizu sten je manjša v širših rovih in fasete so tako večje (Serbon 1987, 16).

V prvi skupini, kjer so fasete razvrščene v prečne nize (sl. 3), na njihovo oblikovanje vpliva tudi velikost prostora. Praviloma so takšne fasete nastale v ožinah rovov ali pa na talnih in stenskih žlebovih. Vrezujeta jih je hitrejši vodni tok v zalitem rovu ali pa odprti vodni tok, ki z manjšim pritiskom delujeta na stene. Predpostavljam, da velikost rova ali njegovega dela (vzdolžna zajeda) narekuje enakomerno vtinčenje toka čez ves prerez.

V tretji skupini so najbolj podolgovate fasete. Zanje je značilno, da nastanejo, ko kamnino obliva plitev, odprt vodni tok. Njegov pritisk na steno je majhen. Zato je tudi značilna lega faset na skalnih blokkih ali pa na izpostavljenih konveksnih delih jamskih strug in na stenah tik pod gladino višjega toka. Ko je tok zelo plitev, nastanejo tanke vzdolžne tokovnice, kar sem potrdil s poskusom na mavcu in se odraža tudi na podornem bloku deloma preperele sige v Mali Boki. Mreža faset je na pritočnem robu skalnega bloka (sl. 5) nastala zaradi značilnega oblivanja skale. Za oviro se tok sprošča. 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 fasete 3. skupine.

V hitrejšem vodnem toku se tanjša mejna laminarna plast ob kamnini. Vrtinčasto jedro se približuje steni. S tanjšanjem laminarne mejne plasti, ki je odvisna tudi od viskoznosti tekočine, se tanjša plast difuzije. To vodi omogoča hitrejši prenos reaktantov in prouduktov raztapljanja, kar pospeši korozijo. V izrazitem vrtinčastem toku je mejna difuzijska plast zanemarljiva (Dreybrodt 1988, 154). Zaradi tanjše mejne plasti voda s svojo maso erozijsko neposredno deluje na kamnino.

Pri nastanku faset na karbonatni kamnini sta pomembna oba procesa, tako lokalno hitrejšo raztapljanje, kot neposredno erodiranje kamnine z vodno maso. Voda odnaša počasneje topne delce kamnine. S peščenjaka, ki je sestavljen iz delcev kremenca, povezanih s kalcitnim vezivom, 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, ki so tudi pod večjimi povečavami gladke. Erozijsko zglajene površine so namreč pri velikih povečavah drobno hrapave. Fasete, ki so nastale pri poskusu na mavcu, so posledica raztapljanja mavca. Le večje delce, ki so štrleli iz površine, je neraztopljen odnesel vodni tok. 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 izvorni 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, izvorna pa 60 % (Kranjc 1981, 52). V Finkovi jami so le stropne kotlice, skalni relief Podpeške jame pa je izrazito oblikovan z različnimi fasetami in stropnimi kotlicami. V prvi je kamnina močno prekristalizirana, v drugi obod sestavlja dokaj homogen oosparitni apnenec.

Različno visoke in korozijsko 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. To je še ena potrditev, da le del voda sooblikuje skalni relief.

Hitrost raztapljanja kamnine, kot je pokazal tudi poskus z mavcem, vpliva na obliko in velikost faset. Predvidevam, da so fasete manjše in značilno razpotegnjene (skupina 3), če se kamnina topi hitro.

Fasete lahko sooblikuje ali preoblikuje tudi material, ki ga prenaša voda. Pesek, ki je pretežak, da bi ga vodni tok vključil v pravokotno vrtnčenje, ki vrezuje fasete, se vrtil vzporedno s skalno površino. Fasete so zato na dnu krožno, erozijsko poglobljene. 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.

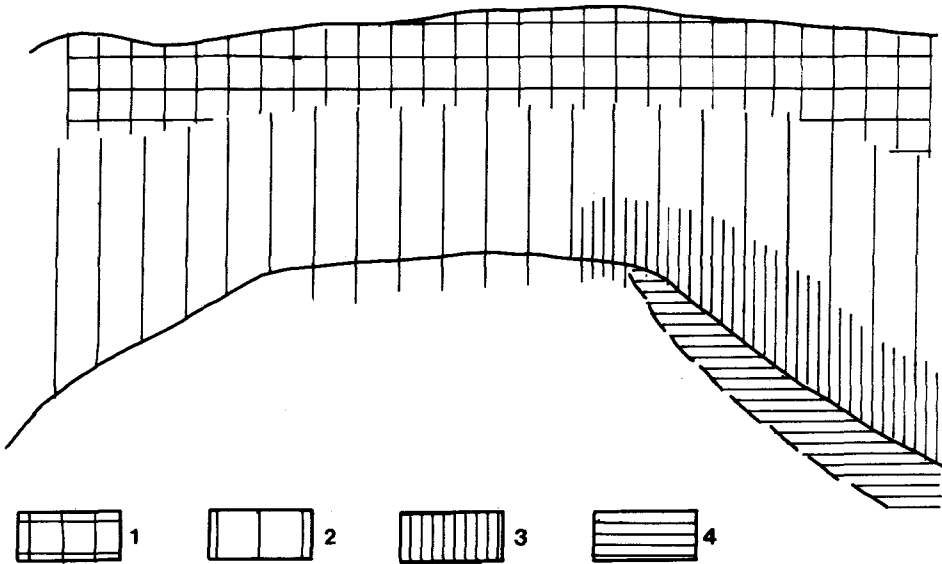
### **NEKAJ PRIMEROV ZNAČILNEGA OBLIKOVANJA FASET**

Fasete lahko 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 vode nad drobnozrnato naplavino. Fasete so torej lahko na celem obodu ali le na delu oboda. Na obodu prevladujejo ali pa se pojavljajo v z drugimi oblikami, na primer s podnaplavinskimi žlebiči in vdolbinicami. Zaradi učinkovitosti vodnega toka tudi v drugem primeru prevladujejo.

Prepletu različnih oblik faset lahko sledimo na majhnem odseku izbočenega, podkvasto zavitega rova v Markovem spodmolu (sl. 17). Tla pritočnega dela rova, ki se dviguje pod kotom 25<sup>o</sup>, so do začetka zavoja, torej v najbolj strmem delu, gladka. 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 blokih, za katerimi se tok skokovito poglobi. Takšne fasete so tudi na spodnjih delih sten. Na tleh, ki se v nadaljevanju spuščajo navzdol z manjšim strmecem (10<sup>o</sup>), sledijo manjše fasete skupine 2-3, ki so značilne za hitrejše, plitkejše vodne tokove. Dolge so 2-5 cm in globoke 1,5 cm. Na tleh, ki se na odtočnem delu strmo spuščajo, so najmanjše fasete. Sprva so dolge 2 cm, na najbolj strmem delu, kjer se struga zoži v polkrožen žleb, ki ima naklon 45<sup>o</sup> 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 (sl. 4), 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.

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



Sl.17. Razporeditev fasete v delu rova v Markovem spodmolu

1. večje fasete 2. skupine, stare
2. večje fasete skupine 2-3
3. manjše fasete skupine 2-3
4. manjše fasete v žlebu, 1. skupina

Fig.17. Distribution of the facets in one part of the channel in Markov spodemol

1. bigger facets of 2nd group, old
2. bigger facets of group 2-3
3. smaller facets of group 2-3
4. smaller facets in groove, 1st group

deli, ki so vodnemu toku najbolj izpostavljeni, gladki, na njihovi odtočni strani pa se je oblikovala mreža majhnih fasete, ki so dolge do 1 cm. V anastomoznem spletu rogov, v katerih tla in zlasti zgornje rove prekriva tanka plast ilovice, so fasete dolge 5-10 cm.

Če sklepamo iz velikosti fasete po formuli Lismonda in 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 rogov .....	0,25-0,50 m/s

Po meritvah proda v jami Kranjc (1981, 52) sklepa, da ga prenaša tok vode, katere hitrost preseže tudi 2 metra na sekundo, torej je enaka tisti, ki vrezuje najmanjše fasete. Pritočne izpostavljene dele kamnine gladi tudi erozija. Rov je najbolj prevoden ob nižjih ali srednje visokih vodah, saj ožina za rovom povzroča zastajanje visokih voda. 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 imajo premer 1 m in več. Na njih so le nekaj cm dolge fasete (sl. 18). To je posledica spremenjenega načina 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. 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. Razumljivo je, da mlajše, zlasti manjše, fasete hitro prekrijejo morebitne starejše. Vodni tok, ki zadnji obliva kamnino, je praviloma odločilen za oblikovanje jamskih sten. Le del spreminjajočega toka vrezuje fasete, in to verjetno tudi ne najbolj dolgotrajni, temveč tisti, ki na strugo deluje najbolj učinkovito, kar smo ugotovili tudi na primeru vhodnega rova v Tenteri. 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.

## **REBRA IN NJIHOV NASTANEK**

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



Sl. 18. Majhne fasete na velikih v Novem rovu v Beško Ocizeljski jami  
Fig. 18. Smaller facets above the big ones in Novi rov in Beka Ocizla

prečna na smer vodnega toka (sl. 19). Rebra so dolga 60 cm, to pa je tudi širina stenske zajede, široka pa so poprečno 5 cm in globoka 1,5 cm. Na nekaterih robovih med rebri je manjše rebro, ki se navzdol širi. Rebra so polkrožnih prečnih prereзов, njihovo dno pa je neizrazito valovito.

Nastanek reber je razlagal Curl (1966). Nastala naj bi zaradi dolgotrajnega oblivanja 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 prek celega premera.



Sl.19.Rebra na vzdolžni stenski zajedi Markovega spodmola  
Fig.19. Flutes on the longitudinal rocky notch of Markov spodmol

### SKLEP

Do večine predpostavk o oblikovanju različnih tipov faset sem se dokopal v številnih slovenskih kraških jamah, ki so se oblikovale v različnih hidroloških pogojih in kamninah. Bogato terensko gradivo je pripomoglo k nadgradnji dosedanjega znanja. Domneve o nastanku faset so mi pomagali razjasniti laboratorijski poskusi z mavcem.

Na nastanek manjših faset odločilno vpliva predvsem sestava in razpokanost kamnine, ki jo oblivajo različno hitri vodni tokovi. Manjše fasete nastanejo s prekinitvijo laminarne mejne plasti. Z vrtinci ob posameznih ovirah, večjih delcih kamnine ali vdolbincih v njej, lahko nastanejo samostojne odprte fasete. Lastnost karbonatne kamnine je drobnozrnata, pogosto dokaj homogena sestava. Kamnino zato enakomerno prekrijejo vrtinci in razvije se mreža faset. Na nehomogeni kamnini, sestavljeni iz delcev, ki so skorajda enaki teoretični dolžini faset ali pa na pretrti ali hitro razpadajoči kamnini, fasete ne nastanejo. Velikost počasneje topnih delcev v kamnini vpliva tudi na velikost vrtincev ob njih in tako na velikost faset. Vrtinci, ki oblikujejo velike fasete, so, kot lahko sklepam iz primerov s terena, predvsem

posledica trenja med laminarno in vrtinčasto plastjo vodnega toka. Vrtinčenje se lahko razvije tudi ob večji oviri, manjše ovire se odražajo le na obliko posameznih večjih faset.

Pod velikimi povečavami elektronskega vrstičnega mikroskopa so površine manjših faset gladke. To priča o pretežnem korozijskem delovanju vrtincev. Erozijsko zglajene površine so namreč drobno hrapave.

Poprečna oblika in velikost faset, posamezne so v večji meri pogojene s kamnino, odraža predvsem hidrološke pogoje njihovega oblikovanja. Osnovi tip (2. skupina) mreže je sestavljen iz zaprtih faset, ki imajo odtočne robove povezane v diagonalne nize. Nastane, ko se ob razmeroma homogeni kamnini razvije popolno vrtinčenje, ki ni omejeno s prostorom. Smer vodnega toka je iz takšnih faset jasno razvidna. So večinoma sled srednje hitrih in hitrejših epifreatičnih vodnih tokov. Ko na vrtinčenje vpliva tudi prostor, njegova oblika in velikost, nastanejo fasete, ki so povezane v prečne nize. Nastajajo praviloma v ožinah med večjimi rovi ali pa v stenskih zajedah. Podolgovate, manjše fasete odražajo odprte, tanjše vodne tokove. Velike fasete so sledi počasnejših freatičnih tokov, ki z večjim pritiskom oblikujejo stene.

Poznane različice, velikosti in položaj faset nam s pridom služijo kot speleogenetske sledi bodisi da v rovu prevladuje ena vrsta faset ali pa da stene prekriva več tipov mrež. Slednje so lahko posledica spreminjajočih sedanjih vodnih tokov, oblike in velikosti rova ali pa spremenjenih hidroloških pogojev v vodonosniku, ko so mlajše fasete le deloma prekrile starejše.

S poskusi na mavcu kaže vsekakor nadaljevati, saj bi pri oblikovanju faset lahko natančneje določili razmerja med sestavo kamnine in hitrostjo vodnega toka ter vrtinci v njem.

## LITERATURA

- Allen, J.R.L., 1972: The origin of cave flutes and scallops by enlargement of inhomogeneities.- *Rassegna speleologica Italiana*, 14/1, 3-20.
- Badiura, R., 1909: Križna jama.- *Dom in svet*, 30-33, 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*.
- Curl, R.L., 1966: Scallop and flutes.- *The Transactions of Cave Research group of GB*, 7/2, 121-160, Nottingham.
- Curl, R.L., 1974: Deducing Flow Velocity in Cave Conduits from Scallop.- *The NSS Bulletin* 36/2, 1-5.
- Dreybrodt, W., 1988: Processes in karst Systems.- *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg*.
- 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.



- Gams, I., 1963: Logarček., *Acta carsologica* 3, 5-74, Ljubljana.
- Gams, I., 1974: Kras.- Ljubljana.
- Goodchild, M.F & D.C. Ford, 1971: Analysis of scallop patterns by simulation under controlled conditions.- *The journal of geology* V 79/1, 52-62, Chicago.
- Gospodarič, R., 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami.- *Acta carsologica* 6, 327-366, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce.- *Acta carsologica* 13/1984, 5-36, Ljubljana.
- 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.
- Kranjc, A., 1981: Prispevek k poznavanju razvoja krasa v Ribniški Mali gori.- *Acta carsologica* 9/1980, 27-81, Ljubljana.
- 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* 10/3, 97-102.
- Lauritzen, S.E. & J.A. Abbot & R. Arnesen & G. Crossley & D. Grepperud & A. Iv & S. Johnson, 1985: Morphology and Hydraulics of an Active Phreatic Conduit.- *Cave Science* 12/4.
- Lismonde, B. & A. Lagmani, 1987: Les vagues d'érosion.- *Karstologia* 10-2, 33-38.
- Maire, R., 1980: La spéléologie physique.- *Spelunca* 1980, No1 supplément.
- Michler, I., 1934: Križna jama.- *Proteus* 5, 97-102, Ljubljana.
- Renault, Ph., 1968: Contribution ... l'étude des action mécanique et sédimentologiques dans la spéléogenšse.- *Annales de spéléologie* 23/3, 529-596.
- Rudnicki, J., 1960: ŠExperimental work on flutes developmentĆ.- *Speleologia* Tom 2, Nr. 1, 17-30, Warszawa.
- Scheidegger, A.E., 1961: *Theoretical Geomorphology*.- Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Slabe, T., 1989: Skalne oblike v Križni jami in njihov speleogenetski pomen.- *Acta carsologica* 18, 197-220, Ljubljana.
- Slovenska kraška terminologija, 1973, Ljubljana.
- Shaw, T.R., 1992: *History of cave science*.- Second edition, p. 338, Sydney Speleological Society.
- Šušteršič, F., 1985: Speleometrična izhodišča za proučevanje jamskih prečnih prerezov.- *Naš krš* v.11, No.18-19, 81-87, Sarajevo.
- Trudgill, S., 1985: *Limestone geomorfology*.- London and New York.

## FACETS - AN IMPORTANT TRACE OF SHAPING AND DEVELOPMENT OF THE KARST CAVERNS

### Summary

During my study of the rocky relief in the slovene karst caves my attention was dedicated to facets which originate due to the turbulent water flow on the rough rocky surface. They are helpful at defining the way and direction of water flow through the channels.

Facet, called current marking too, is some 10 to 100 millimeters long oval solution niche. It is deeper and steeper on the inflow side, on the outflow side it is elongated and gently disappears. Various types of smaller facets are distinguished. Big facets resemble to shallow solution cups. The flutes are oblong indentations of regular form arranged in the series transverse to the direction of the water flow. Typical of both features is their tendency to join in nets.

About study and definition of the relation of the facets length and the water flow velocity, incising them, several authors have already reported. I decided to dedicate more attention to the comparison of their form properties and their ability to join into nets and to determine the factors and processes of their origin and formation. Extensive researches on the field and the laboratory tests (facets in plaster) were extremely useful. Here I summarize some results of the study.

For the origin and for the facets development the rock, velocity and pressure of water flow with given viscosity and the aggressivity of water, as well as the size of the conduit and the shape of the rim are the most decisive. I suppose that the basic forms of the characteristic scallop network is mostly determined by the hydraulic conditions. The rock decides upon the origin, upon the shape of the particular facet within a network and partly influences on their size.

Most of current markings appear on all types of the limestones, seldom they are found on dolomite, conglomerate, breccia, flowstone and sandstone.

On homogeneous limestones where the particles are of regular shape and the same solubility, rather uniform scallop network occurs. More heterogeneous networks appear on inhomogeneous rock composed by intraclasts. On temporary flooded part of the wall in Pivka jama the facets are about 3 cm long, but where the rudists are protruded for 1.5 cm out of the surface there are no facets. On paleogene limestone the fossils have little influence on the shape of small facets.

Facets are found on carbonate conglomerate and breccia too if the pieces of limestone are several times bigger than the facets length.

In Smoganica the facets developed on chert sandstone with calcitic cement.

Along thin fissures the facets may be elongated, threaded into series, the differences in the orientation and the size of facets are bigger. Along the fissures the edges of facets are frequently toothed.

At great Reynold's numbers the friction depends on roughness of the tube's edge and is almost independent on viscosity of the fluids, while at small Re it depends on viscosity and just a little on roughness (Reynolds 1974, 5). This property of rock walls overflowed by the water stream is reflected, as it seems, in the formation of small or big current markings. The diameter of the whirlpools in the water flow depends mostly on water's velocity. But the lithology of the rock influences as well upon the size of the whirlpools. Near bigger obstacles the whirlpools of the water are bigger (Fig. 16). If the obstacles of the same size or bigger than the current markings are dense one to the another the interlacing of the whirlpools may conduct to chaos within the counters and the characteristic net of the current markings does not appear. To get the net of current markings the size of the whirlpools must be bigger than the size of the constituent particles of the rock. The distribution of the smaller current markings is controlled apart from the hydraulic conditions and space geometry by the inhomogeneities of the rock. It was clearly shown at the experiments with plaster. While forming smaller current markings the interruption of the boundary laminar water layer is decisive due to unequal solubility of the grained rock composition. The same was stated by Ford & Williams (1989, 305) as well. In plaster the water incised at the obstacle a solution niche firstly. The obstacles, bigger particles of plaster, were later washed off. Singular facets developed along rare obstacles and not connected into network, remained open. The particular facet thus remained open. Allen (1972) too stated that a particular inhomogeneity in the rock causes the facet's origin. If the rock is homogeneous it is evenly washed by the turbulent flow and a net of current markings develops. An equal inhomogeneity is enabled by the grained structure of the carbonate rocks. The closed facet of various forms predominate in the net, most of them have half-circular inflow parts and triangular outflow parts.

Is the origin of the facets possible only at a considerable thinning or interruption of the boundary water layer when its impact on corrosion and erosion is negligible? In the aggressive water the approach of the turbulent flow caused by friction along the boundary water layer may cause more abundant solution of the rock due to locally thinner diffusion layer. In such a way bigger facets can occur being the result of a laminar water flow there, where the influence of the rock has no essential impact on their formation. Bigger particles of the rock may prevent the high velocity flow to form the facets, but in slower flow they influence on the formation of the net mostly. At bigger inhomogeneities the "clusters" occur frequently. In them the water flows to several directions. In the ponor cave of Lokva the rudists jutting out of the surface do not influence upon the form of medium sized facets while smaller facets on similar rock in Pivka jama did not develop.

Having good knowledge of hydraulic properties of the turbulent flow and of rock lithology one can consequently define the rate when the facets may develop, or determine the influence of the rock lithology to their size. The facets may develop on a particular sections of the rim which are sufficiently large for the formation of the whirlpools' net and which deviate from the water flow direction by smaller angles.

The water in the whirlpools circulates perpendicularly to the surface which it overflows; that is confirmed by the outflow lengthened and more shallow part of the facets. The biggest obstacle to the flow lines in the whirlpool is the facet's wall which is the most perpendicular to the water flow. The corrosion and erosion are the most efficient on this

surface and thus the facets "move" downwards the flow. The moving is limited by the rock, by the fissures in particular to which smaller facets are frequently linked. Along the big facets, having the diameter of more than 50 cm the water flow direction is no more legible as the whirlpools which incised them have no more distinctive outflow tails.

By increase of the water flow velocity the diameter of whirlpools and the length of the facets decrease. The smallest facets I have found in chosen caves were 0,4 cm long and the longest 40 cm long. The exception are big facets. They originated by the water flow which had the velocity from 6 to 0,5 m/s if we consider the equation by Lismonde and Lagmani (1987, 38):  $UL/v = 22000$  in simplified version or in more complete form:  $UL/v = 20700 (1+0,266(\ln(D/2L)-1,5))$  which may be adopted for the conduits of regular circular cross-sections only.  $U$  means the water flow velocity,  $L$  is average facet's length. These calculations of the water flow velocity correspond rather well with those attained by the pebbles size (Scheidegger 1961, 135) transported by water. The initial size of the facet depends on the rock mostly. In Vzhodni rov of Predjama the facets are small solution niches with diameter of 1 cm on the contact with smooth surface. Behind them, on the outflow side, the current markings net developed, formed by water flow of 2,5 m/s of velocity. In Markov spodmol there are on the steep side of the river bed the smallest facets only 0,4 cm long, thus indicating the water flow velocity of 6 m/s and fine-grained homogeneous rock on which they occur. The granular composition is characteristic for the limestones and according to locally high velocities of the water flow and small whirlpools it them, the limited homogeneity is frequent.

I've noticed several characteristic connections of the facets within the same net. We distinguish the facets with rather accomplished shapes and those subdued to the manner of connection in a net due to inhomogeneous rock. The distribution of the whirlpools which cover the adequate rock entirely is firstly controlled by the rock and when the equilibrium is achieved, for which a laminar flow is needed, the turbulent flow controls the shape of the facets themselves. Among the initial whirlpools the interjacent ones occur, competing among themselves. This is indicated by some extraordinary small facets within a net. After some time the facets in regular flow achieve their maximal size and the state of equilibrium. During the experiments in plaster the facets size did not change after 2 hours.

I infer that the facets similar by shape develop in characteristic hydrological conditions.

I have presented the shape of singular facets within 60 networks into numerical data. To each facet the length, the width of the left and right half and the point and the biggest depth were defined. I have also measured the radius of inflow, mostly half-circular edge of the facet and the final angle of the closed facets. Thus the average shape and size of facets in the particular networks were obtained. It turned out that in the networks the facets which are closed on the outflow side by wider or narrower angle and the facets which remain open on the outflow side predominate. These two shapes are either connected within the same network or predominate in it. For comparison of the facets referring to their shape I had to eliminate their size. For the average shapes of the facets I have calculated the proportion between the facet's length and the above mentioned width. The results are classified into three groups and into the intermediate groups.

We speak about the second group when the conduit is big enough and the homogeneous rocky surface bigger than the diameter of the whirlpool of water thus that at the walls perfect whirls develop and "mature" facets occur. The difference between the longest and the shortest current marking is considerable, being from 24 to 375 mm. Proportionally with the flow velocity increase the length of the facets decreases and by increase of the pressure against the walls their radius augments and the current markings are deeper. The nets characteristically associated to lateral edges limiting the outflow parts of the facets into diagonal series predominate.

To the first group belong the facets where the rate between the length and the width is smaller or equal to 1. They are mostly small, from 4,7 to 40 mm long and from 2 to 10 mm deep. The facets are associated into series which are distributed transversely to the direction of the water flow. As a rule such facets developed in the narrows of the channels or on floor and wall solution flutes. They are incised by water flow increased in the flooded channel or the open water flow acting to the walls by smaller pressure. I presume that the size and the shape of the channel or its part (longitudinal notches) controls the constant turbulence across the entire section.

To the third group belong the facets with the rate between the length and the width bigger than 2. The facets are relatively small, from 1 to 5 cm long. They occur when the rock is bathed by the shallow open water flow. Its pressure against the walls is slight. It is evidenced by the position of such facets also on rocky blocks or on exposed convex parts of the river beds and on the walls close below the level of higher water flow.

In the chosen caves I had the opportunity to see only old big facets mostly badly preserved. The diameter of the biggest facets measures from 0,5 to 1,5 m and is from 0,3 to 0,5 mm deep. Big facets have the shape of shallow half bowls. Their net is hardly legible.

By increase of the water flow velocity the boundary laminar layer along the rock becomes thinner. The turbulent nucleus approaches the wall. By thinning the boundary laminar layer which depends upon the fluid viscosity too, the diffusion layer is made thinner as well. It enables the water to transport the reagents and the product of dissolution quicker and thus the corrosion is increased. In a very expressed turbulent flow the existence of a diffusion boundary layer is neglected (Dreybrodt 1988, 154). Due to thinner boundary layer the water acts by erosion directly to the rock by its mass.

At the facets developing on the carbonate rock both processes are important: the locally faster dissolution and direct erosion of the rock by the water mass. The water transports less soluble particles of the rock. From the sandstone composed by quartz particles cemented by calcite the water transports the quartz particles after dissolving the calcitic cement. During the formation of the current markings on more resistant carbonate rock more important role is played by the corrosion. The microscopic observations of the small facets surfaces confirm it as they remain smooth under greater magnifications too. The erosionally polished surfaces are namely under greater magnifications thinly rough. The facets formed at the experiments in plaster are due to plaster dissolution and only bigger particles, jugged out of the surface were undissolved washed off by the water flow. As a rule the facets do not occur

in the conduits with prevailing erosional activity of the water flow (Babja jama). The rim of such passages is polished.

Comparing the saturation of water to shape of the rocky relief in the swallow hole Finkova jama and in spring cave Podpeška jama (Ribniška Mala gora) one can establish that the lithology is much more important at the origin of rocky forms than the saturation, potential water aggressivity respectively. Allogenic water is up to 21% saturated and spring water up to 60% (Kranjc 1981, 52). In Finkova jama there are ceiling pockets only while the rocky relief of Podpeška jama abounds with various current markings and ceiling pockets. In the first cave the rock is strongly recrystallized, while in the second one the rim is built of rather homogeneous oosparitic limestone.

Differently high and corrosionally aggressive waters play different role at the rocky relief formation. In Škocjanske jame the high waters incise the current markings and the riverbed bottom is covered by a thin film of flowstone. It is another confirmation that a part of water only takes part at the formation of the rocky relief.

The velocity of the rock dissolution, shown also by the experiment in plaster, influences to shape and size of the facets. I suppose that the facets are smaller and characteristically lengthened (group 3) if the rock is easily dissolved.

The facets can be formed or transformed by the material transported by the water. The sand being too heavy to be included into perpendicular turbulence incising the facets, whirls parallel to the rocky surface. This is why the facets are at the bottom circular and erosionally deepened. In vadose zone of the channels (Osapska jama) where slowly flowing waters deposit loam, the corrosion below the sediment deepens and widens the facets. Thus the combination of facets and below sediment solution niches are involved.

Current markings develop in singenetic and paragenetic passages. In the first ones these are water flooded channels, the channels through which the open water flow passes, in the oxbows; in paragenetic channels bigger facets develop due to water flow above the fine grained sediment. Thus the facets may occur on the entire rim or on one part of it only. On the rim they predominate or else they occur in combination with other forms, f.e. below sediment half tubes or solution niches. In short, the current markings are an important speleogenetical sign.

In seasonal ponor Beka Ocizla cave system there are on the walls of Novi rov big facets and on other places some cm long new facets. The channel was phreatic at first and was later partly transformed by more rapid water stream.

On the upper parts of the walls and on the ceiling of one part of the passage in Markov spodmol there are bigger facets distinctive for phreatic channels. They are older and it seems that they covered the entire rim of the conduit. Later they were on the lower parts of the walls and on the floor covered by smaller facets incised by rapid, open water stream. The shape and distribution of the facets are controlled by changed hydraulic conditions in characteristically shaped conduits.

Flutes are significant for longitudinal, half-bowl wall notches. They mostly develop along thinner limestone beds which are variously resistant against the water flow. Undistinctive transverse edges in the flutes which are found on the distance equal to their length show that flutes are the extreme case of facets of the first group. I presume that for

their development the defined rate between the velocity and local dimension of the water flow is decisive which is controlled by the conduit's diameter or notches in the wall. The water flow whirls across the entire diameter in a characteristic manner.

Translated by Maja Kranjc