

Ivan G a m s
(Ljubljana)

PODTALNE KRASKE OBLIKE

V primerjavi s površinskimi kraškimi oblikami je bil študij oblik v karbonatni kamnini pod pokrovom zemlje zanemarjen. Več razprav je najti v zvezi z drobnimi oblikami, nastalimi z delovanjem organizmov. Cousin (1957) je pri analizi površja v akvitskem apnenčastem drobirju v rendzini pri kraju Blois (Loir-et-Cher) v Franciji ločil naslednje oblike: jamice ($1/2$ –1 cm premera, 1–2 mm globoke), luknjice (2 mm premera, do 2 cm globine), grbine, obdane z žlebički (s premerom $1/2$ –2 cm), brazdice (0,5–1 mm široke, nekaj desetina milimetra globoke in dolge 0,2–3 mm), kis o delo koreninic, luknjice endolitičnega lišaja (0,4–0,5 mm premera, 0,1–0,2 mm globoke). Pri 15–64 % vzorcev drobirja je ugotovil apneno skorjo in pri 45–84 % koncentracijske tvorbe. Mnogo globlje pod površjem, kot so omenjeni lišaji, sta našla mikroorganizme B Smyk in M. Drzal (1964).

Omembe večjih oblik pod pokrovom prsti so navedene med tekstem. Večjo pozornost so vzbudile v gipsu v južnem Harzu (Haefke, 1926, Penck, 1924). V novejši literaturi se je ob procesih na stiku med karbonati in prstjo ustavil Jennings (1968, 61–62), ki je nastajanje tako imenovanih korozijskih cevi (*solution pipes*) v Avstraliji spravljal v zvezo z delovanjem drevesnih korenin, ki so jih pod kalkareniti opazili do globine 60 m pod površjem.

Harasimiuk M. in drugi (1969) so analizirali podtalne oblike v apnencu na poljskem krasu v okolici Frampola a jih, razen vrtač in brezen, niso posebej poimenovali. Po njihovem mnenju so te oblike nastale na površju v štirih ločenih razdobjih, v srednjem pliocenu, v predglacialu, v mindel-riškem interglacialu in v zadnji interglacialni dobi.

V slovenski literaturi nimamo posebnega temina za oblike v karbonatnih kameninah, ki nastajajo ob stiku s prstjo, ilovico ali glino. Tu uvajam ime podtalne kraške oblike, za razliko od podzemeljskih, ki so v smislu sedanjega pojmovanja globlje pod površjem in predmet speleologije.

Za kras sicer vemo iz literature in terenskih opažanj, da je zemlja (prst) zelo neenakomerno debela in da tako imenovana pokarbonatna

tla, kot jih imenujejo slovenski pedologi, na pokritem krasu izravnavajo drobno razčlenjeno skalno površje in zapolnjujejo žepe. Navajeni smo opazovati to drobno razčlenjenost sklanega površja v dveh dimenzijah v cestnih in drugih vsekah. Vse tri dimenzije pa razkrijejo pri razširjanju kamnolomov in pri vseh drugih gradnjah, kjer morajo popolnoma odstraniti prst s površja. Študij takih mest je pokazal, da so že pod prstjo razvite skoraj vse manjše površinske oblike, za katere moramo, če so danes na površju, pri razlagi upoštevati možnost, da so začele rasti že pod prstjo. Te oblike pod prstjo so prav tako pestre, med množico pa je mogoče izločiti naslednje tipe, za katere so se uveljavili na površju strokovni termini.

1. Pokrite škraplje

Mišljena je večina oblik, ki jih anglosaška, francoska, ruska in nekatere druge terminologije označujemo za *Karren* ali *lapiès*, slovenska kraška terminologija (glej GV 1963) pa jih deli na škraplje, rebra, grbine in podobno. Pod zemljo so zastopane številne oblike škrapelj, razen tipičnih ostrorobatih poklinastih škrapelj, ki so pogojene z litološkimi razlikami (glej Kunaver, 1963). Po slovenski delitvi škrapelj prevladujejo pod prstjo zaobljene škraplje in žlebaste škraplje, ni pa tako imenovanih dežnih žlebičev, ki jih padavine izoblikujejo na vrhu golih skal.

Že Cvijić (1960, 94) je dopuščal nastanek škrapelj pod odejo prepeleline, vendar je menil, da so tam redke. Novejša kraška literatura je samo zaobljenim žlebičem (*Rundkarren*) pripisovala nastanek pod odejo zemlje (Bögli, 1960, Zwittkovits, 1969, 387, Bauer, 1958). Če se javlja v širokem polkrožnem dnu žlebiča nov ozek kanal, so sklepali na erozijo prsti in na delovanje padavinske vode neposredno na skalo. V nasprotju s tem pojmovanjem pa so po H. Louisu (1968, 225) zaobljene škraplje, ki jih v nemščini imenujejo *Rundkarren*, *Hohlkarren* ali *Schlauchkarren*, tudi *Bodenkarren*, nastale kot površinske oblike in jih je naknadno pokrila prst, zaoblila vmesne hrbte in izgladila stene. Tudi po Habiču (1968, s. 157) so take škraplje nastale na golem kraškem površju. Pluhar — Ford (1970) menita, da že tanek, a karbonatni morenski pokrov zavre razvoj vseh vrst škrap. Pri poskusu škropljenja gladke skale z raztopino pa sta izdelala majhne škraplje z ostrorobato površino.

Sodeč po literaturi, je tudi od kakovosti pokrova odvisno, ali se pod njim razvijajo škraplje. Na našem krasu so rjave in rdeče prsti zaradi obilnih padavin kisle in morejo pod njimi prenikajoče vode intenzivno korodirati. Sveže odkopane škraplje imajo gladke stene, pa tudi take, ki jih porašča samo mah. Ponekod na pobočjih je najti na nagnjenih apniških ploščah gladke žlebaste ali koritaste škraplje brez kakršnega pokrova. Toda navadno jih prekinejo široke prečne razpoke, v katere se danes odteka voda, onstran njih pa se nadaljujejo v isti črti enake škraplje. V nekaterih primerih imajo zaobljene, že razkrite škraplje še gladko, prečne razpoke pa že robato površino.

Tu so škraplje še nastajale pod pokrovom maha, prsti in koreninskega spleta, ko je voda iz nižjih razpok prst že odnesla. Na robu takih razgaljenih škrapljastih polj je pod drevesi še mogoče najti pod rušo pokrite zaobljene škraplje a že votle vmesne prečne razpoke (primera: pod Prečno rebrijo pri Postojni, glej fotografijo v Geogr. v. 1962, s. 9, in ob cesti med Kolkom in Otlico na Trnovskem gozdu). Dosedanji ogledi škrapelj z gledišča spornega nastanka pod odejo prsti ali na goli skali so me privedli do mišljenja, da je gladkost odnosno ostrorobotost površja najboljši kriterij za ugotovitev lege nastanka.

Drugo obliko pokritih škrapelj so pričeli po A. Pencku (1924) obče imenovati geološke orgle; ta izraz je zašel tudi že v kraške in geomorfološke učbenike (npr. Kuský, 1950, s. 40, Louis, 1968, s. 228)

2. Skalne luknje

To so od nekaj centimetrov do nekaj decimetrov široke in globoke izjednine. Pri manjših je viden nastanek ob razpoki, ki se čisto še nadaljuje obakraj kroglastega prereza. Često so nastale ob križanju dveh razpok. Po prerezu so elipsaste, kroglaste in čisto tudi prav okrogle oblike. Pri nekaterih primarna razpoka, ob kateri je prodirala v skalo voda, jo razširila in nato zapolnila z ilovico, že ni več vidna. Skalo predirajo v vseh smereh. Kako je skala pod ilovico preluknjana, je videti tudi v zidovih, ki so na krasu nastali ob trebljenju kamenja za orne površine, pri čemer so ga morali odkopati do globine lemeža. Stopnja luknjavosti pa je zelo različna.

Manjše luknje so nekateri pripisovali delu korenin (Cusin J. 1957).



Sl. 1a Smer skalnih lukenj je sicer različna, vendar prevladuje smer (navzgor proti levi), ki je litološko pogojena.

Direction of the rocky hollows is different but that one controlled by lithology (higher to the left) is prevailing



Sl. 1b Skalne luknje, ki so se odprle v cestnem vseku severno od Loža
Holes in limestone which opened when the road was cut north of Lož

3. Vdolbki

V vegastih večjih, manj razčlenjenih skalnih površinah pod zemljo so vglobljene značilne dolaste jamice, široke ob zunanjem robu navadno do enega metra in globoke do ene pedi. Če so vglobljene v navpično ali strmo steno, je na primer nad kamnolomom v Podutiku poprečno razmerje med globino in širino okoli 5 : 10. Če so na nagnjeni skalni površini, je sorazmerna globina večja, so manj okroglaste in bolj žlebaste. V tem je videti dodatni vpliv skozi prst prenikajoče vode, ki nekoliko hitreje korodira na mestih skoncentriranja.

Na previsih in navpičnih stenah je često ena stran vdolbka bolj strma, vendar pri tem ni mogoče zaslediti take zakonitosti, kot jo imajo na primer nekoliko podobne a manjše jamske fasete, kjer je bolj strmo pobočje tisto v smeri vodnega toka.

Enake vdolbke srečujemo tudi v jamskih stenah. Pogosti so tam, kjer se še danes dotika skale jamska naplavina (npr. v spodnji etaži Logarčka) ali kjer so v pasaži ilovico odkopali (Tihe jame v Škocjan-skih jamah ali Pisani rov v Postojnski jami) ali so ostanki nekdanje akumulacije še vidni v razpokah na steni. Če te jamske oblike primerjamo z oblikami pod prstjo, moremo zanesljivo trditi, da so nastale na

stiku z glino, ilovico, prstjo in da pomenijo torej mesta lokalno pospešene korozije.

Za vdolbke nimamo posebnega termina. Odgovarjala bi »vdolbina«, vendar je nevarnost, da bi jo zlasti pri opisih jam zamenjali z večjimi vdolbinami v stenah v smislu niš. Zato navajam besedo vdolbki, ki jo dopušča SP (1962, ednina vdolbek). Iz tega razloga kot »vdolbina« ne pride v poštev jama.

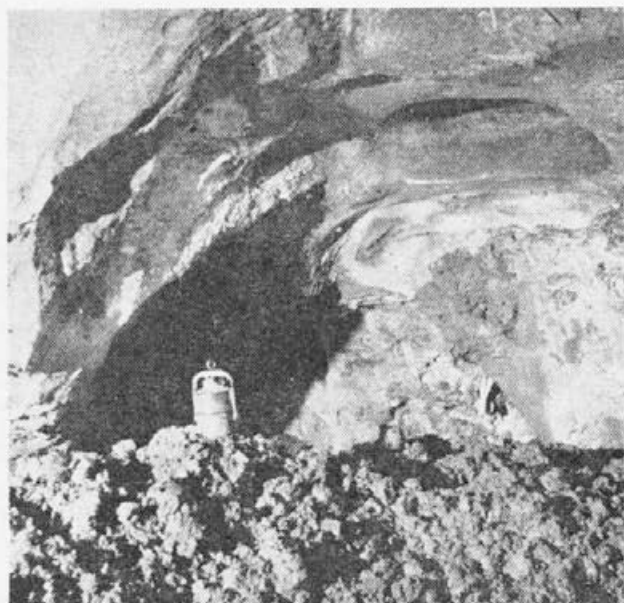


2. Vdolbek na položnejšem skalnem površju. Številne razpoke, nastale zaradi mehaničnega preperavanja tik pod površjem prsti, se globlje izgubijo v gladki površini vdolbka

A scallop on the gently inclined rocky slope. The numerous fissures caused by mechanical weathering near the soil surface are disappearing in the lower smooth surface



3. Vdolbek v napivčni steni je bolj ovalne oblike
The scallops in the vertical wall has a more oval form. Podutik, 1971



4. Vdolbek v stropu slepega rova v Pisanem rovu (Postojnska jama). Ilovica, na kateri stoji karbidka, je segala pred odkopom do stropa.

The scallop in the ceiling in a blynd channel of Pisani rov (The Cave of Postojna). The loam, on which the acetylene lamp is placed, reached as high as the ceiling before it was dug out

4. Pokrite psevdoskavnice

Te oblike nimajo navpičnih ali celo previsnih sten in ravnega dna, kar je značilnost za površinske škavnice (glej D. Radinja, 1967). Podobne so korozijskim ponvicam v jamah. Zanje je bistveno, da so vododržne. Često se javijo v žlebastih vdolbkah, ki imajo na blagih naklonih vbočen podolžni profil. Na drugih mestih je videti, da so pokrite škavnice konce skalnih lukenj, ki jim je korozija odstranila vmesni sklad, tako da sta ostala samo vrh in dno. Od zgoraj navzdol segajo do nekaterih pokritih škavnic razpoke.

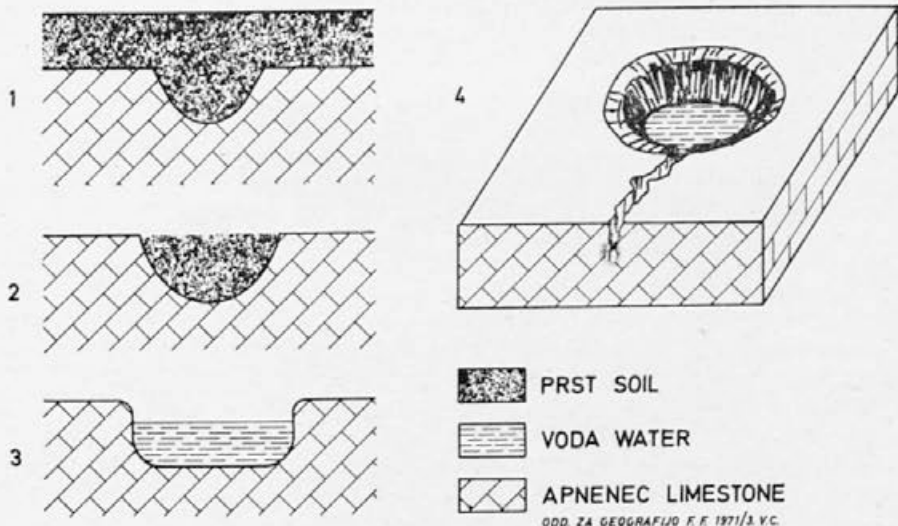
Vkljub netipični obliki jih imenujem pokrite škavnice, ker predstavljajo začetek površinske škavnice in ker se po odstranitvi prsti v njih zadržuje padavinska voda. Ko erozija odstrani z ravne skalne površine prst, ostaja le-ta samo v razpokah in jamicah. Takih primerov lahko najdemo na krasu mnogo. V pokritih škavnicah na golem krasu začne delovati v stiku s prstjo na skalo pospešena korozija, ki je pod drobno preperelino dokazano intenzivnejša kot na goli skali (glej tudi meritve na Pečni rebri pri Postojni, Gams, 1967). S tem se jamica pogloblja in razširja in ko veter ali mehanična sila dežnih kapelj znižata v njej gladino prsti, se pospešena korozija omeji le še na nižje dele

škavnice. Iz poševnih in nato navpičnih sten postanejo tako previsne stene škavnice. Podobno preoblikovanje sten nadaljuje v škavnici zastajajoča voda, ko izgine iz nje vsa prst, in drugi procesi, ki jih opisuje že obsežna literatura (glej Gavrilović, 1968).



5. Po eroziji prsti se le-ta ohranja samo v pokriti škavnici
After the erosion the soil is preserved only in the covered kamenitza

Razvoj škavnice — Development of a kamenitza



1. Začetna faza pod prstjo — Initial phase of the kamenitza as subsoil form
2. Faza po eroziji prsti, ki ostaja samo še v škavnici — Phase after the soil erosion. Soil remains only in the kamenitza
3. Vodna faza po odstranitvi prsti iz škavnice — Wather phase when the soil is removed aut of the kamenitza
4. Razvoj v odprto škavnico — Development into the open kamenitza

5. Pokriti jaški

To so globji in širši žepi zemlje, ki se navzdol zožujejo. Njihove skalne stene so posejane z luknjami, razpokami, rebri, vdolbki, ki se navzdol združujejo. Jaški so pogosti zlasti v daljših prepokah, kjer so mnogo daljši in širši. Razčlenjene skalne stene dajejo jaškom pogosto spiralasto podobo. Globoki so do nekaj metrov. Zlasti so pogosti v prepokanem apnencu, kjer so »žepi« prsti tako globoki, da ne moremo več govoriti o pokritih škrapljah.

6. Zapolnjene mikrovrtače in vrtače

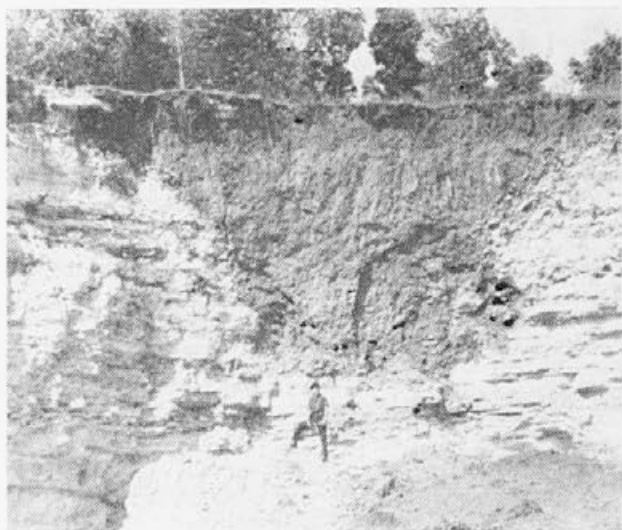
Od površinskih se te vrtače ločijo zlasti po tem, da skalna pobočja niso tako gladka in da se skalno pobočje navzdol manj enakomerno zbližuje. Zato meja med pokritimi jaški in zapolnjenimi mikrovrtačami ni ostra. Za razliko od prvih so mikrovrtače v tlorisu manj ekscentrične, v profilu pa bolj lijakaste. Stene se odmikajo v obliki vdolbkov, zapolnjenih špranj in lukenj. V dveh primerih nad kamnolomom v Podutiku prečkata zapolnjeno mikrovrtačo dve razpoki, ki se nadaljujeta v okolico. Razpoki sta vidni v nižjem delu pobočja ter se navzdol poglobljata v stran od dna. Če pa ti dve razpoki podaljšamo navzgor, se križata približno sredi mikrovrtače. To se pravi, da se je ta začela poglobljati na stičišču dveh razpok.

Zapolnjene mikrovrtače so globoke navadno 1–2 m. Če bi erozija popolnoma odstranila prst, bi mehanično preperevanje izgladilo stene, skalne neravnosti bi prekrila prst in dobili bi pravo lijakasto vrtačo manjših razsežnosti.



6. Spodnja pobočja in dno prej pokrite, zdaj razkrite 2 m globoke mikrovrtače nad kamnolomom v Podutiku pri Ljubljani. Pobočja so mnogo manj gladka kot pri površinskih vrtačah

The lower slopes and bottom of the now uncovered, but formerly filled-up 2 metres deep microdolines above the quarry at Podutik, near Ljubljana. The slopes are much less smooth than with the surface dolines



7. Zapolnjena vrtača z ilovico v sarmatskem apnencu v kamnolomu v Rakovici južno od Beograda. V desnem pobočju je viden korozijski grušč umikajočega se apneniškega pobočja, kar dokazuje, da vrtača ni fosilnega postanka. Foto B. Filipović

With loam filled up doline in the limestone of sarmatian age in the quarry at Rakovica south of Belgrade. The remnants of the corroded limestone on the retreating right slopes are proofs, that the doline is not a fossile form. Photo B. Filipović

7. Pokriti bogaz

Kot skalna tvorba je ta oblika podobna površinskim oblikam, za katere smo v Geografskem vestniku (Kunaver, 1965, 125) brali naziv prelomniški jarek, pa tudi kraški jarek (GV 1967, 156). Dosedanje opazovanje je res pokazalo, da nastane večina skalnih jarkov pod odejo prsti v razdrobljeni kamnini ob prelomih. Podobno kot v jamah pa je tudi pod zemljo možno ugotoviti, da koroziji bolj podležejo nekateri apneniški skladi ali deli skladov in zato v redkih jarkih prelomniške razpokanosti ni opaziti. Iz teh razlogov dajem prednost nazivu *bogaz*, ki je prišel iz srbske literature v dobršni meri že v mednarodno kraško terminologijo. Ponekod so pokriti bogazi sklenjena vrsta pokritih jaškov, drugod pa enakomerno 1–2 in tudi več metrov širok jarek, ki ga erozija prsti laže razkrije izpod odeje, če je na nagujeni površini.

8. Zapolnjena brezna

V kamnolomih se v odkopni steni večkrat odpro navpična ali strma brezna, iz katerih se vsuje zapolnitev. Če je to ilovica ali glina, je navadno bolj živo rdeče barve. Neredko pa so to rumenkasti sedimenti. Tako je bilo l. 1970 v kamnolomu v Podutiku razkrito brezno



8. Prvotno pokriti in zdaj razkriti bogaz (kraški jarek) v kamnolomu pri Podutiku

Originally covered, but now uncovered bogaz (Karstgasse) in the quarry at Podutik

z rumenkasto zapolnitvijo, v Pireščici z rdečo ilovico, v odkopni steni na Verdu pa je bila v enem, 45 m globokem breznu rdeča prst, v drugem, prav tako globokem, pa rumenkasta ilovica. Tretje, izza roba stene, pa so tam decembra 1970 odkopali do globine okoli 12 m.

Zapolnjena brezna se oblikovno ločijo od navadnih po tem, da so stene bolj razčlenjene, površine kamnov pa vkljub temu gladke v kompaknejšem apnencu. Pokrito skalno brezno tudi nima enakomernih širin, ker ga zožujejo skalna rebra, skalne samice, izbokline med vdolbki itd. V odkopanem breznu na Verdu je bilo mogoče v stenah spoznati sledove, da se padavinska voda združuje v breznu, ker vanj vodijo razne razpoke od strani.

Skupne značilnosti podtalnih oblik v apnencu

V primerjavi s površino apnenca na nepokritem krasu je površina apnenca pod odejo prsti (ilovice, gline) bistveno bolj gladka. To je očitno zlasti pri pravkar odkopanih apnenčastih čokih, katerih vrhi so že prej moleli iznad zemlje. Na vrhu je mehanično preperevanje pripomoglo, da so prišle na površju do izraza litološke razlike. Odtod polno razpok in špranj ter drobno razčlenjeno površje z ostrimi robovi. V nasprotju s tem ima kamen pod prstjo gladko površje tudi tam, kjer je koničast, šilast, sekirast in podobnih oblik. Da litološke razlike pod prstjo ne pridejo do izraza, sta opazila, menda edina v kraški literaturi, Linton (1964) in Jennings (1968,102) v eolskih kalkarenitih v Zahodni Avstraliji.

Gladke površine so pod površjem omejene na stik s prepereelino. Nepreoblikovane skalne prepoke imajo tudi tam ostre robove, vendar

dobijo že ozke špranje, ki jih voda zapolni z zemljo, gladke površine. Kamnite površine so tem bolj gladke, čim bolj je apnenec homogen. Zato nima gladkih površin apnenec s fosili ali psevdofosili ali z gostimi žilami rekristaliziranega apnenca (kalcita), ki tudi tu, podobno kot v jamah, moli v polah iz sten. Tudi so površine globlje bolj gladke kot tik pod prstjo, kjer razpoke segajo od ven molečih kamnov navzdol ali tam zaradi intenzivnejšega mehničnega preperevanja nastajajo. Globina, v kateri prehaja razpokana ostrorobata površina v gladko, zavisi od sestave prsti in nadmorske višine. V hribih, zlasti na pobočjih pod rendzino, često ni za nizki kras značilnih gladkih kamnitih površin. V drobno pretrti ali drobno skladoviti kamnini tudi ni večjih gladkih površin. Zato jih ni v skrivalnem apnencu, dolomitiziranem apnencu in podobno. Najbolj so razvite v debelo skladovitem in neskladovitem apnencu, pokritem z glino.

Pri proučevanih kamnolomih na Slovenskem sem našel najbolj vsestransko razvite podtalne kraške oblike v kamnolomu v Podutiku. Tam je rjava ilovnata glina, ki pokriva apnenec, zelo neenakomerno debela; mestoma je alohtona ali koluvialna, kar dokazujejo vložki nekarbonatnega proda in peska v ilovici v zahodnem delu kamnoloma. Dva vzorca prsti iz vzhodnega dela kamnoloma, vzeta v globini 10 in 25 cm.



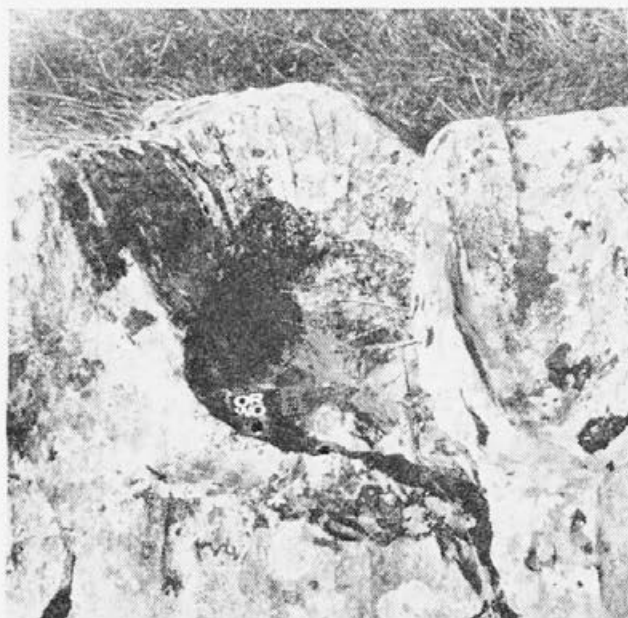
9. Pri Zambratiji v Istri pred kratkim izpod rdeče prsti izkopani kamni kažejo gladko površje v vseh legah, kar je značilnost podtalnih oblik pod ilovico ali glino

The stones (Karren) recently unearthed at Zambratija in Istria have smooth surfaces on all sides; this is a feature typical of subsoil forms

smo analizirali s pipetno metodo v fizično-geografskem laboratoriju FF in ugotovili naslednjo teksturo:

	$\frac{0}{0}$ CaCO ₃	pH	Grobi pesek	Drobni pesek	Mel	Glina
Horizont A	0,51	4,2	2,6	26,2	41,0	32,0
Horizont B	0,46	6,0	1,0	25,8	30,2	41,2

Dosedanji pregledi kraša na Slovenskem so pokazali, da so podtalne kraške oblike najbolj razvite v polgolem (polpokritem) krasu. Vtis je tudi, da so kmetovalci tega prav tako pogosto spreminjali v orne površine kot pokriti kras, kjer je skalna podlaga večkrat drobno pretrta in prst enakomerneje prekriva površje. Vtis je, da sega tam, kjer kamenje gleda na površje, ilovica globlje v podtalne kraške oblike in razpoke.



Skavnica na osamljenem kamnu, ki moli en meter nad travnikom pri kraju Zambratija v Istri. Da je pričela nastajati pod prstjo, priča mnogo bolj razčlenjeno višje površje z mikrožlebiči, odbiti rob v ospredju slike in bolj gladko, pod prstjo nastalo površje niže meterskega traku

A kamenitza on an isolated stone protruding out of the meadow one meter, photographed at the village Zabratija (Istria Peninsula). The more dissected upper surface with Rillenkarren, the cutted-off edge in foreground of the picture and the smoother surface below tape-measure, originated below soil, proves the development of the kamenitza under the soil cover

Ugotavljanje značaja kamnitega površja pod odejo zemlje ima praktičen pomen v tem, ker odpira novo metodo za določevanje erozije prsti, kjer so zaradi nje »zrasli« kamni na njivah. Njihova neenaka oblikovanost nad zemljo in pod njo ostaja namreč še dolgo razpoznavna. V teku je študija erozije prsti po tej metodi, ki po predhodnih rezultatih kaže da so se tla na ornih površinah ponekod hitro zniževale. Horvat (1953) je na osnovi dveh fotografij iste njive, posnetih v večjem časovnem razmaku, določil zniževanje na okoli centimeter na leto. Metoda spoznavanja, kje se je oblikovalo površje kamnitega predmeta, more biti uporabna tudi pri arheoloških izkopavanjih.

Dosedanji ogledi polpokritega krasa so našli lokalno gladke, iz prsti moleče kamne, tudi v takih hribovskih gozdnatih legah, kjer ni verjetnosti, da bi prišlo do erozije prsti zaradi uvedbe travnika ali njive. Raziskovati bo treba domnevo, da je do tega prišlo po požigu gozda, pri čemer je zgorela tudi grobo humozna rendzina s koreninami vred. Tik pod vrhom M. Goljakov ima bukova gozdna meja videz prave klimatske meje (glej prispevek P. Plesnika v tem Geografskem vestniku pod naslovom O vprašanju zgornje gozdne meje in vegetacijskih pasov v gorovjih jugozahodne in zahodne Slovenije!). Vendar dokazuje nekaj skal z gladko površino, ki so na samem vrhu, da je prišlo do erozije prsti, kar je poslabšalo splošne pedološke pogoje.

Druga značilnost podtalnih oblik je v tem, da so sledovi pretakanja vode zaradi gravitacije manj očitni kot pri površinskih oblikah. Skoraj enako hitro rast kot navpične razpoke, kažejo previsne, celo vodoravne špranje, ko se enkrat zapolnijo s prstjo. Izpodžrtost skale je zato pod prstjo znatno večja kot na golem krasu.

Zakovitosti drobnega oblikovanja površja v karbonatnih kamninah je doslej proučevala zlasti speleologija (Franke, 1965). Korozijsko oblikovane ploskve so enake v jamah kot tudi na golem površju: na poševnem pobočju tekoča agresivna voda se združuje v najnižjih legah, te najbolj pogloblja in s tem razčlenjuje površje. Ker pa teče enaka, agresivna voda, na previsnih mestih po rebreh, izrastkih, nosovih in podobno, te najbolj korodira, ko teži k vertikalni. Zato izglajuje skalno površje na previsu.

Teh razlik med poševnimi in previsnimi legami pri podtalnih kraških oblikah ni. V obeh legah je površje gladko.

Ta opažanja se tikajo bistva korozijskega procesa, ki smo ga pripisovali pretežno prenikajoči padavinski vodi. Njeno koncentriranje in težnja k navpičnemu toku v podtalnih oblikah ne prideta toliko do izraza. Ob tem se zastavlja vprašanje, ali ne gre glavne korozije pripisati tistim oblikam talne vode, ki jo imenujemo vodno paro, higroskopska, filmska in kapilarna voda, v zvezi z delovanjem mikroorganizmov. Taka voda se razleze po prsti tudi pod previsnimi kamni. Skladno s tem opazujemo, da so po prvem rahlem dežju trdote voda, ki prodre v podzemlje, navadno višje (glej tudi Bauer, 1964, Williams, 1968). Voda, ki odteka iz zemlje, je pravzaprav predvsem transportni medij raztoplje-

nega karbonata. S to trditvijo se strinja ugotovitev, da so poprečne karbonatne trdote na našem krasu večje tam, kjer je manj padavin (Gams, 1967). Več padavin pomeni le večjo in zlasti dolgotrajnejšo talno vlago, ki je ugodnejša za delovanje mikroorganizmov.

Z bolj ploskovnim korozijskim delovanjem na stiku prsti in apnenca si lahko razlagamo nastajanje gladkega površja v homogenem apnencu: v drobni izboklini odpade več površine na enako prostornino kamna kot pod ravnino in zato korozija na izboklini deluje hitreje. Ostri robovi se kmalu zaoblijo, ker deluje nanje korozija z dveh strani. To drži tudi za drobir v zemlji, za katerega sta Cousin (1957) in D. Radinja (1968) objavila indekse zaobljenosti po Cailleuxu. Po Radinji si sledijo glede dominantnosti indeksi 100–150, 50–100, 200–250 itd., kar bolj ustreza slabo zaobljeni moreni, kot pravemu grušču, za katerega je značilen izraziti indeks 0–50. Po lastnih opažanjih je drobir v kraški zemlji dvojnega nastanka: korozijski ostanki skalne gmote in grušč, ki so ga puščali na ornih in košnih površinah kmetovalci, ki so v dolgih razdobjih trebili kamenje ter vzdavali v zidove ali drugače pospravili le večje kamne. Zaradi že omenjenih procesov pa taki umetni okruški sčasoma izgubljajo na ostrorobotosti. Na umetni nastanek kažejo le še večje odbite ploskve.



11. Grušč, ki je ostal v prsti po odbijanju kamnov na njivi pri D. Ležečah pri Divači

Rubbles left in the soil in a field lot at D. Ležeče- Divača when stones were cut below the soil level

Blizu gradbišča novega hotela v Lipici je bil jeseni 1970 razgaljen v cestnem vseku med apneniško skalo in zemljo drobir, ki je bil v precejšnji meri umetnega nastanka, vendar je že zelo dolgo ležal v zemlji.

Po Cailleuxovi metodi

($I = \frac{2r}{L} - 1000$) izmerjena zaobljenost je naslednja:

0—50 : 51,0	150—200 : 12,6
50—100 : 51,0	200—250 : 7,1
100—150 : 14,1	

Manjša zaobljenost, kot jo je ugotovil Radinja, izvira verjetno iz umetnega postanka grušča. Da pa na zaobljenost drobirja vplivata tudi sestava apnenca in nadmorska višina, priča naslednji diagram za drobir, nabran pod rendzino v n. v. malo pod 1000 m pod vrhom Vremščice.

0—50 : 12	150—200 : 13
50—100 : 38	200—250 : 1
100—150 : 34	250—300 : 2

Ta drobir paleocenskega apnenca je imel tudi manj gladke površine, čeprav je očitno, da je prirodnega postanka.

Študij podtalnih kraških oblik je privedel do nekoliko drugačnega tolmačenja vloge razpok, ki jim literatura navadno pripisuje samo pomen za vodni pretok v kraško notranjost. Od razpok, ki vsaj na nekaterih mestih omogočajo vodni pretok, so najbolj pogoste tiste, ki jih povzročata mehanično preperevanje (toplotno kolebanje, zmrzal in pod.). Najbolj je njihov pomen očiten v homogenih, neskladovitih apnencih, kakršni so na primer v kamnolomu v Podutiku. V kamnih, ki tam molijo iznad zemlje v gozdu, je poprečna razdalja med njimi le nekaj centimetrov. V razkritem krasu nad kamnolomom je njihov razmak ena ped v kamnih, ki so segali tik do površja. Globlje pod prstjo se te razpoke hitro zapirajo in redčijo. Številni vdolbki in skalne luknje se začinjajo na mestih združevanja in zapiranja teh razpok. Od tu dalje so številni vdolbki vglobljeni v nerazpokano skalo. Globlje segajo druge vrste razpok in lezik, ki jih je S. M. Milojević (1936) delil na mikroklaze, leptoklaze, brahiklaze, diaklaze in paraklaze. Za nastanjanje večjih kraških oblik so pomembne tudi razpoke, ki nastajajo zaradi razbremenitve zemeljskih gmot. V kamnolomih se nerazpokana skalna podlaga, s katere odstranijo večjo skalno klado, vzdigne za kak milimeter in pri tem na robu razpoka (to sem opazoval v kamnolomu na Braču). Ker se pri nastanku večje vrtače, uvale, polja, suhe, zatrepne doline, odstrani še znatno več gmote, moramo predvideti, da nastanejo tudi tam robne razpoke. Prelome, ki potekajo vzporedno z dolino in vpadajo pod pobočje, je videti tudi v podutiškem kamnolomu.

Pomen vseh teh razpok je predvsem v tem, da povečujejo površino, na katero deluje korozija. Kamen v obliki kocke s stranico 1 m ima 6 m^2 površine. Enaka gmota, razdeljena v kocke s stranico 1 dm, ima 60 m^2 specifične površine, s stranico 1 cm pa $600 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Če so tedaj delci desetkrat manjši, je tolikokrat večja tudi površina in skladno z njo tudi »specifična korozija«.

Kamenje, ki moli nad zemljo in ni pokrito z vegetacijo ali humusom, bi zapadlo sicer slabotnejši koroziji. Ker pa gostejše razpoke bistveno povečajo korozijsko napadene »specifične površine«, kamni le niso tako obstojni. Še nepojasnjeno je, zakaj so skalne grbine na krasu tako enakomerno visoke, navadno ne preko enega metra. To bi moglo biti povezano s klimatskimi spremembami. Po sedanjih opazovanjih molijo kamni iznad kraške zemlje le, če kamnina ni drobno prekopana in drobno skladovita. Samo v njej se razvije polpokriti kras. Da je na razpokanih, ploščatih apnencih in dolomitih ruša povečini sklenjena, je spoznal že Habič (1968, str. 1961).

Vodoprepustne razpoke se pod odejo prsti pri razširitvi kmalu spremenijo v zapolnjene špranje, v katerih deluje korozija tudi pod previsom.

Posebno vprašanje je globina, do katere more korozija pod prstjo (ilovico, glino) raztapljati apnenec. Teoretsko jo določuje možnost, da talno vlago zamenjuje padavinska voda, oziroma vodopropustnost zemlje. Toda pri opazovanju globjih zapoljenih depresij, pokritih jaškov, zapoljenih vrtač in brezen, je mogoče najti sledove, da proti njihovemu dnu priteka voda iz stranskih, skalnih razpok. V zapoljenih breznihih v kamnolomih na stiku z zemljo tudi v globinah več metrov ali desetih metrov ni sige, pač pa so znaki korozije. To se pravi, da mora v polpokritem krasu korozija poglobljati skalno dno domala ne glede na globino zemlje. S tem je dana možnost posipanja zapolnitve, kar se mora odražati tudi na površju v obliki enkratnih ali ponavljajočih se ugrezov, ki jih je v slovenski kraški literaturi opisal in po svoje razlagal zlasti A. Hrovat (1935). Iz istega razloga je razumljivo, da najdejo v razmeroma plitvih odkopanih breznihih, razpokah, jaških in vrtačah zelo stare favnistične fosile (npr. paleogene na Češkem krasu, kredne na Madžarskem — Ložek-Skrivanek, 1965). Če so se taka mesta dolga geološka razdoblja poglobljala in se je zapolnitev zniževala, ne moremo iste starosti pripisati tudi površju, ki se nenehno znižuje.

Literatura

- Bauer, F., 1958, Nacheiszeitliche Karstformen in den österreichischen Kalkhochalpen. Deuxieme Congr. int. Spél. T. I, S. 1, Bari-Lecce-Salerno.
- Bauer, F., 1964, Kalkabtragungsmessungen in den östlichen Kalkalpen. Erdkunde, B. XVIII, 2, 1964.
- Bögli, A., 1960, Kalklösung und Karrenbildung. Intern. Beiträge zur Karst-morphologie. Z. f. Geomorphologie, Supp. 2.
- Cousin, J., 1957, Formes d'altération des calcaires dans le sol près de Blois. Revue de géomorphologie dynamique, VII, No 9—10, Paris.
- Cvijić, J., 1960, Le géographie des terrains calcaires. Srpska akademija nauka i umetnosti, Posebna izdanja, knjiga CCXLI, Odelenje prirodno-matematičnih nauka, knjiga 26, Beograd.
- Cvijić, J., 1924, The Evolution of Lapiès. Geogr. Rev., 14.
- Franke, W. H., 1963, Formprinzipien des Tropfsteins. Dritter Intern. Kongress f. Speläologie, sect. I, B. II, Wien.
- Gams, I., 1967, Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kameninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. Geografski vestnik XXXVIII.
- Gams, I., 1965, Terminologija večjih kraških površinskih oblik. Geografski vestnik XXXIV.
- Gavrilović, D., 1968, Kamenica-kleine Korrosionsformen in Kalkstein. Proceedings of the 4th Intern. Congr. Spelology in Yugoslavia, Tome III, Ljubljana.
- Habić, P., 1968, Kraški svet med Idrijo in Vipavo. Dela Inštituta za geografijo SAZU, št. 11, Ljubljana.
- Horvat, A., 1955, Kraška ilovica, njene značilnosti in vpliv na zgradbe. Ljubljana.
- Haefke, F., 1926, Karsterscheinungen im Südharz. Mitt. Geogr. Ges., Hamburg, 37.
- Jennings, J. N., 1968, Syngenetic Karst in Australia. Contribution to the Study of Karst. Research of pacific studies, Canberra.
- Kunsky, J. 1950, Kras a jeskyně. Praha.
- Kunaver, J., 1965, Terminologija visokogorskih kraških oblik. Geografski vestnik XXXIV.
- Linton, D. L., 1964, Aspects of the Pleistocene history of north Mayo. Irish Geogr., 5 (I), 42—47.
- Louis, H., 1968, Allgemeine Geomorphologie, tretja izdaja, Berlin.
- Harasimiuk, M., Henkiel, A., Pekala, K., 1969, Rozwój zjawisk krasowych okolic Frampola w pliocenu i czwartorzędzie. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, vol. XXIV, 4, S. B., Lublin.
- Ložek, V., Skřivánek, F., 1965, The significance of fissures and their fills for dating of karst process. Československý kras.
- Milojević, S. M., 1956, Brahiklaze i njihova uloga u hidrografskim odnosima i morfološkim pojavama i pojedinosti krša. Posebna izdanja Srp. Kralj. Akad.
- Penck, A., 1924, Das unterirdische Karstphänomen. Zbornik radova, posvećen Cvijiću. Beograd.
- Pluhar, A., Ford D., 1970, Dolomite karren of the Niagara Escarpment, Ontario, Canada. Zeitschr. Geomorphologie, A 22173, B. 14, zv. 4.
- Radinja, D., 1967, Skavnica-kraška mikroreliefna oblika. Geografski obzornik, XIV, št. 2, Ljubljana.
- Radinja, D., 1968, O obliki in genezi kraškega drobirja. Geografski obzornik, XV, št. 1-2, Ljubljana.
- Smýk, B., Drzal, M., 1965, Untersuchungen über den Einfluss von Mikroorganismen auf das Phänomen der Karstbildung. Erdkunde, B. XVIII, H. 2.
- Williams, P. W., 1968, An evaluation of the rate and distribution of limestone solution and deposition in the river Ferguson Basin, Western Ireland. Contribution to the Study of Karst, Research School of Pacific Studies, Canberra.
- Zwittkowitz, F., 1969, Alters- und Höhengliederung der Karren in den Nördlichen Kalkalpen. Geologische Rundschau, B. 58, H. 2 Stuttgart.

Summary: SUBSOIL KARST FORMS

Ivan Gams

In contradistinction to the surface karst forms the subsoil karst forms have so far been neglected in the research. A special attention has been attracted by the subsoil forms in gypsum karst (Haefke, 1926, Penck, 1924) and by microforms (Cousin, 1957; Smyk-Drzal, 1964). The research of these forms found in the quarries where the soil was stripped off, has established the following types of soil forms.

1. Covered Karren (Lapiès). Their common feature is the smooth surface in the grooves as well as the crests between them. Rundkarren are therefore typical of the covered Karren-s (Bögli, 1960) but not the only one. Their smooth surface originated below soil and not above it (see Louis, 1968).

2. Rocky hollows (solution pipes, Jennings, 1958) are several centimetres in diameter and up to one meter in length. They run in all directions even in the horizontal one. In the original phase the genesis out of fissures is evident, while later the rounded cross-section prevails.

3. Special type of scallops, which on a vertical wall have a diameter ten times bigger than the depth while on gently sloping surfaces they are deeper and elongated, is very common in homogeneous limestone. Similar forms occur in the caves and potholes in contact with loam or clay. If today they are without this filling, the form can be considered to be a proof of the developmental stage (see photo 4).

4. Covered kamenitza (solution pan). The pools in impermeable rocks under soil have gently inclined slopes without a level bottom. Where after the soil erosion phase the pool remains filled with soil a locally accelerated corrosion and transformation of the shape begins (see the sketch), and this is continuing when only the staying water still remains.

5. Covered well (pit, a type of lapiès well according to Cvijić, 1924, probably solution pipes according to Jennings, 1968, p. 61: Orgelpfeifen according to Penck, 1924, who maintains it as underground, inactive form), is usually a cylindrical, nonsymmetrical depression formed of a number of scallops, hollows, narrowing in depth. Originated from fissures, the covered well has a depth of a few metres, with varying diameter.

6. Covered bogaz is in semi-covered or covered karst much more frequent than on the surface. It follows a fracture or dislocation or a zone of fractured rocks. Transition forms to semicovered bogaz (Karstgasse) have been observed. The origin of surface bogaz is in the opinion of the author mostly under the soil cover.

7. Filled dolines reaching up to several metres below the recent soil and more metres below the fossil sediments, have dessected rocky wall where the slopes are much less graded as in the case with surface dolines.

8. Filled potholes often appear in the retreating quarry walls. In the quarry of Verd near Vrhnika, two such filled potholes were opened in December 1970 and their depth reached down to 40 meters.

After the soil erosion phase, many of these subsoil forms become surface forms and this can be proved several hundred years later on the basis of their special forms and smooth surface. The surface that originated in the open air is namely much more etched and fissured due to mechanical weathering.

The smoothness of these subsoil forms is typical also of all limestone rock in contact with soil. Surface smoothness is more prominent if the rock is more homogeneous, with fewer inlayers of recrystallized calcite, chert etc and if the rock is less fractured or thinly bedded. The heavy, sandy-to-clay, soil is favorable for the formation of smooth surface. In Slovenia the surface smoothness of the subsoil rock and rubble are better developed in lower karst. On the steep slopes covered with rendzina in high Alpine karst the rocks under soil have no smooth surface. Since the mechanical weathering

hinders the forming of the smooth surface, it is less developed near the soil level but more so deeper below. In every case the stone in the open air is much more etched and fissured. Since the obvious difference in the micro-forming of the limestone surface below and above the soil persists for many hundred years, it can be used as a method of determining the soil erosion on the semi-covered karst, where isolated stones »have grown up«.

In the open air only the overhanging slopes of stone can be smoothed by the action of corroding percolating water. The same water action dissects the smooth surface of all other inclined slopes (Franke, 1963). But under the soil the position of the rock slope has no significance and surface in all slopes are smooth. According to the author, this is an evidence that the ground-staying water in the form of film-, hygroscopic- and capillary-water has the primary role in the corrosion process. The downward percolating precipitating water has because of the limited time a secondary role, and is important for the transportation of carbonates in solution. Therefore the karst waters have the greatest hardness in the first minutes after the raining begins (Williams, 1968, Gams, 1967).

The smooth stony surface is also a proof of a dominant sheet corrosion under the soil. Corrosion affects both side of convex microforms therefore their height is reduced and in this way smoothness develops. Therefore the rounding index of limestone rubbles found in the soil on the classical Karst north of Trieste (Radinja, 1968, see also page 41 with new measurements),

calculated according to Cailleux ($I = \frac{2r}{L} \cdot 100$) is similar to that of morainic material. Its maximum lies between 100 and 150. Even the remnants of stones cutted off so that tilling of soil was possible lose their etched surface after many hundred years if they lie in the soil.

More fractured limestone with filled fissures has a larger »specific surface« regarding the mass volume. According to the mentioned theory of sheet corrosion such a limestone has a greater specific corrosion and therefore the subsoil forms are obviously directed by fractures and the zone of fractured stone.

Special attention was paid to the establishing of the depths in which the corrosion ceases to act due to impermeability of thick soil. The base of the filled wells, pits, dolines and potholes, opened in the quarry walls, disclosed often obvious fresh signs of recent corrosion. This corrosion is due to the water which is coming through the side fissured and is concentrated downward. The lowering of the rocky bottom is accompanied also by the subsidence of the filling, but this takes place with retardation and sporadically only. Distorted layers are a consequence of this process. Another feature of this process is the subsiding of the soil in covered karst what has been exhaustively described in Slovene literature by Hrovat (1955). Due to unstable bottom of this filled depression and due to the slow lowering of the whole filling-material the fossiles found in the fissures and filled potholes can not be a decisive proof for the age of karstic surface (see Lože Skřivanek, 1965).