

SLOVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI IN UMETNOSTI
ACADEMIA SCIENTIARUM ET ARTIUM SLOVENICA

RAZRED ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
CLASSIS IV: HISTORIA NATURALIS

INŠTITUT ZA RAZISKOVANJE KRASA • INSTITUTUM CARSOLOGICUM

ACTA CARSOLOGICA

KRASOSLOVNI ZBORNIK

IX
1980



LJUBLJANA

1981

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 29. MAJA 1980
IN NA SEJI PREDSEDSTVA
DNE 17. JUNIJA 1980

UREDIL
AKADEMIK SVETOZAR ILEŠIČ

ZAMENJAVA – EXCHANGE: BIBLIOTEKA SAZU,
NOVI TRG 5/I, 61001 LJUBLJANA, P.P. 323, JUGOSLAVIJA

Tiskano s subvencijo Raziskovalne skupnosti Slovenije

VSEBINA – INDEX

Habič, Peter

Nekatere značilnosti kopastega krasa v Sloveniji (z 9 slikami)	5
Some Characteristics of Cone Karst in Slovenia (with 9 Figures)	24

Kranjc, Andrej

Prispevek k poznavanju razvoja krasa v Ribniški Mali gori (z 9 slikami, 13 risbami in 18 tabelami)	27
The Karst Development in 'Ribniška Mala gora' (Slovenia, Yugoslavia) (with 9 Figures, 13 Drawings and 18 Tables)	81

Gospodarič, Rado

Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije (s 7 slikami)	87
Sinter Generations in Classical Karst of Slovenia (with 7 Figures)	108

Kogovšek, Janja

Porazdelitev nekaterih elementov pri nastajanju sig v kraških jamah (z 2 slikama in 10 tabelami)	111
Distribution of some Elements during Sinter Forming in the Karst Caves (with 2 Figures and 10 Tables)	126

Kogovšek, Janja, Peter Habič

Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame (z 10 slikami in 4 tabelami)	129
The Study of Vertical Water Percolation in the Case of Postojna and Planina Caves (with 10 Figures and 4 Tables)	146

Novak, Tone, Valika Kuštor, Andrej Kranjc, Nace Sivec

Prispevek k poznavanju razporeditve favne v velikih rovih (z 10 slikami in 9 tabelami)	149
Contribution to the Knowledge of the Across-Passage Distribution of Fauna (with 10 Figures and 9 Tables)	175

NEKATERE ZNAČILNOSTI KOPASTEGA KRASA
V SLOVENIJI

(Z 9 SLIKAMI)

SOME CHARACTERISTICS OF CONE KARST IN SLOVENIA

(WITH 9 FIGURES)

PETER HABIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 29. MAJA 1980

VSEBINA

Izvleček – Abstract	8
Uvod	9
Način obravnave	9
Značilnosti izbranih kraških planot	10
Nekatere podrobnosti in razlike med planotami	19
Trojna mreža kraških vzpetin	20
Pomen geološke zgradbe, tektonike in klimatsko pogojenega preoblikovanja	21
Sklep	23
Some Characteristics of Cone Karst in Slovenia (Summary)	24
Literatura	25

Izveček

UDK 551.44 (497.12)

Habič, Peter: Nekatere značilnosti kopastega krasa v Sloveniji. Acta carsologica 9, 0-00, Ljubljana, 1980, lit. 23.

Na izbranih kraških planotah v severozahodnem delu Dinarskega krasa so ugotovljeni trije osnovni tipi kopastih vrhov, ki ne glede na njihove absolutne višine sestavljajo značilno trojno mrežo poligonalnega krasa. Razporeditev kopastih vrhov je pogojena s strukturo kamninske podlage, oblikovitost površja pa je posledica večfaznega vertikalnega kraškega razčlenjevanja. V razporeditvi in oblikah vzpetin se odražajo litološke razlike, mladi tektonski premiki in klimatske ter druge morfo-genetske posebnosti.

Abstract

UDC 551.44 (497.12)

Habič, Peter: Some Characteristics of Cone Karst in Slovenia. Acta carsologica 9, 0-00, Ljubljana, 1980, Lit. 23

On chosen karst plateaus in north western part of Dinaric karst three basic types of cupola-like summits were stated, consisting, regarding their absolute altitudes, the characteristic triple net of polygonal karst. The distribution of cone-shaped summits is conditioned by the texture of the rock base, while the surface morphology results on vertical karst dissection in several phases. Lithological differences, neotectonics, climatical and other morphogenetical properties are reflected in the distributions and hills shape.

Naslov - Address:

dr. Peter Habič

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU

Titov trg 2

66230 Postojna, Jugoslavija

UVOD

V dosedanjem preučevanju Dinarskega krasa so bile v ospredju predvsem kraške globeli od najmanjših vrtač prek večjih uval, slepih in suhih dolin do razsežnih kraških polj (J. Cvijić 1893; A. Melik 1936; 1955; I. Gams 1973). Posebno pozornost so v geomorfologiji vzbudile tudi velike uravnave, robni in drugi kraški ravniki (J. Roglič 1957). Pretežna večina geomorfoloških razprav je obravnavala predvsem nižje predele, ki so seveda lažje dostopni in bolj pregledni, zato so po njih povzete tudi bistvene značilnosti Dinarskega krasa. Toda v teh predelih se je poleg kraškega procesa uveljavilo tudi fluvialno preoblikovanje, ne le na manj prepustnih kamninah, temveč tudi na apnencih. Fluvialni procesi so tedaj pomembno vplivali na videz »klasičnih« kraških oblik, če ne z neposredno rečno erozijo, ki naj bi zapustila očitne sledove (A. Melik 1963), pa vsaj z izdatno ali pospešeno korozijo v nivoju občasnih ali trajnejših poplav (J. Roglič 1957; I. Gams 1965). Sledovi fluvialnih procesov, erozije in akumulacije pa so bili ugotovljeni tudi na nekaterih visokih, danes povsem kraških planotah. Na njih so ohranjene suhe doline, pa tudi različni peski in prodi rečnega izvora (A. Melik 1961; P. Habič 1968; D. Radinja 1972). Kraške predele z izrazitimi fluvialnimi oblikami in z očitnimi sledovi fluvialnega in kraškega preoblikovanja so geomorfologi začeli imenovati fluviokras, pri čemer naj bi se oba procesa hkrati odvijala in dopolnjevala, ne pa izključevala. Osrednje dinarske planote pa naj bi po oblikah sodeč nastajale predvsem s kraškim oblikovanjem in zato v bistvu predstavljajo pravi kras (J. Roglič 1958).

Kraško površje dinarskih visokih planot sestavljajo številne kopaste vzpetine ter vmesne kraške globeli. Kopasti in stožčasti kraški griči, kovki, kuclji in podobne manjše vzpetine doslej niso bile predmet posebnih geomorfoloških študij. Le osamljeni humi sredi kraških polj in robnih ravnin so vzbujali pozornost raziskovalcev (J. Cvijić 1926; K. Kayser 1955). Ob kritičnem presojanju sodobne klimatske geomorfologije (M. Sweeting 1976) in tehtnejšem obravnavanju strukturnih in litoloških vplivov na oblikovanje kraškega površja (V. Panoš in O. Štelc 1968; P. Williams 1971; D. Ford 1976) je potrebno posebej preveriti tudi razvojne faze tipičnega kraškega reliefa. Lep prispevek v tej smeri pomenita razpravi G. Brooka (1977) in P. Williamsa (1973).

Ko smo na dinarskih visokih planotah preučevali razporeditev in značaj kraških vzpetin, smo spoznali nekatere podobnosti s takoimenovanim tropskim krasom (P. Habič 1968). Različno visoke kopaste vzpetine se dvigajo bodisi sredi različno obsežnih uravnjav ali pa so nanizane po razsežnejših hrbtih in slemenih. Posamezne vzpetine se razlikujejo po obliki, relativni višini in strmini pobočij, svojevrstna pa je tudi njihova razporeditev. V tem prispevku bomo skušali predstaviti nekatere nove ugotovitve o tipih in razporeditvi kopastih vrhov v severozahodnem predelu Dinarskega krasa.

NAČIN OBRAVNAVE

Kraške visoke planote v Sloveniji smo primerjali s pomočjo topografske karte v merilu 1 : 25 000. Kopaste vrhove na karti smo ne glede na njihovo absolutno višino povezali s črtami, pri čemer se nam je pokazala zanimiva mreža poligonalnega krasa. V naslednji fazi smo primerjali kopaste vrhove po njihovi relativni višini in razporeditvi. Na podlagi kart

ugotovljene morfografske značilnosti smo deloma preverili s terenskimi preučevanji. Geološke podatke smo povzeli po osnovni geološki karti v merilu 1 : 100 000. Spoznanja o razvoju kopastega krasa smo lahko dopolnili z nekaterimi dognanji iz drugih podobnih kraških pokrajin.

V vsakem obravnavanem predelu smo našli nekoliko drugače sestavljeno mrežo vrhov, vse mreže pa imajo vendarle nekatere skupne poteze. Najvišji vrhovi tvorijo v vsakem predelu najredkejšo mrežo, prevladujoči srednje visoki vrhovi tvorijo drugo zelo izrazito mrežo. Najnižji vrhovi so razviti ali okrog višjih vzpetin, ali pa na obrobju, in oblikujejo le lokalno razvito tretjo mrežo.

ZNAČILNOSTI IZBRANIH KRAŠKIH PLANOT

Primerjali smo osem kraških območij od predgorja Julijskih Alp do nizke Bele krajine. Položaj obravnavanih kraških planot v Sloveniji je prikazan na sliki 1. Izbrane kraške planote so različnega obsega, od 10 do 100 km². Vse so reliefno izrazito ločene od sosedstva, bodisi z globokimi dolinami ali premočrtnimi strmimi pobočji. Na vseh planotah prevladuje kopasto površje, kjer se menjavajo vzpetine in globeli v bolj ali manj pravilnem zaporedju. Sredi planot je le malo razsežnejših uravnjav ali tipičnih kraških ravnikov, ti so pogostejši na nižjem obrobju kopastega in dolastega površja. Takšne reliefne poteze nakazujejo določeno razliko v razvoju kraškega površja. Izdatno strukturno zasnovo in tektonsko omejitvev planot potrjujejo geološki podatki, saj so planote po večini omejene z izrazitimi prelomi in narivi, zato lahko upravičeno sklepamo, da je pri njihovem morfološkem ločevanju od sosedstva bolj sodelovala tektonika kot neposredna erozija. Sledovi mlade tektonike pa se marsikje odražajo tudi sredi planot.

Med visokim kraškim površjem v predgorju Julijskih Alp smo izbrali Jelovico, ki jo globoka soteska Save loči od severne sosede Pokljuke. S strmimi pobočji je obdana tudi na vzhodni in južni strani, le proti zahodu prehaja v ožji in višji Bohinjski greben. Zgrajena je iz zgornje triadnih in spodnje jurskih debeloskladovitih apnencev, dolomitiziranih apnencev in dolomitov. Te plasti so narinjene na srednje triadne psevdoziljske sklade in porfirje, ki se ponekod na planoti pokažejo v tektonskih oknih. Kraško površje je najvišje na jugozahodni strani, kjer doseže Partizanski vrh nad Dražgošami 1410 m. Nagnjeno pa je proti severovzhodu, tako da se zniža do soteske Save za okrog 400 m. Kopasti vrhovi so vkljub nagnjenosti planote razmeroma pravilno razporejeni in najbolj izrazita je srednja mreža vrhov. Najvišji vrhovi so razmeroma redki in na vzorčnem polju, ki obsega 25 km², pripadata prvi mreži le dva vrhova (sl. 2). Tretja mreža je manj izrazita, ponekod pa so njej pripadajoči vrhovi prav značilno razporejeni. Kopasti vrhovi so na Jelovici zelo enakoverno razvrščeni, zato domnevamo, da so bili kraško zasnovani na enotni uravnavi, ki je bila kasneje tektonsko nagnjena.

V podobne višine kot Jelovica segajo tudi kraške planote med Idrjico in Vipavo. Tam so najvišji sicer vrhovi na Nanosu (sl. 3). Po geološki zgradbi je Nanos velika polegla in na eocenski fliš narinjena guba krednih apnencev (M. L i m a n o v s k i 1910). S treh strani je planota ostro ločena od nižjega flišnega površja, le na vzhodni strani se strmo spušča proti kraški Hrušici. Kopasto in dolasto kraško površje Nanosa je najbolj tipično v višinah okrog 1200 in okrog 1000 m, medtem ko je nižje planotasto površje bolj uravnano in spominja na tipičen robni kraški ravnik v višini med 800 in 900 m (P. H a b i č 1968). Najvišji vrhovi so v osrednjem in višjem južnem delu Nanosa razmeroma redki, tako da prevladujejo vrhovi druge mreže. Ti so podobno razporejeni tako v višjem kot v nižjem osrednjem delu. Vmes je mreža prekinjena s strmejšimi pobočji, zato sklepamo, da je bilo kopasto površje sprva enotno zasnovano, kasneje pa tektonsko razmaknjeno.

Jugovzhodno od flišne Pivške kotline, ki je obdana s svojevrstnim kopastim kraškim obrobjem v višinah med 600 in 700 m, se dviga višja kraška planota Javornikov, kjer segajo

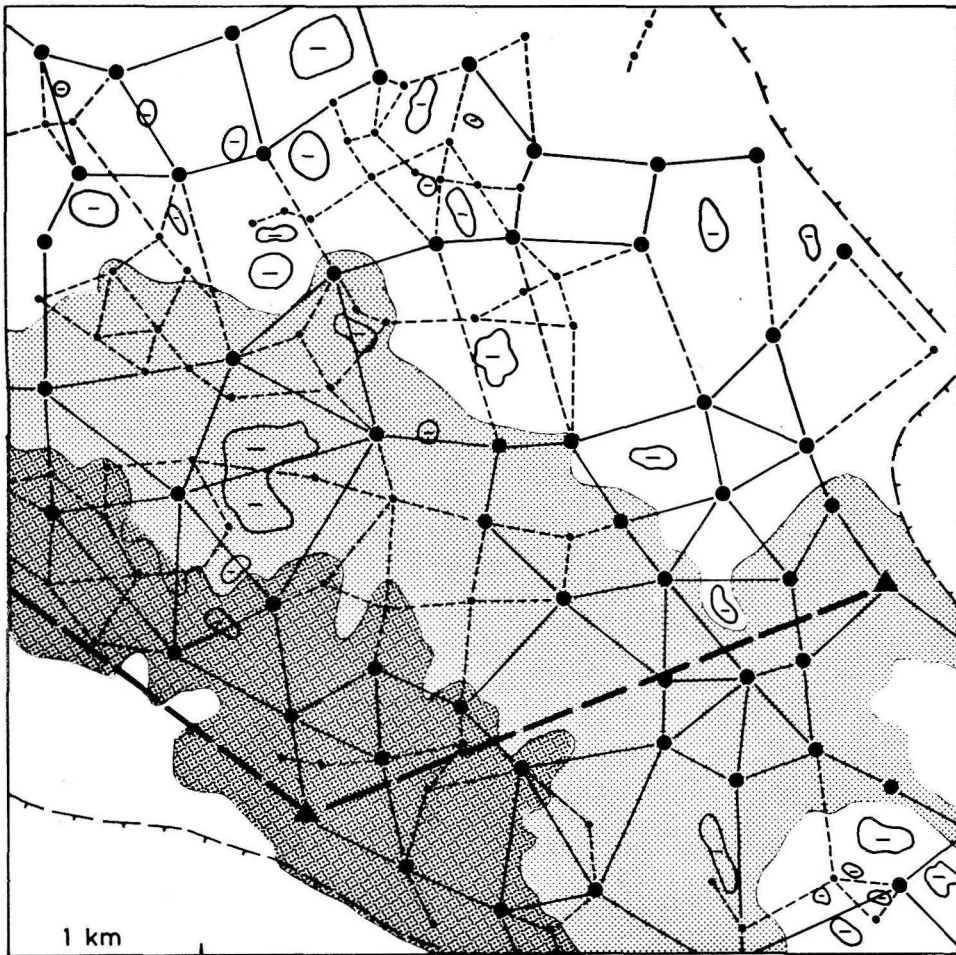


Sl. 1. Položaj obravnavanih kraških planot z značilnimi kopastimi vrhovi v Sloveniji

Fig. 1. Situation of treated karst plateaus with characteristic cone-shaped summits in Slovenia

najvišji vrhovi nekaj nad 1200 m. Površje je precej razgibano in na vzhodni strani se strmo prevesi proti Cerkljskemu polju. Javorniki so podobno kot Nanos zgrajeni iz krednih apnencev, med katerimi je nekaj dolomitnih vložkov. V osrednjem delu so značilno razporejeni višji vrhovi na razdalji okrog 2 km. Ob njih so nanizani vrhovi druge mreže podobnih oblik in velikosti na razdalji od 600 do 1000 m. Na obrobju teh vrhov so izoblikovani še nižji vrhovi na razdalji od 200 do 500 m (sl. 4). Ta del Javornikov predstavlja zelo tipično razporeditev kopastih vrhov, očitne pa so tudi nekatere posebnosti, ki so pogojene s strukturo in so bolj izrazite zlasti na prehodu proti nižjemu obrobju.

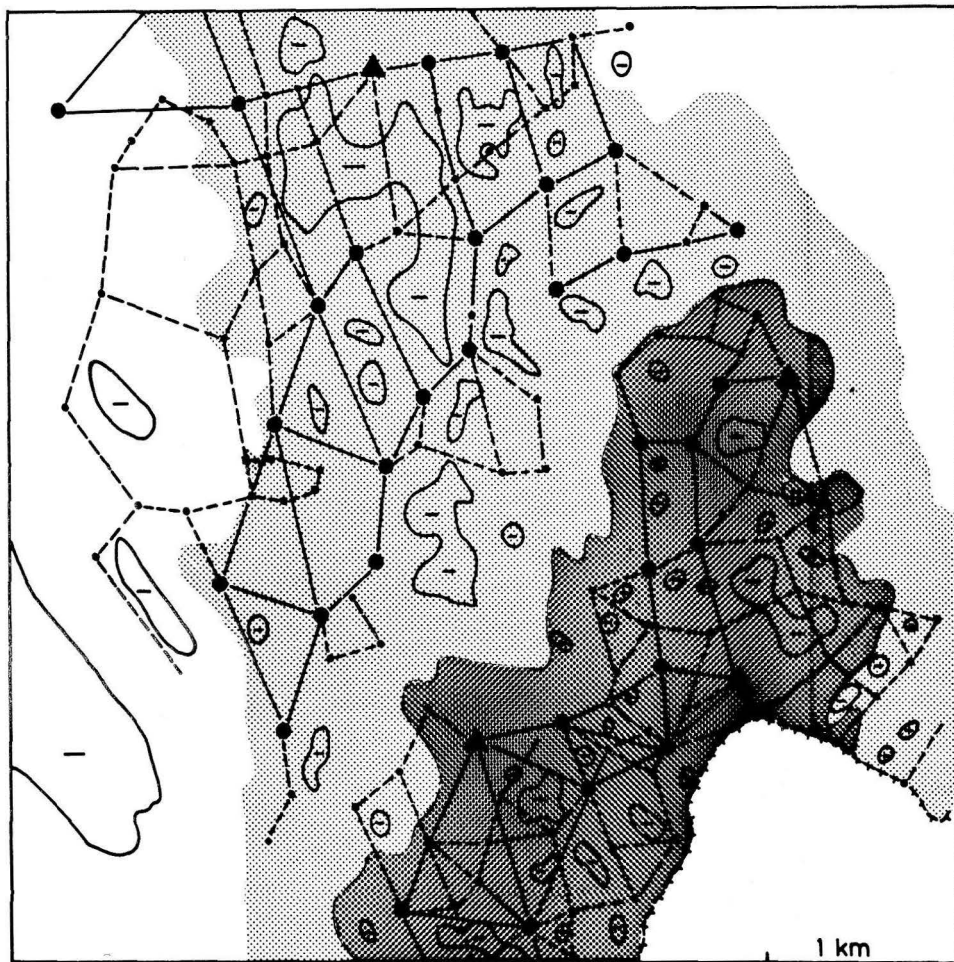
Javorniki se proti jugovzhodu nadaljujejo v višjo Snežniško planoto. Tam smo za primerjavo izbrali površje okrog Zatrepa v višinah med 1300 in 1500 m. To področje je za-



Sl. 2. Razporeditev kopastih vrhov na Jelovici. S trikotniki so na vseh slikah označeni najvišji vrhovi, večje pike predstavljajo vrhove druge skupine, manjše pike pa vrhove tretje skupine, temnejši raster predstavlja višje površje.

Fig. 2. Distribution of cone-shaped summits on Jelovica. On all figures the highest peaks are marked by triangles, big dots representing the summits of the second group, while small dots the summits of the third group; higher surface is presented darker

nimivo tudi v geološkem pogledu, saj je edino zgrajeno iz zgornje krednih apnencev in dolomitov ter obdano s cenomanskimi ploščatimi apnenci in brečami. Najvišji vrhovi v tem delu Snežniške planote so razporejeni na razdalji 2 do 3 km. Okrog Zatrepa (1458) so nanižani vrhovi druge mreže na razdalji od 500 do 1000 m. Razmeroma izrazita je tudi tretja mreža vrhov. Posebnost tega predela je izdatna poglobljenost vmesnega površja med vzpetinami, kjer so razvite globoke kraške globeli (sl. 5). Površje je bilo izpostavljeno izdatnemu nivalnemu in v ledenih dobah tudi glacialnemu preoblikovanju; saj so v bližini še lepo ohranjeni ledeniški nasipi (M. Šifrer 1959).

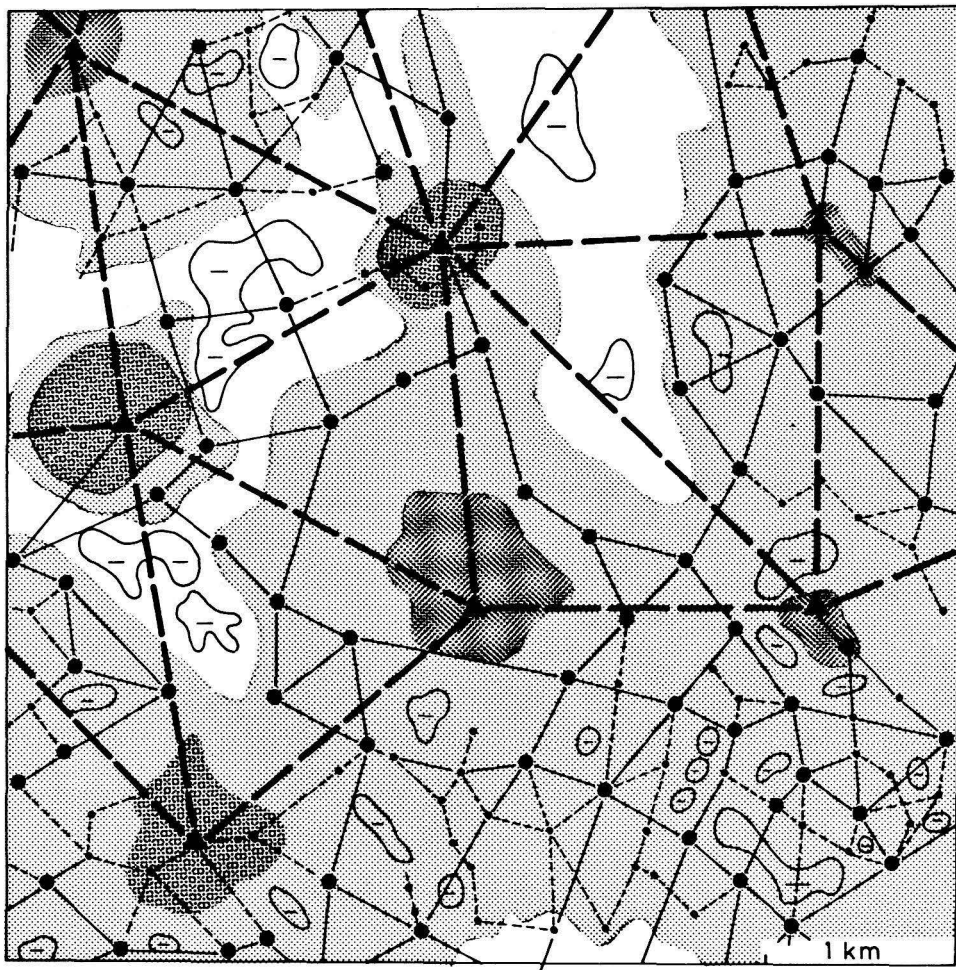


Sl. 3. Razporeditev vrhov in globeli na Nanosu

Fig. 3. Distribution of summits and hollows on Nanos

Naslednji vzorec kopastega površja smo izbrali na Veliki gori med Bloško planoto in Ribniškimi poljem. Kopasto in dolasto površje v višinah med 900 in 1100 m je izoblikovano v spodnjejurških oolitnih apnencih in zrnatem dolomitu. Višji vrhovi so precej razmaknjeni, nekaj večje pa so tudi razdalje med vrhovi druge skupine (sl. 6). V osrednjem delu izbranega polja je med večjimi globelmi izrazita tretja mreža nižjih vrhov. Nizi vrhov in globeli so nedvomno strukturno pogojeni, vključno s tem pa je kopasto površje podobno zasnovano kot na drugih visokih planotah.

Zanimive razlike v razvitosti kopastega površja se kažejo v bolj vzhodnih dinarskih planotah Slovenije. V Kočevskem Rogu, ki je zgrajen in krednih apnencev in dolomitov, je mreža vzpetin svojevrstno okrnjena. V osrednjem delu so sicer lepo razvite vse tri mreže vrhov, vendar le v omenjenem obsegu (sl. 7). Predeli kopastega površja so obdani z nižjim,

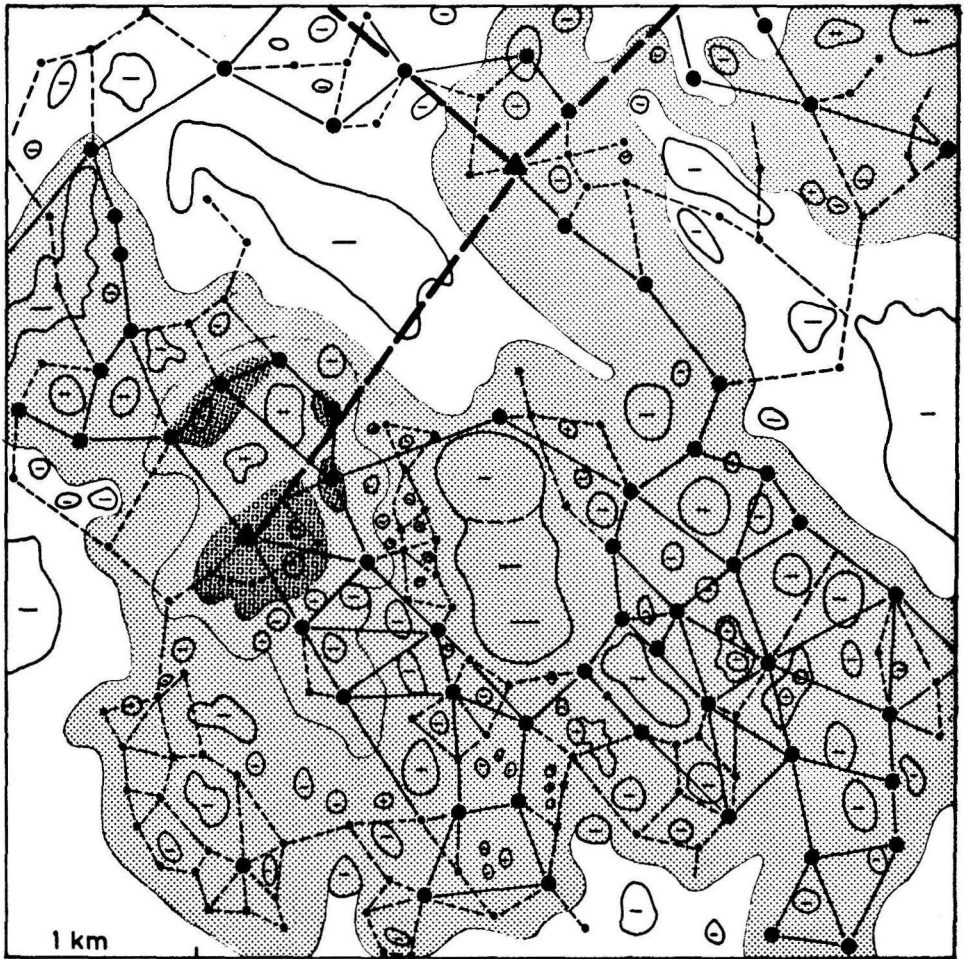


Sl. 4. Razporeditev kopastih vrhov v Javornikih

Fig. 4. Distribution of cone-shaped hills in Javorniki

bolj uravnanim površjem. Poleg tega pa sega kopasto površje tudi v različne višine, kar si razlagamo z mlado tektoniko. Najvišji vrhovi prve mreže dosegaajo 1100 m v severnem ter 940 do 960 m v srednjem in 1000 do 1200 m v južnem delu vzorčnega polja. Vrhovi druge mreže so za 50 do 100 m nižji, vrhovi tretje mreže pa so še za 30 do 60 m nižji od vrhov druge mreže. Uravnano kraško površje je v višinah med 750 in 850 ali 100 do 250 m pod najvišjimi vrhovi. Višinske razlike med podobnimi reliefnimi značilnostmi kažejo, da moramo pri preučevanju kopastega površja kot tudi pri celotnem preučevanju krasa nameniti tektonskim premikom in strukturnim razmeram več pozornosti.

Ob severnem vznožju Kočevskega Roga je svojevrstno kraško površje Suhe krajine v višinah med 400 in 600 m. Po litološki sestavi se prav nič ne razlikuje od Kočevskega Roga,

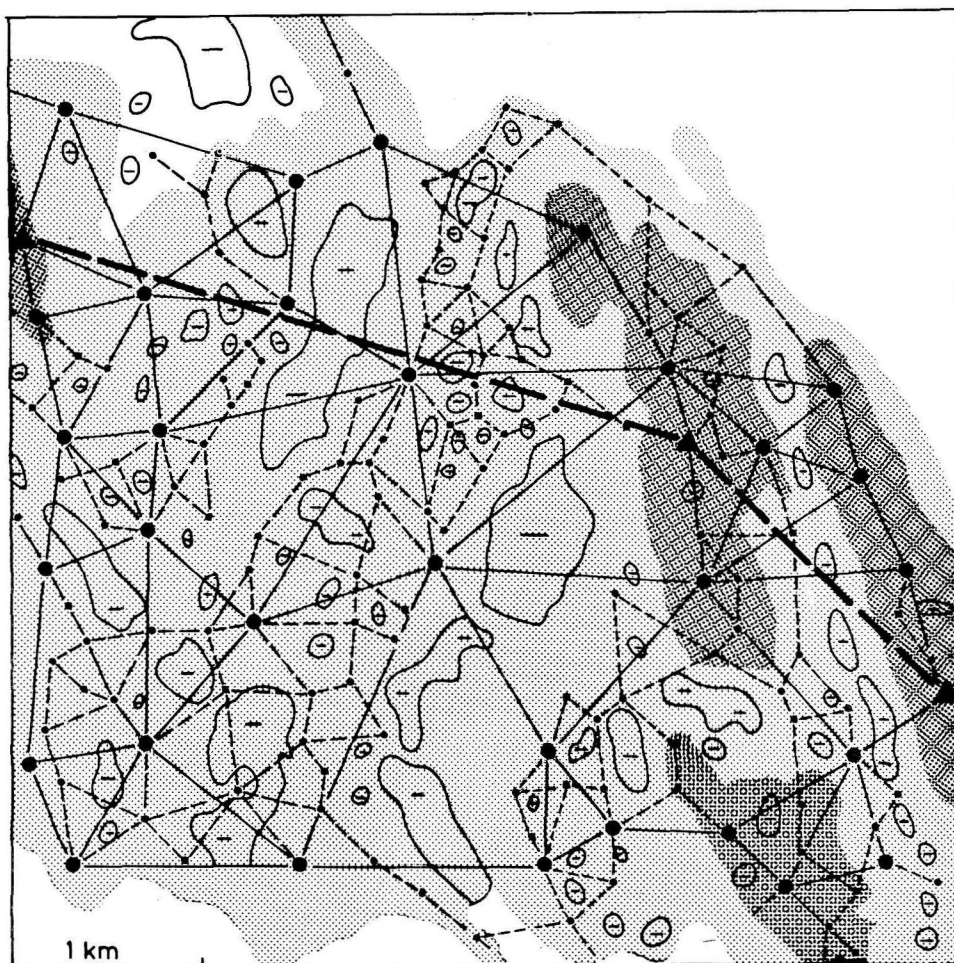


Sl. 5. Razporeditev kopastih vrhov in kraških globeli okrog Zatrepa, južno od Snežnika

Fig. 5. Distribution of cone-shaped summits and karst depressions around Zatrepa, southwards of Snežnik Mt.

relief pa je precej drugačen. Med redkimi vrhovi so obsežne kraške globeli, ki so po svojem nastanku in razvoju močno vplivale na zasnovo in razpored kopastih vzpetin. Najvišji vrhovi v izbranem predelu segajo v višine med 550 in 580 m, razporejeni pa so na razdalji 2 do 3 km. Vrhovi druge mreže so nižji za 70 do 100 m, tretja mreža pa v tem predelu ni razvita (sl. 8). Namesto nje so izoblikovane obsežne uvale in doli, ki so poglobljeni v najvišje površje 200 do 300 m, ali 50 do 100 m pod najnižje prevale med vrhovi. Vzrok za takšen razvoj kopastega in dolastega kraškega površja moramo iskati v posebnih morfogenetikih pogojih pri oblikovanju Suhe krajine.

V Beli krajini prevladuje uravnano kraško površje v razmeroma nizki legi in sicer v višinah med 150 in 300 m. Vanj so reka Kolpa in njeni pritoki vrezali ozke soteske in debri.



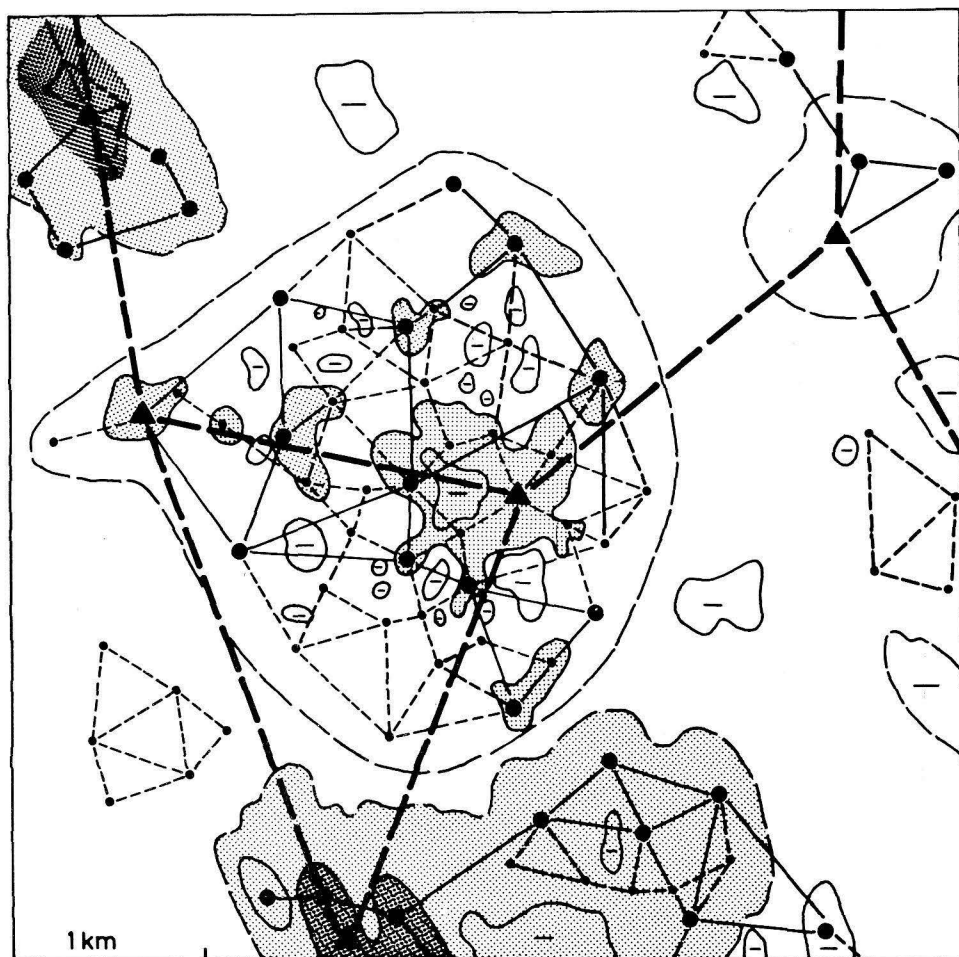
Sl. 6. Mrežasto razporejeni vrhovi na Ribniški Veliki gori

Fig. 6. Reticularly distributed summits on Velika Ribniška gora

Te so poglobljene v prevladujočo uravnavo od 10 do 100 m, kar je brez dvoma posledica neenakomernega dvigovanja prvotnega ravnika. Kraško površje je med vasmi Otok, Krasinec in Griblje prekrto z mlajšimi naplavinami Kolpe, ki segajo nekako do nadmorske višine 150 m. Pri Adlešičih je kraški ravnik že v višinah okrog 200 do 220 m in pri Marin dolu med 250 in 270 m, zato je tu deber Kolpe globoka od 100 do 150 m (sl. 9).

Iz drobno razčlenjenega vrtačastega kraškega ravnika se v kolenu Kolpe pri Adlešičih dvigujejo zaobljene kopaste vzpetine v višini od 260 do 320 m ter od 360 do 370 m.

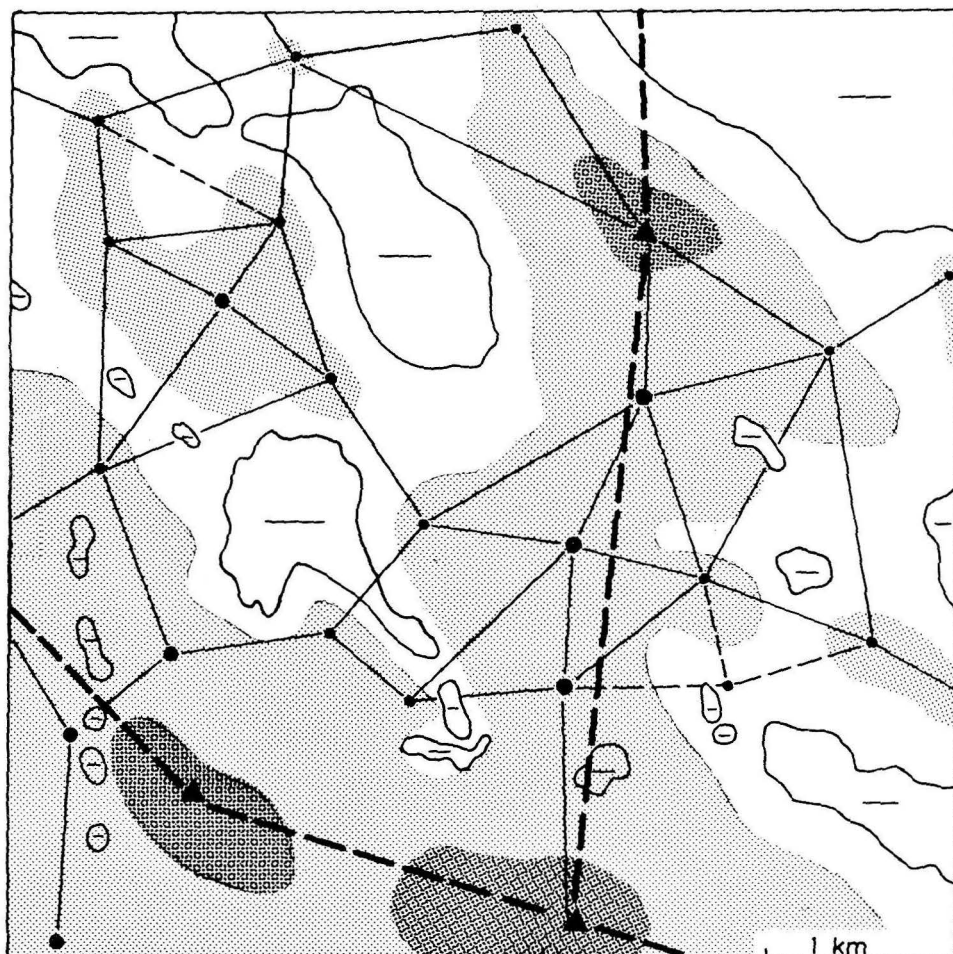
Kopasti vrhovi v Beli krajini niso le različnih absolutnih višin, temveč so različne tudi njihove relativne višine. Iz uravnave najbolj izstopa V. Plešivica (364) in sicer sega iz nje



Sl. 7. V Kočevskem Rogu je mreža svojevrstno okrnjena

Fig. 7. In Kočevski Rog the net is peculiarly mutilated

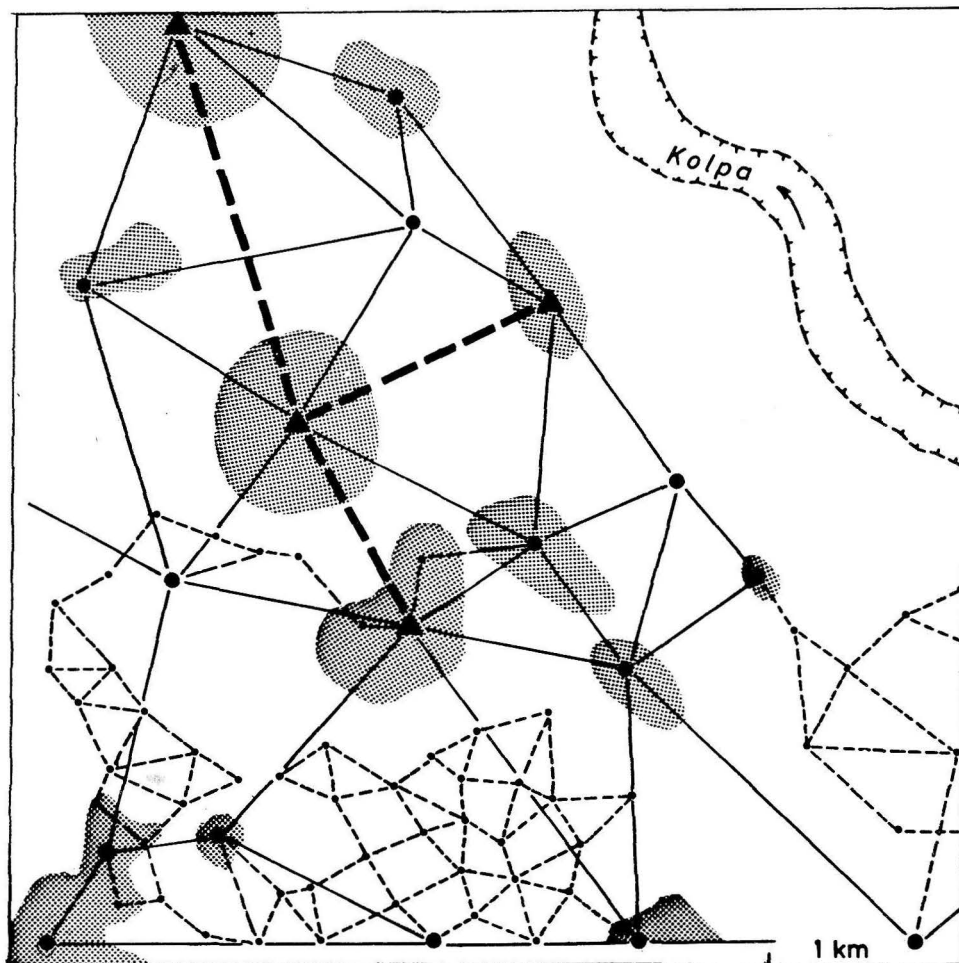
za 130 do 160 m, medtem ko je nekaj višji Izgornik (373) le 70 do 120 m visok. Drugi vrhovi kot M. Plešivica (341 m) in Cernik (367) se dvigajo 80 do 100 m iz uravnave, še več pa je manjših vrhov, ki segajo le 40 do 50 m visoko. Zanimivo je, da so najbolj izražene osamljene vzpetine na prehodu od nižjega, bolj uravnjenega, na višje, bolj razčlenjeno površje. Sredi med višjimi vzpetinami na tem prehodu so tudi obsežnejše globeli, medtem ko so v višjih delih iste uravnave vzpetine nižje, pa tudi globeli med vzpetinami so plitvejši. Med višjimi vzpetinami prve in druge mreže vrhovi so nizki, komaj izraženi vrhovi, ki pripadajo tretji mreži. Razdalje med višjimi vzpetinami znašajo od 1 do 2 km, v srednji mreži od 400 do 700 m, v tretji mreži pa so vrhovi razvrščeni na razdalji med 200 in 300 m,



Sl. 8. Kopasto in dolasto površje v Suhi krajini

Fig. 8. Hill and dale surface in Suha krajina

vzpenjajo pa se le 20 do 30 m nad nižjim obrobjem. Ob novi cesti Črnomelj – Adlešiči so na vznožju Velike Plešivice razkriti sledovi kremenčevih peskov, ki so sicer znani v sklenjenih plasteh na obeh straneh Gorjancev. Po legi in razširjenosti teh peskov sklepamo, da je uravnano kraško površje starejše od teh naplavin na obrobju Panonske kotline. In podobno velja tudi za osamljene kopaste vzpetine, ki se dvigajo iz razsežnega kraškega ravnika. Iz tega bi mogli sklepati, da je kopasto površje tudi v drugih predelih Slovenije zasnovano že v pliocenu.



Sl. 9. Kraške vzpetine v Beli krajini

Fig. 9. Karst elevations in Bela krajina

NEKATERE PODOBNOSTI IN RAZLIKE MED PLANOTAMI

Razlike v oblikovitosti planotastega površja izhajajo iz litoloških in strukturnih razlik, podobnosti v reliefu različnih planot pa iz prevladujočih skupnih morfologenetskih procesov. Na različnih planotah smo mogli poleg podobnosti v razporeditvi kopastih vrhov ugotoviti tudi podobnosti v razporeditvi kraških globeli med njimi. Na nižjih planotah prevladujejo poleg vrtač široke in plitve globeli. Na višjih planotah pa so globeli precej globlje, kar je

nedvomno posledica intenzivnega kraškega poglobljanja. To pa je v veliki meri povezano z ustreznimi klimatskimi pogoji, saj prejemajo višji predeli precej več padavin. Znaten del teh pade v obliki snega, ki se zadržuje v najvišjih predelih tudi več kot polovico leta. V hladnih obdobjih pleistocena so bili ti predeli prekriti z ledom, o čemer pričča ohranjen morski drobir (A. Melik 1959; M. Šifer 1959; P. Habič 1968). Pospešeno kraško poglobljanje pod vplivom snežnice je vplivalo tudi na oblikovanje pobočij. Negativne oblike v reliefu prevladujejo nad pozitivnimi, pobočja so konkavna in vrhovi priostreni, površje pa je izredno razčlenjeno. Pri kraškem razčlenjevanju visokih planot pa ima pomembno vlogo tudi čas, saj so bili ti predeli najprej izpostavljeni vertikalnemu zakrasevanju.

Bistveno drugače je v nižjih predelih, kjer prevladujejo konveksne oblike, vzpetine nad globelmi, razmeroma precej pa je tudi ravnost. Na nižjih kraških planotah, zlasti v notranjem dinarskem pasu je tudi več prepereline, kraške ilovice in rdeče prsti, ki daje kraškim oblikam bolj blag značaj. Na primorski strani je pod vplivom mediteranske klime razgaljenost površja precej večja, drobna korozijska razčlenjenost pa daje krasu bolj divjo podobo.

Na nižjih kraških planotah v kontinentalnem delu Dinarskega krasa so poleg rdeče ilovice ohranjeni marsikje ostanki domnevno pliocenskih transgresijskih kremenčevih peskov in prodov. Ti peski in prodi so dokaz več o pliocenski zasnovi kraškega površja. Ohranjeni so v različnih predelih in na nekaterih že precej razgaljenih površinah jih najdemo le še v starejših kraških depresijah kot pri Žužemberku, Birčni vasi, Adlešičih itd. Zato ne moremo povsem izključiti možnosti, da se je nekaj današnjih površinskih oblik podedovalo iz starejših obdobj in da imamo v današnjem reliefu vsaj ponekod tudi ostanke ekshumiranega krasa (D. Radinja 1972). Podobni peski in prodi, kot jih najdemo še sklenjene ob robovih nižjih planot, so ohranjeni tudi na višjih kraških planotah, na pr. na Menini in Veliki planini. Računati moramo potemtakem z izdatnimi neotektonskimi premiki od srednjega pliocena dalje. Nanje je posebej opozoril U. Premru (1976) in jih razčlenil za območje vzhodne Slovenije.

Pomembne morfološke razlike so se pokazale tudi na prehodnih območjih, zlasti na robovih planot. Če pri tem ne upoštevamo tistih oblik, ki so nastale zaradi procesov ob stiku propustnih in nepropustnih kamnin in so značilne za kontaktni kras, je na obliko in razporeditev vrhov vplivala predvsem različna reliefna energija. Ob večjih višinskih razlikah, ki so bodisi tektonskega ali erozijskega izvora, je potekalo kraško preoblikovanje pobočij bistveno drugače kot v osrednjem delu planot. V večji meri so bili na robovih prisotni procesi pediplenizacije. Kopaste vzpetine so ob robovih planot bolj izražene in asimetričnih oblik s strmejšimi pobočji na zunanjih robovih ter bolj prilagojene strukturnim potezam.

Svojevrstna razporeditev vzpetin in globeli se pojavlja v predelih, kjer je nivo kraške vode blizu površja. Tam so občasno poplavljeni dna dolin in kraških globeli. Lep primer takšnega kraškega površja je Zgornja Pivka ob vzhodni Javornikov na obrobju flišne Postojnske kotline. V današnjem reliefu se odraža postopni razvoj kraških globeli od stalno ali občasno poplavljenih do povsem suhih. Globeli, ki se občasno spremenijo v kraška jezera, so razporejene v dnu suhih dolin, ki so jih oblikovale kraške vode iz višjih planot. Na starejšem višjem kraškem površju so morebitne fluvialne oblike povsem zabrisane, zato pa toliko bolj izstopa mrežasta razporeditev kopastih vrhov in vmesnih globeli.

TROJNA MREŽA KRAŠKIH VZPETIN

Po velikosti lahko kopaste vrhove razdelimo v nekaj skupin. Prva obsega bolj ali manj zaokrožene in izolirane kopaste vrhove, relativne višine 100 do 150 m s 1500 m premera ob vzhodni strani. Takšne zaokrožene stožčaste vzpetine so v nizki Beli krajini na obeh straneh Kolpe. Najlepša sta vrhova Plešivice in Izgornika ter bližnji sosedi Lipovica, Hum, Okrugnik, Cirmik in drugi. Podobni, nekoliko bolj priostreni so tudi stožčasti vrhovi na višjih pla-

notah in na njihovem obrobju, kot so na primer Sinji vrh na Otlici v Trnovskem gozdu, Sv. Primož nad Pivko, Tuščak nad Knežakom, Ljubljanski vrh in Vinji vrh nad Pokojniško planoto, Ahac pri Turjaku in drugi. Med večjimi kopastimi vrhovi pa moramo razlikovati sestavljene vrhove kot večje tektonsko zasnovane enote. Mednje spadajo v okolici Ljubljane Krim in Mokerc, posebej značilni pa so tudi v predalpskem hribovju od Matajurja, Porezna in Blegoša do Mrzlice, Kuma in Boča ter drugi.

Večje posamezne kovke zasledimo na prehodu iz nižje na višjo uravnavo ali pa predstavljajo najvišje vzpetine, ki segajo nad nižje kopasto površje. Po legi in velikosti jih povezuje v primarno mrežo vrhov, razdalje med njimi pa so na različnih planotah precej enake in sicer se ti vrhovi pojavljajo praviloma na razdalji od 2 do 4 km.

Druga skupina vrhov ali kucljev je povprečne relativne višine od 50 do 80 m, pri vznožju pa merijo ti vrhovi med 400 in 600 m v premeru. Kopasti vrhovi te velikosti so najbolj pogostni na kraških planotah Dinarskega krasa, oddaljeni so drug od drugega 500 do 1000 m in tvorijo drugo mrežo vzpetin.

Tretja skupina kopastih vrhov ali lonc obsega manjše in nižje vrhove okrog glavnih vrhov ali ob vznožju vrhov druge skupine. Visoki so od 10 do 40 m s premerom ob vznožju med 100 in 500 m. Največkrat jih zasledimo na slemenih in hrbtih ali na uravnava ob vznožju višjih vrhov. Te uravnave so povečini zelo razčlenjene z manjšimi kraškimi depresijami. Po legi in velikosti lahko najnižje vzpetine povežemo v tretjo mrežo, v kateri so vrhovi oddaljeni drug od drugega od 200 do 500 m.

Vse tri mreže kopastih vzpetin niso povsod razvite, zlasti prva mreža se od predela do predela precej razlikuje tako po višini vzpetin, še bolj pa po razporeditvi najvišjih vrhov. Marsikje smo zasledili očitno navezanost na strukturo. Najvišji vrhovi so praviloma sredi kopastih vrhov druge mreže, obdani pa so z vseh strani z globljimi reliefnimi vrzeli v obliki podolgovatih uval ob glavnih prelomnih conah (glej slike 2–9).

Vrhovi druge mreže prevladujejo na večini obravnavanih planot. Med njimi so lahko ožji predeli in žlebovi, različno obsežne ravnote, razčlenjene z drobnimi vrtačami, pogostne pa so med njimi tudi večje kraške globeli, vrtačaste uvale in doli. Ti so pravilno razporejeni v predelih med vrhovi in močno spominjajo na tipične cockpit tropskega krasa. Tudi v Dinarskem krasu so ponekod globeli med vrhovi dominantnejše, tako da so vzpetine priostrene in konkavnih pobočij, kar je značilnost takomenovanega piramidnega dolinastega krasa na Novi Gvineji (P. W. Williams 1973). V sekundarni mreži vzpetin in globeli smo mogli ugotoviti vse prehodne oblike od kopastega in stožčastega krasa do bolj piramidnega krasa s simetričnimi in asimetričnimi vrhovi. Poleg tipičnih in prehodnih oblik pa smo mogli slediti tudi značilnemu zamiku mreže (na Rogu, na Nanosu, v Javornikih). Ta zamik je posledica razlik v strukturi, ne smemo pa izključiti tudi mladih tektonskih vplivov. Poleg zamikov pa je neotektonika lahko vplivala na nagnjenost prvotne uravnave, kot se kaže na Jelovici. Toda te posebnosti bo treba še podrobno preučiti.

Vrhovi prve mreže so torej najvišje vzpetine sredi vrhov druge mreže. Po tej značilnosti jih spoznamo tudi tam, kjer se posamezni deli druge mreže pojavljajo višje od vrhov prve skupine. Za vrhove druge mreže je značilno, da so razporejeni po vsej planoti in so ob tektonsko zasnovanih mlajših pobočjih odrezani v značilne polkope. Vrhovi tretje mreže pa so največkrat razporejeni le na manjših površinah, na nižjih uravnava in na obrobju plitvih kraških globeli med vrhovi druge skupine.

POMEN GEOLOŠKE ZGRADBE, TEKTONIKE IN KLIMATSKO POGOJENEGA PREOBLIKOVANJA

Obravnavana področja so zgrajena iz zgornje triadnih, jurskih in krednih apnencev, med katerimi so neenakomerno razporejeni različno obsežni vložki dolomitiziranih apnencev in dolomitov. Skladi so različno debeli, od 0,1 do 2 m, le ponekod so manjša območja

neskladovitih apnencev. Vsi so tektonsko močno pretrti ter premaknjeni ob prelomih in povečini nagnjeni tako, da niso redki zelo strmi, navpični pa tudi prevrnjeni skladi.

Kopasti vrhovi so največkrat iz bolj odpornih, debelo skladovitih ali celo neskladovitih apnencev, ne moremo pa v celoti pojasniti vseh vrhov z litološko odvisnostjo. Po dosedanjih spoznanjih je za oblikovanje kopastega površja pomembna menjava različno odpornih kamnin, dolomita in apnenca, tanjših in debelejših skladov. Podoben pomen pa ima tudi manjša ali večja razpokanost in pretrtost kamnin. Vse te litološke razlike prispevajo k različnemu kraškemu razčlenjevanju površja zaradi razlik v razpadanju in raztapljanju. Na razpadanje močno vplivajo prav mehanska odpornost in klimatske razmere. Razpadanje je izdatno zlasti v predelih z velikimi temperaturnimi razlikami. Tako so nastale na prisojnih pobočjih visokih dinarskih planot debele plasti grušča, te pa so seveda največje tam, kjer so k nestabilnosti pobočij v apnencih prispevali tudi tektonski ali izdatni erozijski procesi. Prepadne stene in gruščnata pobočja so značilna zlasti v Vipavski dolini. Ponekod še danes nastajajo obsežne meli, drugod pa so grušči zaraščeni, saj izvirajo iz hladnejših kvartarnih obdobj, medtem ko danes prevladuje v teh predelih raztapljanje, ki prispeva k razgaljanju pobočij.

Kamnine, ki grade kraške visoke planote, so bile v teku kvartarja izpostavljene različnim klimatskim razmeram, ki so pogojevale tudi različno intenzivno razpadanje in raztapljanje. Z razlikami v intenzivnosti in načinu preoblikovanja pa moramo računati tudi v tropski in subtropski klimi pliocenske dobe. Kljub izdatnim klimatskim spremembam v preteklih obdobjih pa je na razčlenjevanje površja odločilno vplival prav tipični kraški proces. Zanj je značilna točkovna vertikalna drenaža in z njo je pogojena poligonalna ali mrežasta zasnova kraškega reliefa, s prevladujočimi centričnimi reliefnimi oblikami kot so vzpetine ali globeli. Prav v tem se kraški relief bistveno loči od fluvialnega, v katerem prevladujejo linearno razporejeni hrbti in doline. Ne glede na vsakokratni delež infiltracije in površinskega odtoka poteka v krasu predvsem točkovno, vertikalno razčlenjevanje, pa naj bo to v obliki drobnih vrtač, ali večjih dolov. V poglobljanju reliefa zaostajajo predeli s šibkejšo drenažo, kjer poteka počasnejše spiranje ali odnašanje. Po izdatnosti vertikalnih curkov v kraškem podzemlju sodimo, da se posamezni deli površja lahko sto in večkrat hitreje znižujejo od drugih (P. H a b i č, J. K o g o v š e k 1979). Sredi strukturno pogojenih izrazitejših drenažnih con zaostajajo vzpetine in skladno z mrežasto razpokanostjo in različno prepustnostjo se oblikuje tipično kraško površje vzpetin in globeli.

Na oblikovitost kraškega površja vpliva tedaj predvsem geološka zgradba in učinkovitost temeljnega kraškega procesa, to je raztapljanja, pa tudi mehničnega razpadanja kamnin. Kraški proces oziroma njegov učinek je pogojen litološko, klimatsko, prostorsko in časovno. Odpornost kamnine proti raztapljanju in mehničnemu razpadanju je pogojena s petrografske sestavo in pretrtostjo, pa tudi s klimatskimi razmerami, ki vplivajo na intenzivnost in usmerjenost procesov. Čas je pomemben dejavnik v oblikovanju površja, saj je z njim podano določeno trajanje kraškega razčlenjevanja, prostorsko pa je razčlenjevanje pogojeno z vertikalno in horizontalno razporeditvijo karbonatnih kamnin in morfogenetskim vplivom sosedstva (gladina kraške vode, procesi ob stiku prepustnih in neprepustnih kamnin itd.). Vsi ti elementi se različno kombinirajo v vseh delih zemeljskega površja in zato lahko nastaja kras vzpetin in globeli ob ugodni kombinaciji navedenih pogojev v večini klimatskih pasov. Zneane so različne oblike vzpetin tako v tropskem kot v zmernem pasu (D. B a l a s z 1973). Bistvena poteza krasa je tedaj prav točkovno razčlenjevanje površja, ki povezano s kraško denudacijo izoblikuje različne tipe kraškega reliefa. V povezavi s fluviokraškimi procesi ob stiku z neprepustnimi kamninami ali v nivoju talne vode pa nastajajo posebne kombinacije fluviokraških pokrajin. In prav te so, kot kažejo številne razprave, pogostne v subtropskih in tropskih predelih.

SKLEP

Tipični kraški relief kopastih vzpetin in različnih globeli je značilen za osamljene dinarske visoke planote, kjer ločimo lahko tri vrste kraških vzpetin. Klimatski in drugi morfologenetski pogoji so v geološki preteklosti dovoljevali razvoj značilnega kopastega krasa, ki je bil splošno razširjen, v nadaljnjem razvoju pa različno preoblikovan in ohranjen. Najstarejši fazi razvoja pripadajo razmeroma redki osamljeni vrhovi, ki so po svoji obliki, velikosti in legi posebej izpostavljeni sredi kraških planot. Pri večini je njihova izjemna oblika in lega tudi tektonsko pogojena. Na te osamljene vrhove so že zgodaj opozarjali geomorfologi in v njih videli nekakšne ostanke, Inselberge, najstarejšega uravnavanja. Novejša preučevanja neotektonike in kraškega reliefa odpirajo še druge razlage. Podobne reliefne oblike so ohranjene tudi v nižjih legah, če so posamezni bloki tektonsko zastajali.

Prevladujoče kopasto površje druge mreže bi po splošnem znanju o geomorfološkem razvoju jugovzhodnega obrobja Alp (F. K o s s m a t 1916; A. W i n k l e r 1957) bilo spodnje ali srednje pliocenske starosti. V tem času naj bi prevladovalo uravnavanje karbonatnih predelov in precej enakomerno kraško razčlenjevanje.

Tretja mreža kopastih vrhov je po vsej verjetnosti najmlajša in odraža nadaljnje vertikalno razčlenjevanje kraškega površja že po izoblikovanju prevladujoče druge mreže. Nastanka vseh treh mrež časovno seveda še ne moremo podrobneje opredeliti. Po vsej verjetnosti pa le gre za oblike, zasnovane še v predkvartarnem obdobju. In ker zasledimo vse tri mreže v različnih višinah, lahko sklepamo, da so nastajale bodisi neodvisno druga od druge v različnih legah, ali pa so bile zasnovane na mnogo bolj uravnjenem površju od današnjega in so jih pozneje tektonske sile različno dvignile. K razčlenjevanju so seveda prispevali tudi drugi preoblikovalni procesi v kvartarju.

Pri dosedanem preučevanju smo naleteli na več dokazov za drugo možnost. V različnih predelih Dinarskega krasa je razporeditev kopastih vrhov višinsko različna, oblikovno pa veliko bolj podobna. Nekdanje geomorfološko razčlenjevanje kraških planot na erozijske nivoje je pripeljalo slovenske geomorfologe v slepo ulico. V predalpskem in dinarskem predelu Slovenije je bila zabeležena cela vrsta nivojev in teras, ki so marsikje presenetljivo skladne po višinah, čeprav se nahajajo na precej ločenih planotah, kot je ugotovil A. M e l i k (1963). Morfološka podobnost planot pa ne kaže postopnega erozijskega ali predkraškega fluvialnega oblikovanja reliefa, temveč skladen morfologenetski kraški proces, katerega posledica je značilni kopasti kras vzpetin in različnih globeli z vso pestrostjo sekundarnih vplivov. Višinsko razčlenjevanje enotnega kraškega površja je pogojeno predvsem z mlajšo tektoniko. Njeno intenzivnost in vpliv na oblikovitost površja bo treba še podrobno preučiti.

Ko primerjamo različne poteze v razvoju kopastega površja, se kaže enotno oblikovanje kopastega krasa v dveh ali treh fazah in njegovo nadaljnje tektonsko in morfološko preoblikovanje veliko bolj sprejemljivo kot morda deset in več fazno erozijsko razčlenjevanje in oblikovanje planot v takoimenovani predkraški fazi. S podrobnejšo geološko-geomorfološko analizo bo treba odkriti še trdnejše dokaze za takšen razvoj. Ob sedanjem preučevanju kopastega krasa v Sloveniji se hkrati dotikamo vrste vprašanj, ki jih doslej ni bilo mogoče pojasniti. Takšne narave so antiklinalna vzbočenja kopastega površja na Snežniku in Javorniku, v Trnovskem gozdu in drugod, ali pa nagnjenost planot kot v primeru Jelovice. Podobna vprašanja o stukturalni zasnovi zadevajo tudi nekatere druge kraške pojave. Zato velja ponovno preučiti morfologenetske probleme, v zvezi s položajem kraških polj pa tudi nekatere speleološke in hidrološke značilnosti Dinarskega krasa.

Summary

SOME CHARACTERISTICS OF CONE KARST IN SLOVENIA

Karst surface of Dinaric high plateaus consists of several cupola-like hills separated by irregular karst hollows. Cupola and cone-shaped karst hills, called 'kovk', 'kucelj', and 'lonica', and other small elevations have not been yet the subject of special geomorphological studies. Basing on topographic maps on the scale 1 : 25 000 the relief forms on selected high plateaus of Slovenia were analysed (NW Dinarids). Geological data were taken from basic geological map. On annexed figures (2-9) the characteristic distribution of karst elevations on Jelovica, Nanos, Javorniki, Snežnik, Velika gora, Kočevski Rog, Suha krajina and Bela krajina is represented, it means the surface from 200 to 1500 m above sea level. In all these regions cupola-shaped hills were classified into three basic types thus composing triple net of polygonal karst.

The highest cupola-shaped summits or 'kovk' belong to the first group. They surmount lower for about 150 m; they are mostly distributed in the distance from 2 to 3 km. The net of these summits is not everywhere equally expressed, somewhere it is evidently tectonically displaced. In all treated regions the second summits net is the most expressed. The cupola-like summits of this group are called 'kucelj'; they are 50 to 80 m high and 400 to 600 m wide, distributed in the distance of 500 to 1000 m. The third group of cupola-like summits, called 'lonica', includes the karst elevations, distributed around the main summits or on their border and among the summits of the second group. They are 10 to 40 m high, with diameter of 100 to 500 m, 200 to 500 m distant one from the other.

All the three nets are not developed everywhere equally; the differences among particular regions are mostly conditioned by tectonic setting. The nets are somewhere tectonically displaced, the plateaus could be the scheme of the cone-shaped surface either tectonically inclined either their parts were differently elevated. As well are important the lithological differences as the most typical cone surface has developed in thick bedded Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous limestones where there are some dolomite inliers. But all the summits could not be explained by lithological factors only. Similar influence as dolomite and limestone exchange could be attributed to different layers thickness and bigger or smaller crushed zones. All these differences in rocks contribute to differently intensive weathering and solution. A particular condition for the origin of cone and hollow karst surface, as special form of polygonal karst, is given by vertical drainage on one point, rendering possible the development of central forms, elevations and hollows. Point vertical karst dissection is conditioned by tectonic setting, lithology, climate, space and time. All these elements are differently combined in different regions of earth surface, hence different types of such karst surface have developed.

In Dinaric karst the conditions for the origin of cone karst have been favourable specially in Pliocene, in warmer climate and in longer geomorphologically stable period. At least the cone karst in Bela krajina is documented by sediments to be of Pliocene age. The differences in relief characteristics of particular plateaus belong to structural differences and later transformation and to different tectonic movements of the entire plateaus or of their parts. Studying relief, hydrological and speleological properties of Dinaric karst, greater accent has to be given just to detailed geological structure and to neotectonics.

Literatura

- Balasz, D., 1973: Relief types of tropical karst areas. Symposium on karst morphogenesis. Intern. Geogr. Union, Hungary, 16–32.
- Brook, G.A., 1977: Preliminary thoughts on a structuralithological model of karst landform development. Proceedings of the 7th International Speleological Congress, Sheffield.
- Cvijić, J., 1926: Geomorfologija II. Beograd.
- Ford, D.C. & G.A. Brook, 1976: The Nahani North Karst Northwest Territories, Canada. Proc. 6th Intern. Cong. Speleol., Olomuc, 1973, II, 157–168.
- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijo in Vipavo. Dela 4. razr. SAZU 21, 1–243. Ljubljana.
- Habič, P., J. Kogovšek, 1979: Percolating Water Karst Denudation on the case of Postojnska and Planinska jama. Symposium on karst denudation, Aix – Marseille – Nimes.
- Kayser, K., 1955: Karstrandebene und Poljeboden. Erdkunde 9.
- Kossmat, F., 1916: Die morphologische Entwicklung des Gebirge im Insonzo und oberen Sauegebiet. Zeit. Ges. Erdk. Berlin, 9, 573–645. Berlin.
- Limanowski, M., 1910: Wielkie przemieszczenia mas skalnych u Dynarydach kolo Postojny. Razpr. Wyd. Mat. Przyr. Akad. Umjet., 3–10. Krakow.
- Melik, A., 1959: Nova geografska dognanja na Trnovskem gozdu. Geografski zbornik 5, 5–26. Ljubljana.
- Melik, A., 1961: Fluvialni elementi v krasu. Geografski zbornik 6. Ljubljana.
- Melik, A., 1963: Slovenija I, Geografski oris. Slovenska matica. Ljubljana.
- Osnovna geološka karta, listi Postojna, Kranj, Ribnica, Ilirska Bistrica, Delnice.
- Panoš, V., O. Štelcl, 1968: Physiographic and geologic control in development of Cuban mogotes. Zeit. Geomorph. 12, 117–165.
- Premru, U., 1976: Neotektonika vzhodne Slovenije. Geologija 19, 211–149. Ljubljana.
- Radinja, D., 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. Geografski zbornik 13, 197–243. Ljubljana.
- Roglić, J., 1957: Zaravni na vapnencima. Geografski glasnik 19, 103–134. Zagreb.
- Roglić, J., 1958: Odnos riječne erozije i krškog procesa. Zbornik radova 5 kongr. geogr. Jug., 263–275. Cetinje.
- Sweeting, M.M., 1976: Present problems in karst geomorphology. 2. Geomorph. N.F. 26, 1–5. Berlin – Stuttgart.
- Šifrer, M., 1959: Obseg pleistocenske poledenitve na Notranjskem Snežniku. Geografski zbornik 5. Ljubljana.
- Williams, P., 1971: Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. Zeit.f. Geomorph. NF 15, 40–61.
- Williams, P.W., 1973: Variations in karstlandforms with altitude in New Guinea. Geogr. Zeitsch., Beihefte H, 32, Neue Ergebnisse der Karstforschung in der Tropen und in Mittelmeerraum, 25–33.
- Winkler, A., – Hermeden, 1957: Geologisches Kräftespiel und Lanformung. Springer-Verlag, Wien.

**PRISPEVEK K POZNAVANJU RAZVOJA KRASA V
RIBNIŠKI MALI GORI**

(Z 9 SLIKAMI, 13 RISBAMI IN 18 TABELAMI)

**THE KARST DEVELOPMENT IN 'RIBNIŠKA MALA GORA'
(SLOVENIA, YUGOSLAVIA)**

(WITH 9 FIGURES, 13 DRAWINGS AND 18 TABLES)

ANDREJ KRANJC

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 29. MAJA 1980

VSEBINA

Izveček–Abstract	30
Predgovor	31
1. UVOD	32
2. GEOLOŠKE OSNOVE	32
2.1. Stratigrafija	34
2.2. Karbonatne kamnine v Mali gori	36
2.3. Starost kamnin in gostota votlin	39
2.4. Tektonika	42
2.5. Struktura karbonatnih kamnin in votline	43
2.6. Paleogeografski razvoj	45
3. HIDROGRAFSKE OSNOVE	46
3.1. Označba in hidrografska razdelitev ozemlja	46
3.2. Klasifikacija vodnih tokov	47
3.3. Površinska rečna mreža	47
3.4. Ponikalnice	48
3.5. Poplave	49
3.6. Ponorne votline	51
3.7. Izvirne votline in kraški izviri	54
3.8. Spremembe v sedimentih med ponorom in izviro	58
3.9. Hidrokemične lastnosti voda	59
3.10. Podzemeljske vodne zveze	61
4. POVRŠINSKE IN PODZEMELJSKE KRAŠKE OBLIKE	63
4.1. Makro-površinske oblike	63
4.1.1. Vrhovi	63
4.1.2. Pobočja	64
4.1.3. Aplanacijske površine	64
4.1.4. Doline	64
4.2. Mezo površinske oblike	67
4.2.1. Vrtače	67
4.2.2. Suhe doline	68
4.2.3. Zatrepi in slepe doline	70
4.3. Kraške votline	70
4.3.1. Pregled votlin	70
4.3.2. Višinska razporeditev jamskih rogov	72
4.3.3. Strmci jamskih rogov	73
4.3.4. Oblikovanost jamskih rogov (spelcomorfologija)	74
4.3.5. Sedimenti v suhih jamah	76
4.3.6. Poizkus kronologije podzemeljskega zakrasevanja	77
5. ZAKLJUČEK	78
THE KARST DEVELOPMENT IN 'RIBNIŠKA MALA GORA' (SLOVENIA, YUGOSLAVIA) (Summary)	81
Viri in literatura	83

Izvleček

UDK 551.44 (497.12-13)

Kranjc, Andrej: Razvoj krasa v Ribniški Mali gori. Acta carsologica 9, 00-000, Ljubljana 1980, Lit. 82

Avtor analizira dejavnike, ki so vplivali na razvoj krasa, predvsem v podzemlju, v Ribniški Mali gori. S temi dejavniki primerja predvsem podzemeljske kraške oblike in ugotavlja faze v razvoju kraških votlin oziroma smer in način nekdanjega odтока voda z ozemlja Ribniške Male gore.

Abstract

UDC 551.44 (497.12-13)

Kranjc, Andrej: The Karst Development in 'Ribniška Mala gora' (Slovenia, Yugoslavia). Acta carsologica 9, 00-000, Ljubljana 1980, Lit. 82.

The author analyses the factors which influenced to karst development, mostly in underground of Ribniška Mala gora (SE Slovenia). By these factors the underground karst features are compared: they have been specially analysed and on this base the phases of karst cavities development respectively the direction and the way of former water runoff from the treated region are stated.

Naslov - Address:

mag. Andrej Kranjc

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU

Titov trg 2

66230 Postojna, Jugoslavija

PREDGOVOR

Za to nalogo sem se odločil predvsem iz dveh razlogov: za ozemlje Male gore zato, ker sem ob terenskem delu za »Osnovno speleološko karto Slovenije« v okviru Inštituta za raziskovanje krasa SAZU v Postojni dobro spoznal tako površje kot podzemlje tega dela Dolenjske. Vzporedno z merjenjem jam sem dobil številne podatke, ki so bili dovolj zanimivi, čeprav še ne ovrednoteni in ki so kazali, da bi lahko dali določene zanimive zaključke o razvoju podzemlja. Med delom se je kasneje izkazalo, da je prenos marsikaterega izmed teh podatkov na celotno ozemlje težaven.

Vendar še vedno velja Melikova (1955, 120, 128) trditev, »da se je v notranjosti kraških jam konzervirala dokumentacija geomorfološkega razvoja kraške pokrajine, in da si zato moremo za bodoča raziskovanja največ obetati od drobnih preučitev kraških votlin, podzemeljskih jam v ustrežajočih legah v bližini velikih ponikalnic, na robih kraških polj ...«.

Kot je razvidno iz naloge, njenih rezultatov in zaključkov, sem ravno na podlagi raziskav kraških votlin prišel do določenih novih spoznanj.

Pri sami interpretaciji podatkov je bila speleogeneza glavno vprašanje. S poznavanjem nastanka jame poznamo tudi procese, ki so jamo izdelali, iz poznavanja teh procesov je mogoče rekonstruirati okolje in dogajanja, ki so se odvijala v času nastajanja jame in končno tudi starost same jame. Zato je bil cilj večjega dela raziskav ugotoviti nastanek jame.

Speleogenetskih teorij je veliko, sam sem se skušal držati »poligenetske teorije«, ki temelji na simultani analizi vseh faktorjev, ki lahko vplivajo na genezo jamskega skeleta (Renault 1970, 123).

Večina ostalih speleogenetskih teorij izhaja iz koncepta preproste speleogeneze, upoštevajoč le majhno število dejavnikov, ki pa so domnevno determinantni. Nekatere teorije upoštevajo le en sam mehanizem: korozijo, prisotnost pirta v apnencih, korozijo mešanice, ipd. Drugi krasoslovci so na podlagi morfoloških opazovanj sestavili bolj podrobno izdelane speleogenetske sheme, predstavljene v ciklični obliki. Poimenovanje posameznih razvojnih faz (mlada, zrela, stara) je antropocentrično in predstavlja nehoteno asimilacijo kraške votline z živim organizmom, z vsemi napakami, ki so vključene v tem postulatu.

Bistvo poligenetske teorije, ki med drugim deli rove na singenetske in paragenetske, je ravno v upoštevanju sočasnosti različnih procesov in torej tudi oblik. Tako s stališča te teorije ni nujno, da bi jame, ki so bile zapolnjene s sedimentom, npr. v würmu, bile izdelane že pred würmom, ampak je bilo lahko izvotljevanje in zapolnjevanje istočasno.

Čeprav je naloga glede predmeta obravnave precej ozko omejena, torej specializirana in glede na prostor lokalna, sem se vseeno odločil za tako obliko »lokalne analize«, katere rezultat je lokalna monografija. Lokalna monografija je v vsakem primeru koristna, ne glede na to, kako je lokalno specializirana, ali je celovita študija neke pokrajine ali pa le raziskava enega samega sistema poljske razdelitve oziroma raziskave enega samega geomorfološkega aspekta (Dollfus 1971, 43).

Prof. dr. Ivanu Gamsu se za pomoč, napotke in nasvete najlepše zahvaljujem, saj je imel z mentorstvom obilo neprijetnega posla. Asistenta Janja Hladnik in F. Šušteršič sta mi teoretično, predvsem pa praktično, pomagala pri dolgotrajnih kemičnih analizah in računanju koeficientov korelacije, za kar se jima zahvaljujem, višjemu tehničnemu sodelavcu Vladoši Elesini in višjemu knjižničarju Maji Kranjc za imenitno

izdelavo prilog in zbiranje marsikdaj težko dostopne literature. Klasifikacije karbonatnih kamnin in drugih analiz sedimentov ne bi opravil brez dragocene pomoči dr. Vere Gregorič in D. Skaberneta z oddelka za geologijo FNT v Ljubljani. Analize sem opravljal tudi v laboratoriju PZE za geografijo na FF v Ljubljani, na Inštitutu za paleontologijo SAZU pa so mi izdelali zbruske, za kar se vsem skupaj na tem mestu zahvaljujem. Na koncu naj še posebej omenim sodelavca I. Kendo in A. Vадnjala, ki sta me spremljala po podzemlju Male gore, marsikdaj nevarnem in neprijetnem, saj bi brez njune pomoči ostal praznih rok.

1. UVOD

Ribniška Mala gora leži v južni Sloveniji, na Dolenjskem, v slovenskem dinarskem svetu. Čeprav je Mala gora na znotraj zelo enotna regija, je njen položaj izrazito prehodan. Od sosedstva je povsod dobro ločena z dolinami in depresijami. Njene zahodne sosede so visoke kraške planote Ribniška Velika gora, Bloke in Krimška planota, proti vzhodu pa se nadaljuje nižja in obsežnejša kraška planota Suha krajina (risba 1).

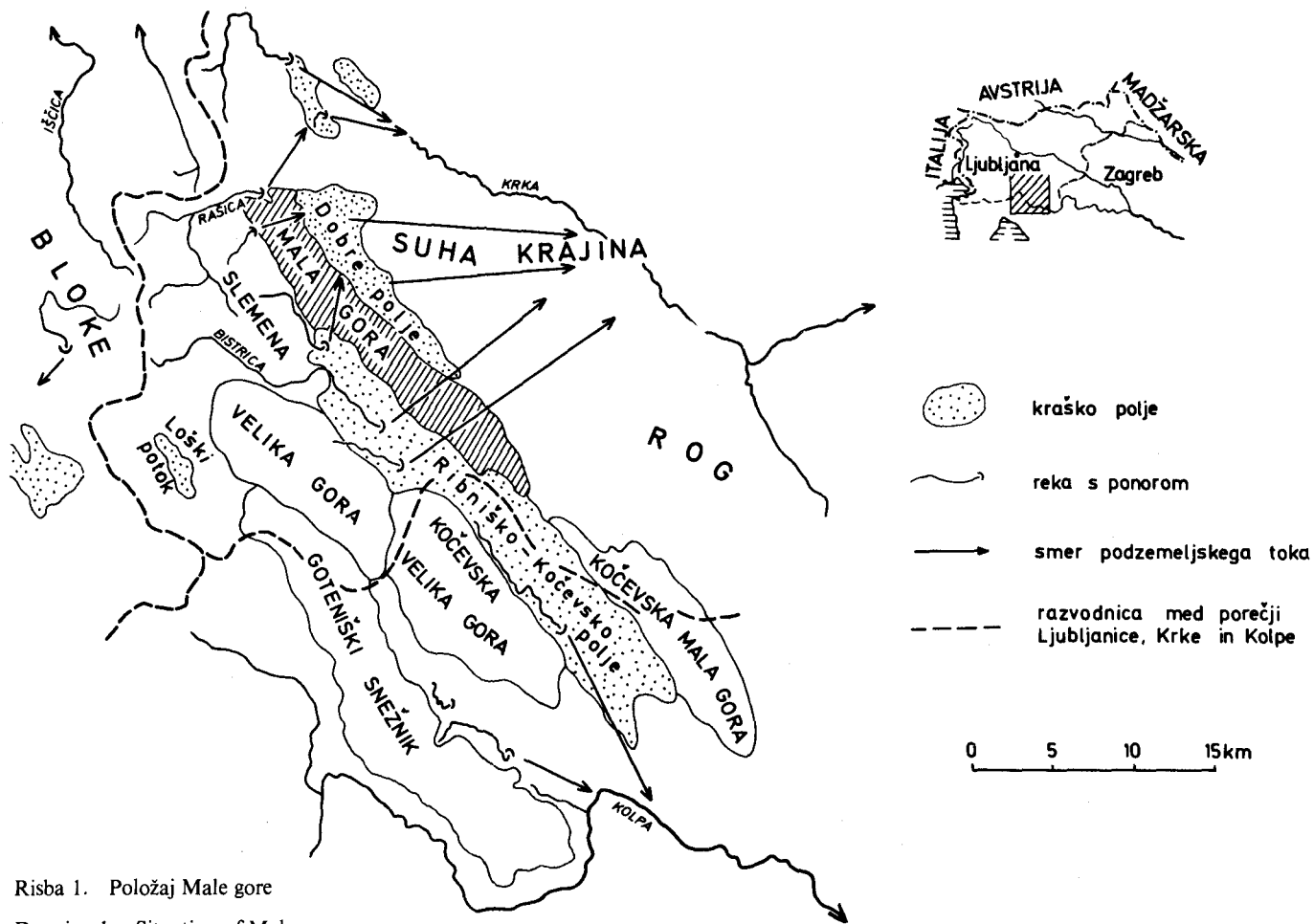
Ribniška Mala gora je izrazit podolgovat hrib, lahko bi mu rekli kar sleme, ki se vleče v dinarski smeri (NW-SE) 24 km daleč in je v poprečju 3-4 km široko. Zavzema okoli 115 km² površine. Je slemenasto hribovje, ki predstavlja prehod med nizkim planotastim dolenjskim na eni strani ter visokim notranjskim krasom na drugi strani, tako po višinah kot tudi po oblikovanosti površja.

V večjem delu je Mala gora relativno visoka 300-500 m. Z ribniške strani je obod Ribniške doline, ki ga sestavljata Ribniška Velika in Mala gora, tako markanten, tako popolnoma obvladuje obzorje s svojo enotnostjo, da ga je Ribničan imenoval samo z obćim nazivom - Velika in Mala gora (Melik 1959, 436).

Kljub temu, da je njen značaj prehodan, je Mala gora od okolice povsod dobro in jasno ločena, ponekod je meja še posebej izrazita. Na severu je od Turjaško-grosupeljskega hribovja ločena z izrazito vrezano in ponekod precej široko dolino Rašice ter severnim delom Dobrepolja (Predstruge). Ime Dobrepolje uporabljam v nadaljnjem besedilu v obliki Dobrépolje (Dobrépolje, ž. mn. kr. i., dobrépoljski, -a, -o), kot nakazuje slovenski pravopis (Slovenski pravopis 1962, 197) in kot je uporabljano tudi v Krajevnem leksikonu Slovenije (Savnik 1971, 115, 159), čeprav se v literaturi uporablja tudi pogovorna oblika Dobro polje, Dobrega polja (Šifrer 1967, 273). Na zahodu Malo goro omejuje Laška pokrajina (Petrič 1976, 8) (Velikolaški škriļjevi predel oziroma Slemena z vmesnim laškim poljem) in globoko vrezana dolina Tržišćice, dalje pa Ribniško polje. Proti vzhodu jo od suhokrajinske planote loči Dobrepolje, proti kateremu je meja še posebno jasna, saj poteka vzdolž tektonske prelomnice (sl. 1) in se neposredno s polja dviga strma reber Male gore 400-500 m visoko brez pregiba (Melik 1959, 422). Še najslabše je Mala gora ločena od sosednjih ozemelj proti jugovzhodu, kjer se podobno hribovje nadaljuje v Kočevski Mali gori. Vendar sta obe gori ločeni z dolinskimi pretržjem pri bivši vasi Mala gora v višini 480 m n.m. Od Roškega višavja v okolici Poloma ločuje Malo goro suha dolina, v kateri sta bili nekoč vasi Kukovo in Vrbovec. Ta dolina se vleče proti jugovzhodu kot nadaljevanje Dobrepolja oziroma Strug.

2. GEOLOŠKE OSNOVE

Po svoji legi glede na Slovenijo, je Ribniška Mala gora globoko v dinarskem svetu, v geološkem pogledu pa bolj na obrobju Zunanjih Dinaridov. Petrografske in tektonske značilnosti ustrezajo njeni legi in položaju: po Meliku (1959, 436) je Mala gora izrazit gorski čok iz mezozojskih karbonatnih kamnin, potekajoč v dinarski smeri, omejen s podolžnimi depresijami in tektonskimi linijami.



Risba 1. Položaj Male gore

Drawing 1. Situation of Mala gora



Sl. 1. Tektonsko pobočje nad Dobrepoljem

Fig. 1. Tectonic slope above Dobrepolje

2.1. STRATIGRAFIJA

Ribniško Malo goro sestavljajo takorekoč v celoti mezozojske kamnine. Starejše od mezozojskih so razgaljene le v vznožju, v dolini Tržiščice. Tržiščica ni izdolbla svoje doline prav po geološki meji, ampak so spodnji deli njenega levega brega – to je že vznožje Male gore – vrezani deloma še v neprepustne permske kamnine (kremenov konglomerat in peščenjak trogkofelske stopnje), ki grade velik del Želimpljsko-ortneške grude zahodno od Male gore.

Izmed mezozojskih so zastopane kamnine vseh treh sistemov. Najmanj je triadnih kamnin. Te so razvite pretežno kot dolomiti. Kamnine skitijske in ladinijske stopnje so na površju le v ozkih pasovih vzdolž vznožja Male gore, na stiku s Slemenj (Želimpljsko-ortneška gruda), podobno kot permske. V malo večjem obsegu je površje iz zgornjetriadnega dolomita (norijsko-retijski), in sicer obsežna uravnava okoli Velikih Poljan ter vznožje in spodnji deli pobočij na drugi strani Male gore, med Podgoro in Kompoljem.

Ostale dele Male gore sestavljajo le jurski in kredni apnenci ter v majhni meri dolomiti. Na splošno pada starost kamnin od severozahoda – pretežno jurske kamnine, proti jugovzhodu – kredne kamnine.

Plasti karbonatnih kamnin v Mali gori so nagnjene precej enakomerno, s prevladujočim naklonom 20°. Razlike s tem poprečkom so redke in majhne. V grobem prevladujejo tri smeri vpada plasti: proti jugo-jugovzhodu, jugo-jugozahodu, zahod-jugozahodu oziroma zahodu.

Za preučevanje podzemeljskega zakrasevanja je potrebno poznati tudi geologijo širše okolice Male gore, saj od tam dobiva velik del svojih voda, z njimi pa sedimente, ki se odlagajo na površju in pod zemljo.

Zahodno oziroma jugozahodno obrobje Male gore predstavlja Želimejsko-ortneška gruda (Slemena in Laška pokrajina) s prevlado permskih in triadnih neprepustnih kamnin ter dolomitov. Ker je predvsem ta del, Slemena in Lašče, eno glavnih zbirnih območij za vode, ki se pretakajo skozi Malo goro proti Dobropolju in Krki, in področje, odkoder izvira večina fluvialnih sedimentov obravnavanega ozemlja, je naravno, da si podrobneje ogledamo tudi to okolico, predvsem s petrografskega vidika. Kamnine Želimejsko-ortneške grude so še toliko pomembnejše, ker so v veliki meri iz kremenca, snovi, ki ni podvržena koroziji in je tudi proti eroziji zelo odporna. Obenem so geologi to ozemlje v novejšem času intenzivno raziskovali (R a m o v š & K o c h a n s k y - D e v i d é 1965).

Na omenjenem ozemlju nastopajo sledeče paleozojske kamnine: kremenovi konglomerati (prevladujejo prodniki lešnikove do orehove velikosti, vmes so tudi v velikosti kurjega jajca in še večji), kremenovi peščenjaki s precej sljude in vmesnimi lečami hematita in limonita ter glineni škriplavci v menjavi s kremenovimi peščenjaki in vmesnimi lečami različnih apnencev, apnenčeve breče in brečastega konglomerata (R a m o v š & K o c h a n s k y - D e v i d é 1965, 373–357).

Pomembni so predvsem kremenovi konglomerati in peščenjaki s sljudo. Te plasti so osnova, ki daje gradivo za velike nanose aluvija v vodnih jamah v vzhodni Male gore (kremenovi prodniki v Podpeški in Dolenji jami, pesek s sljudo v Tenteri). Kremenovi prodniki in pesek so obenem gradivo, ki je omogočilo močno erozijo v obravnavanih jamah.

Petrografska sestava permskega konglomerata iz okolice Ortneka je sledeča: 31–45 % prodnikov je iz kremenca, 15–44 % pa iz kvarcita. V peščenjaku je 48–58 % zrn iz kremenca, 4–13 % pa iz kvarcita (B u s e r 1974, 18).

Ostali del Želimejsko-ortneške grude ter robne dele Velike gore in Blok – povirje Sodaške Bistrice in Rašice, dveh največjih tokov obravnavanega ozemlja – grade v celoti triadne kamnine, v glavnem dolomiti z vložki škriplavcev, peščenjakov, laporjev, konglomerata, apnencev in boksita. Med posameznimi stratigrafskimi členi so številne erozijske diskordance (B u s e r 1974, 15).

Boksit sam po sebi nima večjega pomena za razvoj zakrasevanja niti ne za oblikovanje podzemlja, pač pa je pomemben faktor pri ugotavljanju paleotransporta. Boksit nastopa v rabeljskih plasteh (R a k o v e c 1955, 24) v dveh oblikah: prvi je rdečerjave barve in je »železnat boksit z veliko kremenice«, drugi pa je svetlejšje barve, čistejši boksit. Rakovec imenuje ta boksit železov oolit, v katerem so zrna zlepljena z boksitnim vezivom ter je bogat s kremenico. Že sam pa pripominja, da je v tem oolitu več glinice kakor železa (R a k o v e c 1955, 24).

Ostala sosednja ozemlja se po kamninski sestavi ne ločijo bistveno od Male gore, saj so v celoti iz karbonatnih kamnin. V dnu Ribniškega polja in Dobropolja nastopa deloma triadni dolomit, večji del pa je iz krednih apnencev, kakor tudi bližnji deli Suhe krajine in Roga. Proti severozahodu oziroma severu, kjer je v nadaljevanju Male gore onstran doline Rašice Turjaško gričevje, se nadaljujejo jurske kamnine s severozahodnega dela Male gore.

Čeprav ne leže na obravnavanem ozemlju, so za razumevanje razvoja krasa upoštevanja vredne krpe terciarnih kamnin (rdečkastorjav lapornat apnenec in lapornat peščenjak – facies scaglie, apnenčeva breča in fliš z alveolino in numuliti) na sosednjem Roškem višavju (Grintovec – Stari breg, Mali Rigelj, Rdeči kamen in Kunč) in v Suhi krajini (okolica Hinj) (G e r m o v š e k 1953; Š r i b a r 1967). Ravno ti, razmeroma skromni ostanki ver-

jetno obsežnejšega paleocenskega in eocenskega pokrova, govorijo proti starejšim trditvam, da je bila v najstarejšem terciaru vzhodna in osrednja Slovenija kopno (Pleničar & Nosan 1958, 103) in potrjujejo Radinjeva predvidevanja. Radinja (1972, 205) namreč domneva, da je v Sloveniji (izvzeta je alpska regija) odeja iz terciarnih kamnin sklenjeno prekrila mezozojske kamnine, a je bilo ozemlje kasneje dvignjeno in ta odeja pretežno erodirana. To naj bi veljalo tudi za Dolenjsko.

Od mlajših terciarnih kamnin so na geološki karti označene le pliocenske. Predstavljata jih rdeča in rjava glina. Zaenkrat pliocenske gline ni mogoče ločiti od pleistocenske. Večji del površja na pliocenskih in pleistocenskih glinah je v skrajnem severovzhodnem delu Dobrepolja, vzhodno od Zdenke vasi. Šifrer (1976, 277, 284) pripisuje fluvialni sediment – ostanek nekdanjega zasipa – nad vasjo Rapljevo še pliocenski dobi. Ta sediment je v zelo majhnem obsegu in nima bistvenega vpliva na današnji razvoj površja.

Kvartarne kamnine nastopajo na obravnavanem ozemlju v večjih količinah le na robnih delih: aluvialni nasip na Ribniškem polju in Dobrepolju. Pleistocenske kamnine so na površju v zelo omejenem obsegu – dolina Rašice in deli Dobrepolja (Šifrer 1967), ali pa jih prekrivajo mlajši aluvialni nanosi – Ribniško polje in Dobrepolje (Melik 1955). Rdeča ilovica prekriva obsežne dele geološke podlage, vendar so mnenja o njeni starosti deljena, saj naj bi bila pleistocenska (Turnšek 1967, 228) ali pliocenska (Buser 1974, 14).

2.2. KARBONATNE KAMNINE V MALI GORI

Za zakrasevanje so najpomembnejše določene litološke (mineralna sestava, tekstura in struktura) in fizikalno-kemične (kemične, mehanične in poroznost) lastnosti kamnine. V zakrasevanje je všteto tudi podzemeljsko izvotljevanje kamnine. Rezultat tega procesa so kraške votline – jame in brezna. Zato navajam nekaj podatkov, ki naj osvetle lastnosti karbonatnih kamnin v Mali gori.

Topili smo 15 vzorcev karbonatnih kamnin. Izbrani so tako, da je čim popolneje zastopana stratigrafska lestvica (zgornji trias, spodnja, srednja in zgornja jura, spodnja in zgornja kreda), obenem pa so vzeti iz samih kraških votlin, tako da so zastopane tudi najpomembnejše jame (tabela 1).

Zaradi relativno majhnega števila vzorcev rezultatov ne smemo posploševati. Največja količina netopnega ostanka je 7,43 %, najmanjša pa 0,01 %. Kaže, da ima triadni dolomit z obravnavanega ozemlja večjo količino netopnega ostanka kot pa apnenec. Glede na to, da so na slovenskem krasu apnenci precej čisti (imajo 1–2 %, največje pod 1 % netopnega ostanka, Gams 1974, 73), lahko rečem, da je apnenec v Mali gori razmeroma nečist. Delež vzorcev apnenca z več kot 2 % netopnega ostanka je 38,5 %. V primerjavi z dinarskim krasom kot celoto pa so apnenci v Mali gori zelo čisti. Apnenci na dinarskem krasu imajo sledeče deleže CaCO₃: spodnji trias 80–95 %, srednji trias 98–99 %, spodnja jura 92–97 %, srednja jura prek 97 %, spodnja kreda 95–98 %, zgornja kreda 98–100 % (Herak 1972, 28).

Večje jame v Mali gori so tako v apnencu z malo netopnega ostanka (Tentera – 0,01 %, Podpeška jama – 0,022 %), pa tudi v apnencu z veliko ostanka (Griška jama – 1,14 %, Dolenja jama – 2,46 %).

Topnost karbonatnih kamnin in s tem zakrasevanje je odvisna tudi od teksture kamnine. Večji kalcitni kristali (kalcitne žilice), ostanki živalskih skeletov, lupin, ogradij, so v naših razmerah navadno težje topljivi kot pa kalcitna masa, v katero so vloženi, oziroma kalcitno vezivo. To trditev potrjujejo tudi opazovanja v Mali gori (v Vančevi jami in Kevercu pri Vančevi jami so ostanki fosilov do 0,5 cm v reliefu) kot tudi drugod po Sloveniji (Putickova pasaža v Logarčku pri Planini, Gams 1963 a, 48; Pavlovce 1961).

Tabela 1. Netopni ostanek (v %) vzorcev karbonatnih kamnin iz Ribniške Male gore

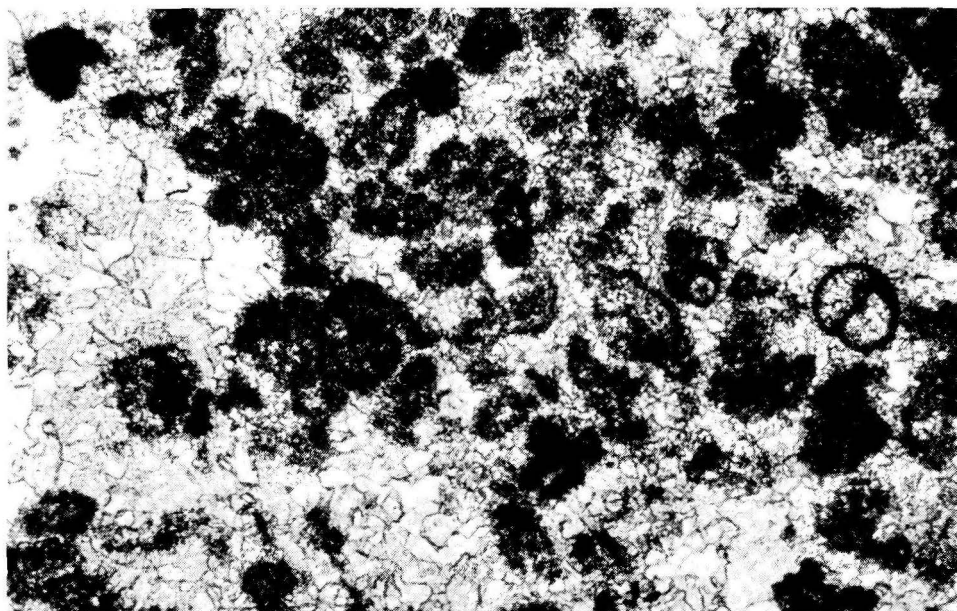
Statigrafska enota	Tip kamnine	Nahajališče	% netopnega ostanka
T ₃ ²⁺³	pasast in zrnat dolomit	Žovkno	2,47
T ₃ ²⁺³	pasast in zrnat dolomit	Pri koritu	2,90
J ₁	siv gost apnenec	Finkova jama 2	2,08
J _{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Tentera	0,01
J _{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Tentera	0,01
J _{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Marketova jama	7,43
J _{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Skednevnica	0,01
J _{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Dolenja jama	2,46
J _{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Ponikalnica Rašice	0,03
J _{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Bukovščica	3,21
J ₃ ^{1,2}	siv gost ooliten apnenec	Podtaborska jama	0,47
K ₁	bel apnenec	Griška jama (notranjost)	1,14
K ₁	bel apnenec	Griška jama (vhod)	2,23
K _{1,2}	siv gost apnenec	Vančeva jama	0,03
K _{1,2}	siv gost apnenec	Podpeška jama	0,02
Poprečno			1,64

Topnost apnenca je odvisna tudi od poroznosti, ki pa je spet odvisna od teksture. Na tej osnovi nekateri avtorji zaključujejo, da so biomikriti in biospariti lažje topni (so bolj porozni) kot pa sam mikrit oziroma sparit (Sweeting 1972, 18). Sweetingova (ibid., 19–20) navaja za Yorkshire (Anglija) 75 % sparitnih apnencev in 25 % biomikritov, za pokrajino Burren (grofija Clare na Irskem) 95 % sparitnih apnencev (ta pokrajina je ena izmed najbolj zakraselih v okviru Združenega kraljestva, *Tratman s.a.*), za Jugoslavijo (na podlagi vzorcev kamnin, nabranih na ekskurziji prek dinarskega krasa) pa kar 80 % biomikritov.

Iz Ribniške Male gore sem po Folkovi (1959) in Dunhamovi (1961) klasifikaciji določil 14 vzorcev apnenca različne starosti, od zornjega triasa do spodnje krede (tab. 2). Med temi je 93 % alokemov in 7 % ortokemov. Med alokemičnimi apnenci jih vsebuje 46 % fosile, 46 % oolite in 8 % intraklaste. Vezivo (cement) je pri 57 % vzorcev sparitni kalcit, pri 43 % vzorcev pa sestavlja osnovo (matriks) mikrokristalni kalcit.

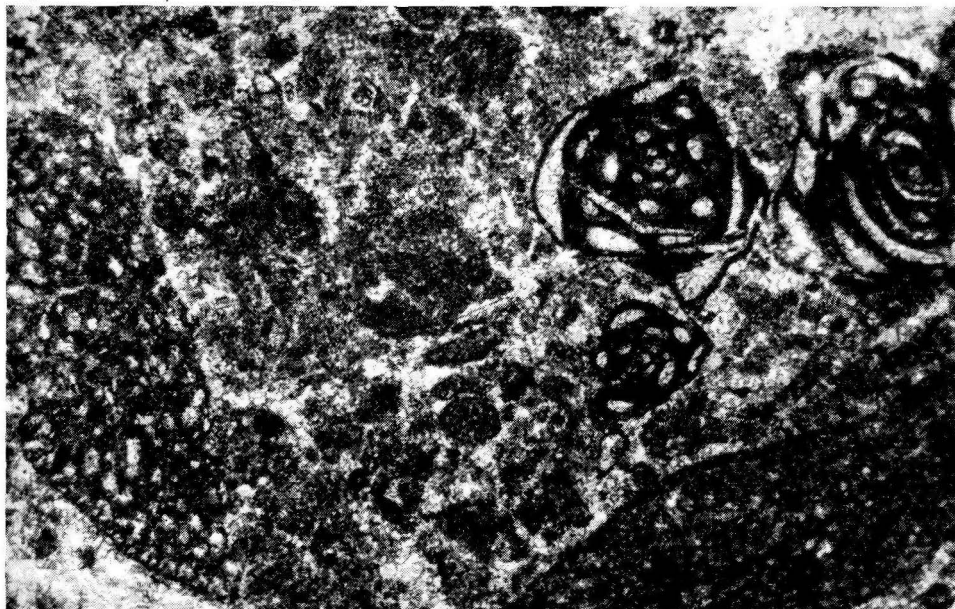
Vzorci iz večjih jam so vsi alokemični apnenci in vsebuje fosile (57 %) in oolite (43 %) (slika 3–5).

Glede na velikost zbruska, s pomočjo katerega se klasificira apnenec, nam da en sam zbrusek le podatek o mikrofaciji. Ker Mala gora razmeroma obsežno ozemlje in število vzorcev majhno, nam dajo ti podatki le neko zelo površno sliko o tipih apnenca, ki nastopajo na tem ozemlju. Lahko pa rečem, da ne odgovarjajo zgoraj navedenim predpostavkam v literaturi.



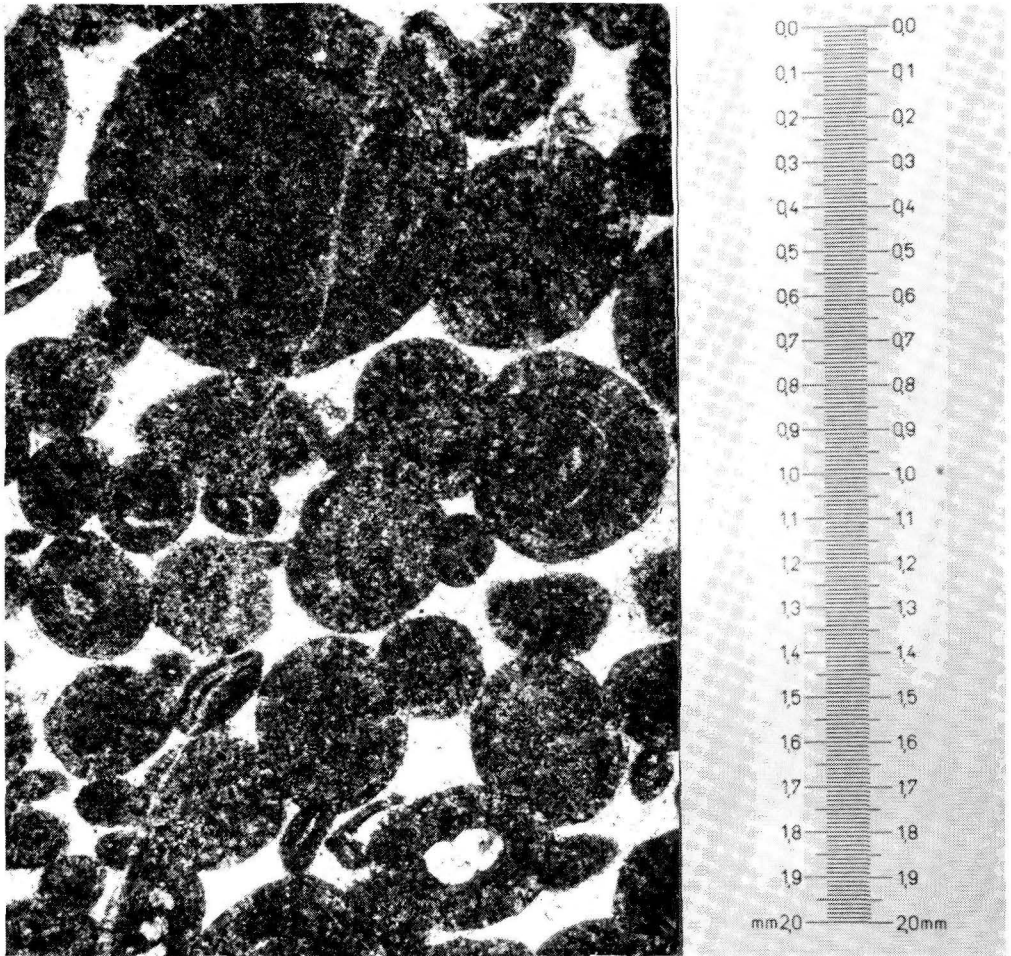
Sl. 3. Biomikrit z dolosparitom (Vratnica). Foto C. Gantar

Fig. 3. Biomicrite with dolosparite (Vratnica) Photo by C. Gantar



Sl. 4. Biomikrit (Vančeva jama). Foto C. Gantar

Fig. 4. Biomicrite (Vančeva jama). Photo by C. Gantar



Sl. 5. Oosparit (Podpeška jama). Foto C. Gantar

Fig. 5. Oosparite (Podpeška jama). Photo by C. Gantar

2.3. STAROST KAMNIN IN GOSTOTA VOTLIN

V okviru obravnavanega ozemlja zavzemajo apnenci 108 km² (94 %) in dolomiti 7 km² (6 %) površja, številčne odnose med površjem na kamninah posamezne stratigrafske stopnje in votlinami prikazuje tabela 3.

Niti iz same razporeditve votlin niti iz njihove gostote (število votlin/km² oziroma število m jamskih rovov/km² zakraselega ozemlja) ni razvidna neposredna odvisnost med kamninami različnih stratigrafskih stopenj in kraškimi votlinami. Tako je npr. število votlin/km² triadnih kamnin (po geološki karti so dolomiti) manjše od povprečnega števila

votlin/km² apnencev v celoti, pač pa je na krednih apnencih (K_{1,2}) ta gostota manjša, obratno od pričakovanja. Tabela 3 nam sicer ilustrira in številčno predstavi odnose med kamninami in votlinami v Mali gori, vendar pa na podlagi teh podatkov ne moremo delati zaključkov o stopnji zakrasedlosti oziroma o večji ali manjši primernosti kamnin posamezne stratigrafske stopnje za zakrasedanje.

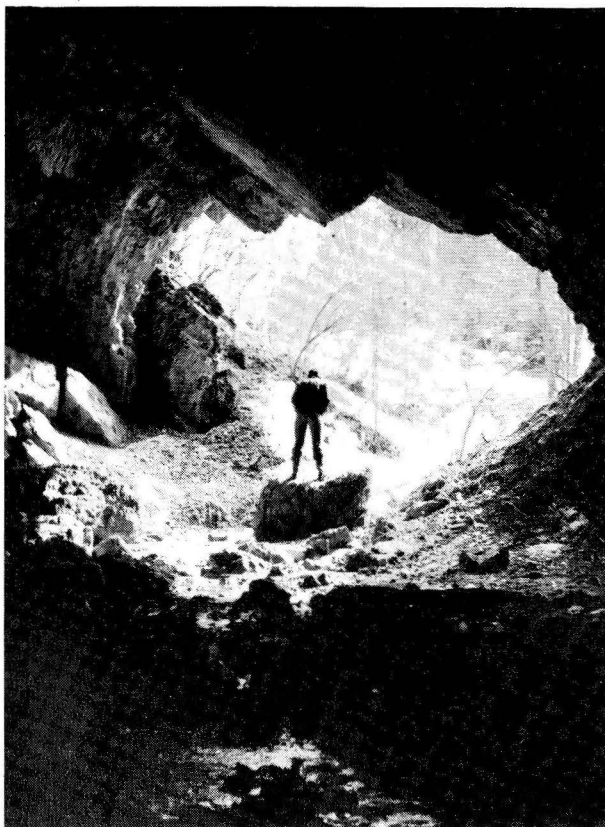
Tabela 2. *Tipi apnencev v Ribniški Mali gori (po F o l k u)*

Stratigrafska enota	Tip apnenca	Nahajališče
T ₃ ²⁺³	biomikrit	Vratnica
J ₁	dismikrit	izviri Krke
J _{1,2}	oosparit (dolomitiziran)	Ponikalnica Rašice
J _{1,2}	oosparit	Dolenja jama
J _{1,2}	biomikrit	Tentera
J _{1,2}	biopelmikrit	Lučki Dol
J _{1,2}	oosparit	Čušperk
J ₃ ^{1,2}	oosparit	Hočevje
J ₃ ^{2,3}	biointrasparit	Hočevje
K ₁	biomikrit	Griška jama
K ₁	oosparit	Zdenska vas
K _{1,2}	biomikrit	Vančeva jama
K _{1,2}	oosparit	Podpeška jama
K _{1,2}	intrasparit	Dobrepolje

Tabela 3. *Odnos med kamninami in kraškimi votlinami*

Kamnina	Km ²	Število votlin	Število votlin/km ²	m rovov	m rovov/km ²
K _{1,2}	45,60	23	0,50	1.529	33,53
K ₁	12,16	11	0,90	885	72,80
J ₃ ^{2,3}	17,27	19	1,10	649	37,58
J ₃ ^{1,2}	6,99	9	1,29	430	61,50
J _{1,2}	21,80	32	1,47	1.427	67,52
J ₁	4,36	7	1,61	688	157,80
T ₃ ²⁺³	7,14	5	0,70	780	109,24
Skupaj	115,32	106	0,92	6.433	55,78

Eden izmed vzrokov je tudi ta, da so triadne kamnine, ki so na geološki karti označene kot dolomit, v posameznih primerih lahko kaj različne. Tako sta jami Žovkno (7 m) in Ciganska kajžica (5 m) v pravem dolomitu. Jama Vratnica (500 m) (sl. 2), ki leži po geološki karti pravtako v dolomitu, pa je glede na klasifikacijo po F o l k u v biomikritu, in sicer



Sl. 2. Vratnica –
v dolomitu oblikovan vhodni rov

Fig. 2. Vratnica –
entrance channel cut in dolomite

v apnencu, katerega izsušitvene pore so zapoljnene z dolomitom (dolosparitom) in v katerem je opazen proces dolomitizacije okolnega kalcita. Z metodo karbonat-bombe (Müller & Gastner 1971) je ta kamnina dolomitski apnenec s 70% CaCO_3 .

Po drugi strani pa je vzrok za navidezno večjo zakrasedlost dolomita kot apnenca lahko tudi v strukturi kamnine. To dokazujejo poizkusi Fortija, Stefanini in Ulcigraia (1974, 20), na podlagi katerih je bilo ugotovljeno, da so na Krasu apnenci z visokim deležem sekundarnega sparitnega kalcita manj topni od dolomitov.

Pri pregledu razporeditve votlin v Mali gori se mi zdi še najbolj neposredno na kamninsko osnovo navezana vrzel – okoli 2 km širok pas ozemlja brez votlin, ki poteka prečno prek Male gore v smeri vzhod – zahod, med vasema Podgora in Velike Poljane. V tem pasu je dolomitna podlaga najbliže površju (v nadm. viš. 700–750 m). Ker je dolomitna podlaga najvišja, je pokrov iz apnenca tod najtanjši. Ta dolomitni prag verjetno predstavlja pregrado za podzemeljske tokove, ki so usmerjeni prečno skozi Malo goro. Zato jo prečkajo bolj severozahodno ali pa bolj jugovzhodno od tega praga. In na obeh straneh dolomitnega praga je opazna izrazita koncentracija votlin tako na ribniško-ortneški kot tudi na dobrepoljski strani.

2.4. TEKTONIKA

Ribniška Mala gora je po Meliku (1959, 423) tektonski gorski čok oziroma tektonska gruda, ki sodi k dolenskem krasu oziroma dinarskem gorstvu. Za dolenski kras so značilne visoke planotaste grude, prekinjene po udorinah, kjer so danes kraška polja. Apnenci in dolomiti niso toliko nagubani kot so mnogo bolj prepokani, prelomljeni, predvsem pa ob prelomih v precej širokih conah zdrobljeni (Rakovc 1956, 80). Prelomi tvorijo pravo mrežo: eni so diagonalno (dinarsko) usmerjeni, med temi sta tudi ortneški in dobrepoljski, ki omejujeta Malo goro z jugozahoda oziroma severovzhoda, drugi pa vzporedniško (alpsko) usmerjeni, od katerih je pomembnejši prelom, ki poteka ob spodnji Rašici prek vasi Cesta (Šlebinge 1953, 292). Horizontalni tektonski premiki so na obravnavanem ozemlju redki, omembe vredni je le na jugozahodnem vznožju Male gore, usmerjen proti SW, a tudi tega so zbrisali kasnejši prelomi (Šlebinge 1953, 292).

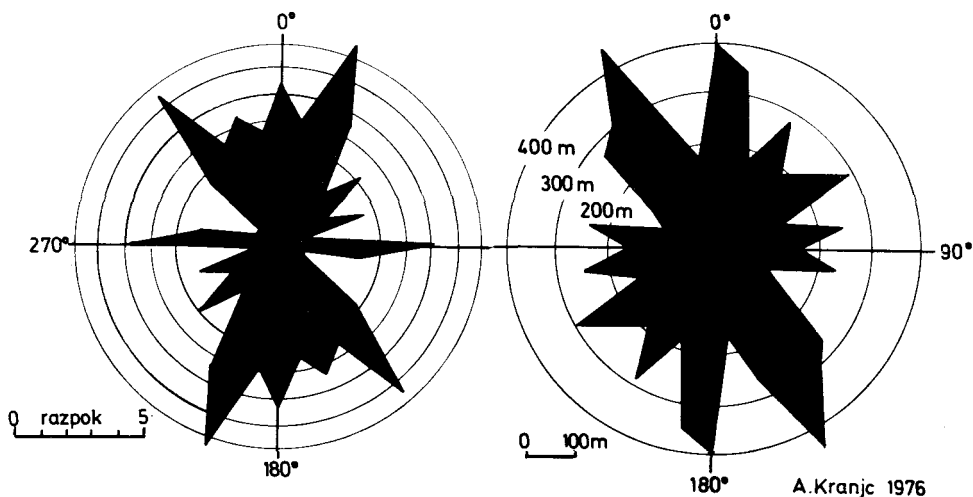
Novejše geološke raziskave so prav na tem področju pokazale številne novosti in spremembe. Buser (1974, 14–15, 40–41) podaja glavne karakteristike dolensko-notranjskih mezozojskih grud: to so tektonski elementi, pri katerih potekajo v dinarski smeri mezozojski skladi, ki jih sekajo številni, dolgi, v dinarski smeri potekajoči prelomi, ob katerih je bilo največkrat dvignjeno na jugozahodni strani preloma ležeče ozemlje. Manjše tektonske enote v okviru teh grud so tudi Želimeljsko-ortneška gruda in Zahodnodolenske mezozojske grude. Za Zahodnodolenske grude je značilno potekanje skladov, glavnih prelomov in osi večjih sinklinal ter antiklinal v dinarski smeri. Ob teh prelomih se je ozemlje stopničasto dvigalo oziroma gubalo, tako da ima danes nekakšno grudasto zgradbo. Ob prelomih so karbonatne kamnine tektonsko zdrobljene in spremenjene v milonit. Dolomiti so mnogo bolj in v širšem pasu zdrobljeni kot pa apnenci. V okviru Želimeljsko-ortneške grude je od jugovzhoda proti Sv. Gregorju velika prevrnjena antiklinala, ob ortneškem prelomu pa več 100 m široka milonitna cona.

Premeru (1976) je neotektonske premike v vzhodni Sloveniji razdelil v dva cikla – prvi obsega med srednjim pliocenom in starejšim pleistocenom 11 faz, drugi pa med srednjim pleistocenom in današnjim obdobjem 8 faz. Po smeri so prelomni sistemi razdeljeni v 4 grupe: W–E, N–S, NW–SE, SW–NE. Po njegovih zaključkih je žlebiški prelom nastal v srednjem pliocenu (4. faza). Regionalno pomembni prelomi z obravnavanega ozemlja, potekajoči v dinarski smeri, mišjedolski, želimeljski, ortneški in dobrepoljski, so nastali v 5. fazi, ki je bila najmočnejša med srednjim pliocenom in holocenom. V 14. fazi je prišlo do ponovne aktivizacije teh prelomov, tako kot tudi v 18. fazi, ko so se ugreznili tektonski jarki, v katerih je večina današnjih kraških polj s holocensko sedimentacijo.

Mioč (1976) na nov način razlaga permokarbonske ter spodnje in srednjetriadne sklade na Dolenskem. Ugotovil je, da leže v okolici Ortneka permske plasti na spodnjetriadnih, severozahodno od Sodražice spodnje in srednjetriadne na gornjetriadnih, severno od Ortneka pa je spodnji trias razkrit v obliki tektonskega okna pod permškimi plastmi. Ti permokarbonski, spodnje in srednjetriadni sedimenti so iz evgeosinklinalnega prostora Notranjih Dinaridov – posavskih gub – in torej predstavljajo posavski nariv prek stabilnega dinarskega šelfa.

Starost tega nariva ni znana, po Mioču (ibid.) je izpred oligocena, po Premeru (1976, 226) pa iz obdobja meot-pliocen. Po teh novih razlagah je bilo celotno področje južno od približne črte Škofljica–Sevnica z neotektonskimi premiki dvignjeno in razlomljeno s prelomi pretežno v dinarski smeri v posamezne bloke. Pri tem so nastali tektonski jarki v isti smeri. Pretežni del alohtona je bil kasneje erodiran, danes so ohranjeni le njegovi posamezni deli v tektonskih jarkih ali v obliki tektonskih krp.

Najbolj očuvan in izrazit tektonski jarek je želimeljsko-ribniški jarek. Mala gora pa je del dolenskega bloka, ki je relativno dvignjena gruda.



Risba 2. Usmerjenost razpok in usmerjenost rogov v Mali gori

Drawing 2. Fissure and passage directions in Mala gora

2.5. STRUKTURA KARBONATNIH KAMNIN IN VOTLINE

Za podzemeljsko zakrasedanje – izvotljevanje kraških votlin – je nujen sklenjen vodni tok skozi kamnino. Zato poroznost sama po sebi ni toliko pomembna za razvoj votlin kakor pa prepokanost oziroma diskontinuitetne ploskve v kamnini. Poroznost je namreč lahko velika, a ker so v takem primeru pore običajno premajhne, da bi dovoljevale sklenjen vodni pretok (velika poroznost in majhna prepustnost), je čisto primer, da je taka kamnina v notranjosti le malo ali nič zakrasela (kreda).

V Mali gori sem razpoke meril v podzemlju in le deloma tudi na površju (risba 2). Izrazito prevladujejo razpoke v smeri sever-severovzhod – jug-jugozahod, močno pa je zastopana tudi smer severozahod-jugovzhod (dinarska). Izstopa še smer vzhod-zahod. V ostalih smereh razpok bodisi ni ali pa so le izjeme.

Drugi tip diskontinuitetnih ploskev v apnencu so plastne razpoke – lezike. V Mali gori izrazito prevladujejo vpadnice plasti v dveh smereh: proti jug-jugovzhodu in proti jug-jugozahodu z majhnimi odkloni. Razmeroma močno je še zastopana smer zahod oziroma zahod-jugozahod. Vpadnic v ostalih smereh je ali zelo malo, ali pa jih sploh ni.

Glede naklona močno prevladujejo plasti z naklonom okoli 20°. Plasti z naklonom okoli 10 in 30° so še zastopane, večji ali manjši nakloni pa so le posamični primeri ali slučajnosti.

Diagram usmerjenosti jamskih rogov (risba 2) kaže dve izrazito prevladujoči smeri: dinarsko severozahod-jugovzhod in smer sever-jug. Prevlado dinarske usmerjenosti si lahko razlagamo le s potekom razpok in prelomov v tej smeri ter s smerjo vpada plasti. Razpoke niso namreč pogojene le z gubanjem dinarskega gorstva, ampak so tudi rezultat mikrotektonike in mehanskih sil v kamnini sami. Ribniška Mala gora je zelo podolgovata masa, razpotegnjena v dinarski smeri. Roji razpok koncentrično obrobajo Mala goro (Š l e b i n g e r 1971, 198) in ker sta stranici Male gore, potekajoči v dinarski smeri, veliko daljši od pre-

čnih, je tudi razumljiva usmerjenost razpok v dinarski smeri. Vendar pa dinarska usmerjenost razpok ne prevladuje, pač pa prevladuje dinarska usmerjenost jamskih rovov. To navidezno protislovje si lahko razlagamo s tipom oziroma značajem razpok. Kot sem že omenil, je za podzemeljsko zakrasevanje nujen sklenjen vodni pretok, zanj pa so potrebne dovolj velike odprtine – razpoke. Če je razpoka premalo odprta, da bi dovoljevala sklenjen vodni pretok, je za sam pričetek izvotljevanja brez pomena. Šlebinger (1971, 198) omenja, da so nekatere razpoke v vznožju Male gore, okoli Ribniškega polja in Dobrepolja, odprte.

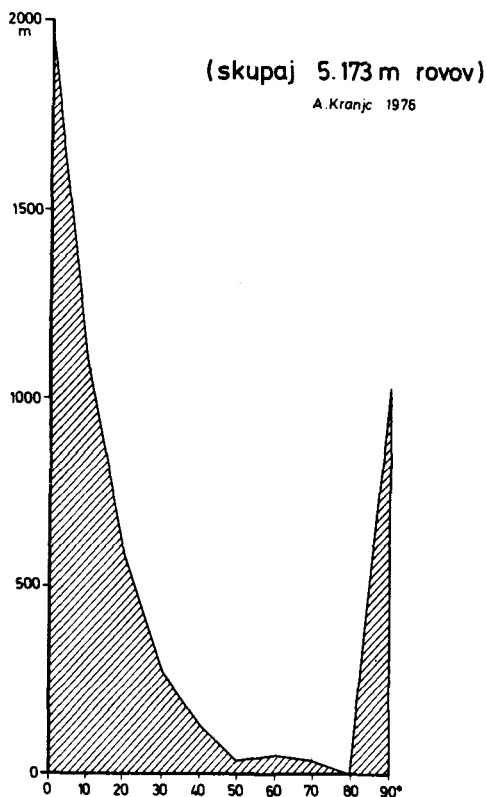
Mala gora ima kot dolg in ozek kraški masiv relativno obsežno »pobočno cono« v mehanskem smislu. Za pobočno cono so značilne dekompresijske razpoke (razpoke »popuščanja«, vzporedne s pobočjem in v primeru Male gore torej odprte v dinarski smeri. Vz dolž takih razpok so se izoblikovali jamski rovi. V prid tej trditvi je tudi dejstvo, da je velika večina dostopnih jamskih rovov obravnavanega ozemlja res v »pobočni coni«. V ravni črti je človek prodril v podzemlje Male gore na dobrepoljski strani najdlje 60 m daleč v Potiskavški jami, v Podpeški jami, Tatrci in Podtaborski jami pa le po 40 m. Globlje je uspelo prodreti z laške in ribniške strani – 230 m daleč v Bukovščici, 150 m v Črni jami in okoli 100 m v Finkovi jami 2. Ta oddaljenost pa je računana v vodoravni smeri, to je v istem nivoju, torej oddaljenost skrajne točke v jami od najbližjega površja v vodoravni smeri. Če pa upoštevamo naklon pobočja in računamo oddaljenost skrajne točke v jami do najbližje točke na površju, navadno više v pobočju, se navedene razdalje močno zmanjšajo in znašajo največ nekaj 10 m. Po tem kriteriju prodre najgloblje v Malo goro Finkova jama 2 do okoli 60 m, Bukovščica 40 m in Koblarska jama le še 24 m, vse ostale jame pa se končujejo še bliže površja.

Če upoštevamo, da je Mala gora poprečno široka okoli 3 km in da ima njeno planotasto površje 300–500 m relativne višine, je jasno, da je človek prodril le v pobočno cono tega kraškega masiva. Globoka ali notranja cona je s speleološkega gledišča še neznana.

Pri primerjavi smeri razpok in smeri vpada plasti v Mali gori s smermi jamskih rovov se pokaže, da je smer rovov pravzaprav rezultanta smeri diskontinuitetnih ploskev v kamnini. Najmočnejša smer vpada plasti je 160°, razmeroma močna pa še v smeri 140° – prevladujoča smer rovov pa je 150°. Dejstvo, da je splošna smer podzemeljskega odtoka od jugozahoda proti severovzhodu in da je jamskih rovov v tej smeri izredno malo, kaže na to, v koliki meri je pretok v drobnem odvisen od diskontinuitetnih ploskev v kamnini.

Če primerjamo naklone jamskih rovov v Mali gori z nakloni plasti, se pokažejo velike razlike in odstopanja. Pri plasteh prevladuje naklon okoli 20° (56%), pri jamskih rovih pa okoli 0°. Plasti z naklonom pod 15° praktično ni, rovov s takim naklonom pa je kar 59%. Plasti z naklonom nad 30°, maksimalni naklon je 75°, je 16%, rovov pa 25%. Ampak od tega je rovov z naklonom 90° kar 20%. Prevladujejo torej plasti z naklonom 20–30°, rovi pa z naklonom nad 15°. Plasti z naklonom 90° sploh ni, pač pa je navpičnih rovov 20%. Iz tega je razvidno, da naklon plasti in padec oziroma naklon jamskih rovov v Mali gori nista v neposredni zvezi.

Pri naklonu jamskih rovov sta opazni predvsem dve tendenci – vodoraven (ali skoraj vodoraven) in navpičen potek. To kaže na nastanek rovov v zvezi z dvema različnima tipoma odtoka vode. Vodoravni rovi so nastali s pomočjo pretežno horizontalnega vodnega pretakanja (ponorna in izvorna stran pobočne cone ter pretočni spodnji del globoke cone v Mali gori) oziroma bolj ali manj tik pod nivojem kraške talne vode (Bretz 1942; Moore & Nicholas 1964, 14–15). Navpični rovi – brezna so v glavnem razširjene razpoke, nastale zaradi navpično prenikajoče padavinske vode (Gams 1964, 20). Maucci (1951–1952) je obdelal naklone 1052 votlin v predvojni Julijski krajini (Venezia Giulia – naš primorski kras) in še 107 votlin v Toskani in Lombardiji. Na primorskem krasu prevladujejo vertikale, močan pa je tudi delež votlin z naklonom 0–30°, votlin z naklonom med 35–75° pa skoraj ni. Podobno je v Toskani in Lombardiji, le da tam prevladuje vodoravna komponenta (ibid., 9–10). Risba 3, ki je pripravljena po istih principih kot



Risba 3. Naklon jamskih rovov v Mali gori

Drawing 3. Dip of cave passages in Mala gora

Maucci jeva, prikazuje naklone rovov v Mali gori in omogoča primerjavo med Mala goro, primorskim krasom (v glavnem gre za Tržaški kras), Toskano in Lombardijo. Na splošno je diagram Male gore podoben diagramoma za Toskano in Lombardijo, le da so pri Mali gori večje amplitude – vodoravni rovi močneje prevladujejo. Glede amplitude same je slika Male gore podobnejša sliki primorskega krasa, le da je bistvena razlika v kakovosti. V Mali gori prevladuje vodoravna komponenta, na primorskem krasu pa navpična.

Glede razmerja med deležem brezen in jam sodi torej Ribniška Mala gora k nizkemu dolenskem krasu, ne pa k visokim dolenskim in notranjskim planotam.

2.6. PALEOGEOGRAFSKI RAZVOJ

Glede na novejšje raziskave in njihove interpretacije (Buser 1974; Mioč 1976; Premru 1976) si lahko predstavljamo razvoj Male gore na približno sledeč način:

V predoligocenu ali meot-pliocenu je prišlo do posavskega nariva prek uravnanege karbonatnega dinarskega šelfa. Nariv je tako ustvaril pokrov iz neprepustnih kamnin prek karbonatnih kamnin in tako, če že ne popolnoma zavrl, pa vsaj v veliki meri preprečil zakrasedanje na ozemlju današnje Male gore.

Površje tega neprepustnega pokrova je bilo tekom spodnjega pliocena bolj ali manj uravnano – peneplenizirano in ni dokazov v prid trditvi, da bi bili že takrat določeni deli karbonatnih kamnin razgaljeni, da je bilo že v pliocenu kraško površje.

Neotektonski premiki v zgornjem pliocenu in pleistocenu so to uravnano pokrajino spremenili v taki meri, da že lahko govorimo o grudasti pokrajini: posamezne grude (ena takih grud je bila tudi današnja Mala gora) so dvignjene v različne nadmorske višine, nastajajo tektonski jarki med dvignjenimi grudami. Z dvignjenih grud erozija pospešeno odstranjuje pokrov neprepustnih kamnin, ko je ta pokrov odstranjen, se prične zakrasevanje in odnašanje oziroma raztapljanje mezozojskih karbonatnih kamnin. V tektonskih jarkih pa so pogoji za ohranjanje nekarbonatnih kamnin posavskega narava.

V mlajšem pleistocenu in holocenu se nadaljuje ugrezanje tektonskih jarkov, vmesne dvignjene grude dobivajo vedno bolj hribovit oziroma planotast značaj. Površinsko zakrasevanje se nadaljuje takorekoč neprekinjeno od pliocena oziroma starejšega kvartarja sem, vodni tokovi z neprepustne podlage v tektonskih jarkih pa si morajo bodisi poglobljati površinske doline skozi karbonatno obrobje ali pa prelagati tokove vedno globlje v podzemlje.

Tak razvoj zakrasevanja v Mali gori si predstavljamo na podlagi predvsem geoloških oziroma tektonskih ugotovitev. V naslednjem delu razprave pa bom skušal dobiti geomorfološke, to je površinske, in speleološke, podzemeljske dokaze, ki naj bi potrdili zgornja predvidevanja.

3. HIDROGRAFSKE OSNOVE

3.1. OZNAČBA IN HIDROGRAFSKA RAZDELITEV OZEMLJA

Če upoštevamo označbo in omejitev Ribniške Male gore, podani v prejšnjem poglavju, vidimo, da je ta kraški masiv brez površinskih vodotokov. Pač pa je na njenih vzdolžnih, dinarsko usmerjenih robovih oziroma vznožju, mnogo vodotokov, izvirov in ponorov. Na jugovzhodni strani se končuje cela vrsta površinskih tokov, ki pritekajo z neprepustnega površja, s ponori ali v vodnih jamah, na drugi, jugovzhodni strani, pa je cela vrsta izvirov in izvirnih kraških jam. Čeprav je Mala gora sama po sebi brez površinskih tokov, je v hidrografskem pogledu pomemben člen, saj se skozi pretakajo vode z neprepustnih Lašč in Slemen ter z Ribniškega polja proti Dobropolju in proti Krki. Mala gora je vezni člen med vodami sosednjih nižjih regij in je v njej skrit tako posredni vzrok za poplave na ribniški in na dobrepoljski strani, kot je ob suši pomemben vodni rezervoar za okoliško prebivalstvo in zato že samo s tega stališča zasluži podrobno preučitev kraškega podzemlja in njenih podzemeljskih vodnih zvez.

Kot za druge pojave je tudi za hidrografsko preučevanje Male gore bistveno poznavanje hidrografskih razmer v njeni neposredni okolici. Trije najpomembnejši vodni tokovi obravnavanega ozemlja, Rašica, Tržiščica in Bistrica (Sodraška) imajo svoja povirja in zbirna območja deloma na neprepustnem in deloma na dolomitnem vznožju Blok ter na pretežno neprepustnem ozemlju Lašč in Slemen. Le najjužnejša izmed tokov, Ribnica in Rakitnica, izvirata na meji med apnencem in dolomitom v vznožju Ribniške Velike gore.

Glede na hidrografska svojstva površja Male gore z neposredno okolico, ločimo tri tipe ozemlja:

a) Slemen in Lašče – pretežno nekarbonatni svet z normalno razvito rečno mrežo, s stalnimi površinskimi tokovi. Ob prehodu na dolomitno, predvsem pa na apnenčasto ozemlje, vsi vodotoki ponikajo. Na obrobju tega ozemlja se normalni vodotoki spremenijo v kraške in spreminja se dolžina njihovega toka po karbonatnih kamninah. Poleti so struge na karbonatnem ozemlju suhe, pomladi in jeseni pa nastajajo poplavna jezera, končno pa vsa voda izginja v podzemlje.

b) Dobropolje – suho kraško polje z manjšimi lokalnimi stalnimi studenci (iz dolomita na vznožju Male gore ali iz apnenca ter aluvialnih naplavin v dnu polja). Večji vodni tokovi so podzemeljski in normalno dostopni le v kraških jamah pod nivojem dna polja. Ob visokem vodnem stanju, predvsem pa ob poplavih na jugozahodni strani Male gore, se spremenene vodne jame v kraške izvire in po polju teko prave reke, ki večje ali manjše dele polja tudi poplavijo. Ob izredno visokih vodah pridere na polje Rašica po suhi dolini izpod Ponikev ter teče vzdolž celega polja do skrajnega jugovzhodnega dela – Strug.

c) Mala gora v ožjem smislu je brez vsakršnih površinskih vodnih tokov. Tudi podzemeljski – kraški – tokovi so dostopni le v robnih delih Male gore, v vznožju, od ponorov ali izvirov v notranjost kraške gmote, dokler raziskovalca ne ustavijo neprehodne ožine ali stalno zaliti rovi – sifoni.

Tako so na tem razmeroma majhnem koščku slovenske zemlje zbrani pravzaprav trije hidrografske različni tipi površja: normalno hidrografske omrežje na neprepustnem svetu, kraško hidrografske omrežje na nizkem karobonatnem svetu (Lašče, Ribniško polje, Dobropolje) in svet brez površinskih voda na apnenčasti Mali gori sami.

3.2. KLASIFIKACIJA VODNIH TOKOV

Če gledamo s hidrološkega vidika, so na obravnavanem ozemlju zastopani sledeči tipi vodnih tokov:

- stalni površinski tokovi z normalnim izvirom in izlivom
- stalni površinski tokovi s kraškim izvirom in normalnim izlivom
- ponikalnica s stalnim tokom in normalnim izvirom
- kraške ponikalnice s stalnim tokom (izvir in izliv kraška)
- kraške ponikalnice z občasnim tokom (izvir in izliv kraška).

V skupino normalnih tokov sodijo predvsem manjši tokovi na Slemenih in Laščah.

Stalne površinske tokove s kraškim izvirom in normalnim izlivom predstavljajo krajši pritoki večjih normalnih tokov, ki izvirajo v kraških izvirih na robu nizkega karbonatnega sveta. Tak je primer Puških peči – razmeroma močan kraški izvir se po kratkem toku izliva v stalni potok Brod, pritok Rašice.

Ponikalnice s stalnim tokom in normalnim izvirom so trije največji tokovi obravnavanega ozemlja – Rašica, Tržiščica in Bistrica. Vse tri izvirajo na neprepustnem ali dolomitnem svetu v vznožju Blok in na Slemenih kot tokovi, ki se zberejo iz roja manjših potočkov. Ko pritečejo na apnenca, ponikajo. Vendar so ti tokovi deloma kombinacija z naslednjim tipom – kraško ponikalnico, saj so med izviri teh treh tokov tudi kraški izviri, čeprav ti ne dajejo večine vode.

Kraška ponikalnica s stalnim tokom je le ena – Ribnica, ki izvira iz kraškega izvira vokliškega tipa pod Veliko goro in ponika v ponorih sredi Ribniškega polja in je edini predstavnik prave kraške reke ponikalnice.

Kraške ponikalnice z občasnim tokom so vsi večji občasni tokovi na Dobropolju in nastopajo le ob poplavih – izvirajo iz kraških jam v vznožju Male gore in se izgublajo v ponorih sredi Dobropolja.

3.3. POVRŠINSKA REČNA MREŽA

Površinska rečna mreža (upoštevam vse vodne tokove, označene na karti 1:50000) na neprepustnem delu obravnavanega ozemlja je razmeroma gosta, obenem pa ni velikih razlik med gostoto vodnih tokov na nekarbonatnem ozemlju in gostoto na dolomitnem ozem-

lju. Gostota površinskih tokov po Neumannu (Dukić 1962, 37) je na neprepustnem svetu med 990 m (Lašče) in 1.375 m/km² (Slemen), na dolomitnem svetu pa med 830 m (Ribniško polje) in 1.200 m/km² (Lašče). Vodni tokovi, ki tečejo po ravnini – po Ribniškem polju – so bolj vijugavi kot tokovi v strminah Slemen in je zato resnična razlika v gostoti še malo večja od navedene.

Koeficient razvitosti toka (Dukić 1962, 32–33) Ločice (Podplanščice) $K=1,11$ in zgornjega toka Tržišnice $K=1,10$. Oba tokova tečeta po strmem neprepustnem svetu Slemen. Sajevec in Ribnica, ki tečeta po ravnem dnu Ribniškega polja pa imata $K=1,42$ oziroma $K=1,30$. Razvitost toka, to pomeni, da je tok bolj zvit in vijugav, vodotokov na Ribniškem polju je torej za 17–18% večja od razvitosti tokov na Slemenih.

Po Melikovich (1963, 263–264) podatkih – primarni maksimum aprila, primarni minimum januarja, sekundarni minimum avgusta – ima porečje Krke, kamor sodi tudi obravnavano ozemlje, nivalno-pluvialni režim. Tak tip rečnega režima navaja za zgornjo Krko tudi Rus-Goljevšek (1962, 112, 115), vendar njeni podatki – primarni maksimum novembra, sekundarni marca, primarni minimum julija in avgusta, sekundarni februarja – kažejo, da ima tudi zgornja Krka, tako kot sicer navaja za njen spodnji tok, pluvio-nivalni in ne nivalno-pluvialni režim. Po Ilešiču (1948, 82, 105) pripada reka Krka k zmerno mediteranski varianti pluvio-nivalnega režima (jesenski maksimum prekorači pomladanskega ali mu je vsaj skoraj enak): temu režimu lahko prištevamo tudi večino pritokov Krke z obravnavanega dela Dolenjske.

3.4. PONIKALNICE

Najbolj opazna razlika med normalnimi in kraškimi tokovi obravnavanega ozemlja je njihova nestalnost oziroma nestalna dolžina njihovega toka prek ozemlja na karbonatnih kamninah. V okviru ponikalnic ločimo dva tipa:

Ponikalnice s stalnim tokom: Večina vodnih tokov, izjema sta Rašica in deloma tudi Bistrica, ponika takoj po prestopu z nekarbonatnih ali dolomitnih kamnin na apnenec. To se pa dogaja le ob »normalnih«^o pogojih, to se pravi večji del leta. Ob izredno visokem vodnem stanju pa običajni ponori ne morejo sproti požirati vse vode, ki priteka po strugi. Zato prične voda v končnem delu struge še posebej naraščati, prične se prelivati preko ponorov ali iz struge in teče dalje prek karbonatnega sveta. Kako daleč teče je odvisno od reliefa nizvodno ponorov ter od kraške prevotljenosti in prepustnosti površja, od oddaljenosti do naslednjih ponorov in od sposobnosti požiranja le-teh.

Kako daleč sega občasni tok take »podaljšane«^o ponikalnice, je odvisno od vsakokratne hidrološke in vremenske situacije. Obstajajo pa tudi meje maksimalnega podaljšanja, ki so na splošno znane in razmeroma lahko ugotovljive. Ponikalnice na jugozahodni strani Male gore si občasno podaljšujejo tokove do 5.000 m (Rašica). Če pa računamo, da voda »podaljšane«^o ponikalnice, ki se izlije v drugo ponikalnico (npr. Bistrica v občasno tekočo Zadnjo Rinžo), teče s to dalje, se na ta način navedeni občasni tokovi podaljšajo še do 17 km zračne črte. Ta značilnost je ena izmed posebnosti obravnavanega kraškega ozemlja v primerjavi s kraškim svetom Notranjskega podolja. Tako teče poplavna Bistrica skupaj z Ribnico kot Zadnja Rinža na Kočevsko polje, tam se združi s Prednjo Rinžo in teče kot Rinža do južnega konca Kočevskega polja, kjer ponika v ponore pod Mozljem.

Ponikalnice z občasnimi tokom: so v okviru obravnavanega ozemlja le na Dobropolju, kjer ob visokem vodnem stanju številne vodne jame in razpoke – bruhalniki v vzhodni Male gore bruhajo velike količine vode, ki teče prek polja in spet ponika v kraško podzemlje. Kakor hitro ti občasni kraški izviri presahnejo, nehajo teči tudi te ponikalnice. Delovanje teh bruhalnikov je neposredno povezano s stanjem vode v po-

nikalnicah na jugozahodni strani Male gore oziroma s padavinami v njihovem porečju. Med ponikalnicami tega tipa sta dve, ki tečeta bolj pogosto. Prva izvira iz Žovkna in Pri koritu, druga pa iz Potiskavške jame. Njun pogostejši tok se izraža tudi v morfologiji dna Dobrepolja – od izvirov proti ponorom oziroma na polje vodi izrazita struga (v Krkovem pod Žovknom je npr. globoka prek 5 m). Iz Dolenje, predvsem pa iz Podpeške jame in bruhalnika Puhavka teče voda bolj poredko, le ob največjih poplavih, in zato te ponikalnice nimajo vrezanih strug v dno polja.

Obravnavane ponikalnice se podaljšajo ob visokih vodah za sledeče dolžine:

Predvratnica	100 m
Potok pod Finkovim	100 m
Ločica (Podplanščica)	150 m
Cereja	400 m
Ribnica	2500 m (+ 17 km v zračni črti do Mozlja)
Bistrica	4500 m (+ 17 km v zračni črti do Mozlja)
Rašica	5000 m (+ 12 km v zračni črti do Strug)

Ob tej priliki opozarjam tudi na ime »Puhavka«. To je ime enega izmed največjih bruhalnikov na severni polovici Dobrepolja. Obenem je »puhavka« v Dobrepolju obče ime za bruhalnik, ki ni prehodan za človeka niti ob suši. »Puhavko« domačini strogo ločijo od »jame«, ki je za človeka prehodna, kar je najboljše razvidno iz sledečega primera: »...sedaj bodo pa puhavke in jame začele delovati (=puhati vodo, op. A.K.)...« (L j u b i č 1939, 60).

3.5. POPLAVE

Kakor leži Mala gora na stiku med normalnim – neprepustnim in kraškim – prepustnim svetom, tako so tudi tukajšnje poplave, ki so razmeroma opazna hidrografska značilnost, pojavi prehodnega oziroma kombiniranega izvora in bi težko govorili posebej o »normalnih« – hudourniških in posebej o kraških poplavih, v kolikor nam ne gre zgolj zato, kje nastopajo, na normalnem ali na kraškem svetu.

Glede na položaj proti sami Mali gori ločimo »zajezitvene« poplave na jugozahodni in »prelivne« na severovzhodni strani. Prve nastopajo tam, kjer vode vtekajo v podzemlje in nastajajo zaradi premajhne požiralnosti ponornih jam in ponorov. Ob močnem deževju se dotok z neprepustnega sveta močno poveča, ponori in ponorne jame ne zmorejo več požirati vse te vode, tok ponikalnice se podaljša na kraški svet, obenem pa se voda v strugi dvigne in preplavi okolni svet. Kakšen je obseg take poplave oziroma občasnega jezera, je odvisno od višine nivoja vode, od oblikovanosti struge in ponornega področja pa je odvisno predvsem to, ali bo jezero široko in plitvo ali pa bolj majhno, a globoko.

Tipična sta primera poplav Rakitnice in Ribnice v južnem koncu Ribniškega polja. Rakitniško jezero doseže širino največ 250 m, a globino do 12 m (R u s 1921, 186). Jezero pa, ki nastane, kadar se razlije Ribnica prek ponorov pri Sv. Marjeti in se ji pridruži še poplavna voda Bistrice, je lahko do 2 km široko, a globoko največ do nekaj metrov.

Trajanje poplav na jugozahodnem obrobju Male gore je odvisno od vsakokratne vremenske in hidrološke situacije, vendar pa so na splošno kratkotrajne. Najdlje trajajo v Rakitnici, kjer se zavlečejo tudi na nekaj tednov.

Poplave prelivnega tipa nastopajo na severovzhodni, izvorni strani Male gore. Vzrok teh poplav je predvsem v dvigu piezometra v kraških vodnih jamah in zato voda vdre skozi prelivne rove ter jamske vhode na površje kraškega polja. Ta voda navadno preplavi le neposredno okolico jamskega vhoda, iz takega jezera pa teče dalje kot občasna ponikalnica in ob zadostni količini preplavi tudi širšo okolico ponorov.

Poseben primer je Rašica. Ob povodnji požiralniki pri Ponikvah ne morejo požirati vse vode, zato se razlije po okolici ponikey, nato pa teče dalje po sicer suhi strugi in suhi dolini proti Dobropolju. Ob prestopu na aluvialno dno polja se prične voda razlivati, struga se izgubi in voda teče dalje v širokem pasu prek obdelanih površin vsaj do ponorov pod Vidmom. Navadno pa ob takih razmerah tudi tamkajšnji požiralniki ne zadoščajo, Rašica se združi s kraškimi vodami iz jam in puhavk in potem vsa ta voda skupaj dere proti južnemu koncu Dobropolja in najnižje dele polja v celoti preplavi. V samih Strugah poplavi velike dele njivskih površin in tudi hiše (K r a n j c 1973). V tem delu polja se poplava tudi najdlje časa zadrži in so Struge lahko zalite tudi po več tednov (slika 6).

Obseg poplavnega sveta je predvsem odvisen od reliefa – čim globlje je vrezana struga ponikalnice, manjše je poplavno območje. Zato so na ponorni strani Male gore najboljše-njše poplavne površine na Ribniškem polju, na izvirni strani pa na Dobropolju, predvsem v Strugah, kamor visi dno polja.

R u s (1921, 186–187) trdi, da so bile pred letom 1917 na Ribniškem polju velike poplave zelo redke. Ob takratnih izrednih nalivih (8.–21. januar 1917) in njim sledečih poplavah, naj bi se v podzemlju preložili sedimenti, z njimi zamašili sifoni in so zato po tem letu poplave pogostejše in višje.



Sl. 6. Višina poplave v Strugah na Dobropolju

Fig. 6. Flood-level in Struge, Dobropolje

Na Dobropolju nastopajo največje poplave, kadar se vodam, ki jih bruhajo jame in izviri v vzhodni Male gore, pridruži površinski tok Rašice, ki pridere od Ponikev sem. Za te poplave pravi R u s (1924, 33): »Nekdaj pogoste vpade bližnje ponikvarice Rašice v polje pa ljudstvo komaj še pomni.«

V novejšem času so take katastrofalne poplave na Dobropolju razmeroma redke, vendar ne tako zelo, da bi jih »ljudstvo komaj še pomnilo.« Posebno obsežna ter dolgotrajna ter temu primerno uničujoča je bila poplava v Dobropolju l. 1882 (T o m š i č & I v a n c 1887, 61), poleg tiste v letu 1917 pa so bile še v letih 1933, 1939 (L j u b i č 1939), 1948 in 1973 (K r a n j c 1973), kar je približno vsakih 10 let enkrat. Po navedbah domačinov iz Podpeči v zadnjih letih skoraj vsako leto, včasih tudi po dvakrat, bruha voda iz Podpeške jame in teče po poteh skozi vas.

Seveda je težko reči brez ustreznih in dovolj dolgih opazovanj, ali so danes poplave pogostejše ali ne, nikakor pa niso tako zelo redke in registracija poplav bi bila lahko zelo koristno zbiranje podatkov za bodoča preučevanja v tej smeri.

Prav borba proti katastrofalnim poplavam je vzbudila konec prejšnjega in v začetku tega stoletja ne le obsežen raziskovalni program, kot je razvidno iz nadaljnjega besedila, ampak tudi praktične ukrepe. Tako je P u t i c k (1892) odprl in obzidal požiralnike v strugi Prednje Rinže in pod njegovim vodstvom je bil zgrajen 655 m dolg odvodni kanal Bistrice v Tentero, s čimer se je val povodnji v mestu Ribnici znižal za 0,5 m (R u s 1929, 126).

3.6. PONORNE VOTLINE

Na jugozahodnem obrobju Male gore je na laški in ribniški strani 15 stalnih ali občasnih ponikalnic, ki ponikajo bodisi v samo vzhodje Male gore, ali pa že pred njim v zakrasele uravnave.

Te ponikalnice izginjajo v kraško podzemlje skozi različne tipe ponorov (slika 7). Običajno se prvi ponori pojavijo takoj, ko ponikalnica prestopi na kraški svet. Vendar teče voda pogosto še dalje od prvih ponorov. Vzroki so lahko kaj različni: ali so ti ponori izven struge in požirajo le visoke vode (ob Rašici pod vasjo Rašica), ali je njihova požiralnost premajhna (Rašica še pred Ponikvami), ali pa so jih celo zamašili ljudje, da bi vodo čim dlje ohranili na površju (Bistrica pri Brežah) (R u s 1921, 184).

Ponorne votline lahko razdelimo na naslednje tipe, v skladu s priporočili Mednarodne speleološke zveze (T r i m m e l & A u d e t a t 1966):

1. jama – stalni ponor: Vratnica, Tentera, ponor Rašice,
2. jama – občasni ponor ob stalnem toku: Pasenca, Finkova jama 2,
3. jama – občasni ponor ob obč. toku: Marketova jama, ponor pri Sv. Marjeti,
4. Brezno – občasni ponor ob stalnem toku: Brezno v mlinu,
5. brezno – občasni ponor ob obč. toku: Požiralnika 1 in 2 pri Sp. Ložinah,
6. jam z občasnim tokom v notranjosti (vhod neaktiven): Griška jama

Griška jama je izjema, a jo vseeno štejem k ponornim jamam, saj se v njej tik pod vhom dom pojavi voda, ki ponika v ponore v kanalu Bistrica – Tentera, obenem pa tudi voda iz Bistrice »Pod stenami«. Je torej ponorna jama, le da je zveza med ponori na površju in bližnjimi rovi v notranjosti jame pretesna za človeka (risba 4).

Večina omenjenih ponornih jam, med njimi vse večje, leži bolj ali manj na stiku neprepustnih in prepustnih kamnin. Ob visokem vodnem stanju nosijo te ponikalnice v kraško podzemlje velike količine nekarbonatnega proda in peska. V skladu s poznavanjem speleogenetskih pogojev je dejstvo, da so ponorne jame med absolutno največjimi kraškimi votlinami obravnavanega ozemlja. Tako so Vratnica, Tentera, Griška jama in Finkova jama 2 dolge prek 500 m. Tentera, trenutno najdaljša med njimi, ima 603 m rovov (K r a n j c 1973 a, 23–24). To obenem potrjuje trditev, »da imajo največjo sposobnost pre-

oblikovanja tiste vode, ki pritekajo z neapnenčastega sveta, od koder dobe za erozijo prepotrebno grobejše plavje« (G a m s 1955 a, 160).

V teh ponornih jamah se kombinirata erozija in korozijska sposobnost preoblikovanja oziroma izvotljevanja. Nekatere izmed ponornih vod imajo tudi zelo nizke trdote, vse pa so nezasičene. Če primerjamo trdote ponikalnic s trdotami ustreznih kraških izvirov, se pokaže precejšen dvig tako celokupne kot tudi karbonatne in kalcijeve trdote, kar gre predvsem na račun povečane kalcijeve trdote (tabela 4).

Tabela 4. Primerjava trdote voda (v N°) med izbranimi ponori in izviri (povpreček za leti 1975–76)

Kraj	Celokupna trdota	Karbonatna trdota	Kalcijeva trdota	Magnezijeva trdota	Zasičenost v %
Ločica	10,04	9,90	5,50	4,90	33
Potok (Finkovo)	5,31	5,16	2,99	2,32	21
Podpeška jama	11,40	10,09	7,45	4,05	60
Tržiščica	8,9	8,7	4,75	4,20	42
Kompoljska jama	12,20	11,80	8,95	3,30	70

Ti podatki so dokaz, da ponorne vode na poti skozi Malo goro korodirajo, da se kanali, skozi katere se pretakajo vode z laške in ribniške strani proti Dobrepolju in Krki, večajo na račun korozije.

Obenem pa te vode povečujejo podzemeljske kanale tudi s pomočjo erozije. Vse večje ponorne jame obravnavanega ozemlja imajo v svojih kanalih precejšnje količine proda. Ob normalnem oziroma nizkem vodnem stanju, voda proda ne prenaša in je tudi količina suspenziranega gradiva razmeroma majhna, vsaj v primerjavi s podatki o lebdečem tovoru na rekah Krki in Temenici (G a m s 1969, 19). Merjenje količine lebdečega tovara v ponikalnicah tik pred ponori, je dalo sledeče rezultate:

Rašica	3–25 mg/l vode
Cereja	18–24 mg/l vode
Beč	28 mg/l vode
Ločica	7–31 mg/l vode
Potok (Finkovo)	27 mg/l vode
Tržiščica	10–19 mg/l vode
Bistrica	13–29 mg/l vode
Ribnica	11–28 mg/l vode

Ob visokem stanju in poplavah voda prenaša oziroma kotali prod po strugi in takrat verjetno opravlja večino svoje erozijske dejavnosti. Pomembna je tudi petrografska sestava sedimenta, saj prodniki iz trde in odporne kamnine, npr. kremenca, veliko uspešneje erodirajo jamske stene kot pa prodniki iz glinastih škrljavcev.

Petrografska sestava proda v Tenteri, Griški jami in Finkovi jami 2 je prikazana na tabeli 5, kompletnejše podatke pa prikazuje risba 13. Navedene jame so v apnencih in nobena ni niti na samem kontaktu z neprepustnimi kamninami, vzorci proda pa so vzeti iz notranjosti jam, a je vseeno karbonatnih prodnikov izredno malo (povprečno 2%). Izrazito prevladujejo kremenovi prodniki (do 64%) ali prodniki iz peščenjaka (47–80%).

Poleg petrografske sestave tovara sta za erozijo zelo pomembni tudi hitrost vodnega toka in količina vode, kar se zopet deloma kaže v velikosti in količini tovara.

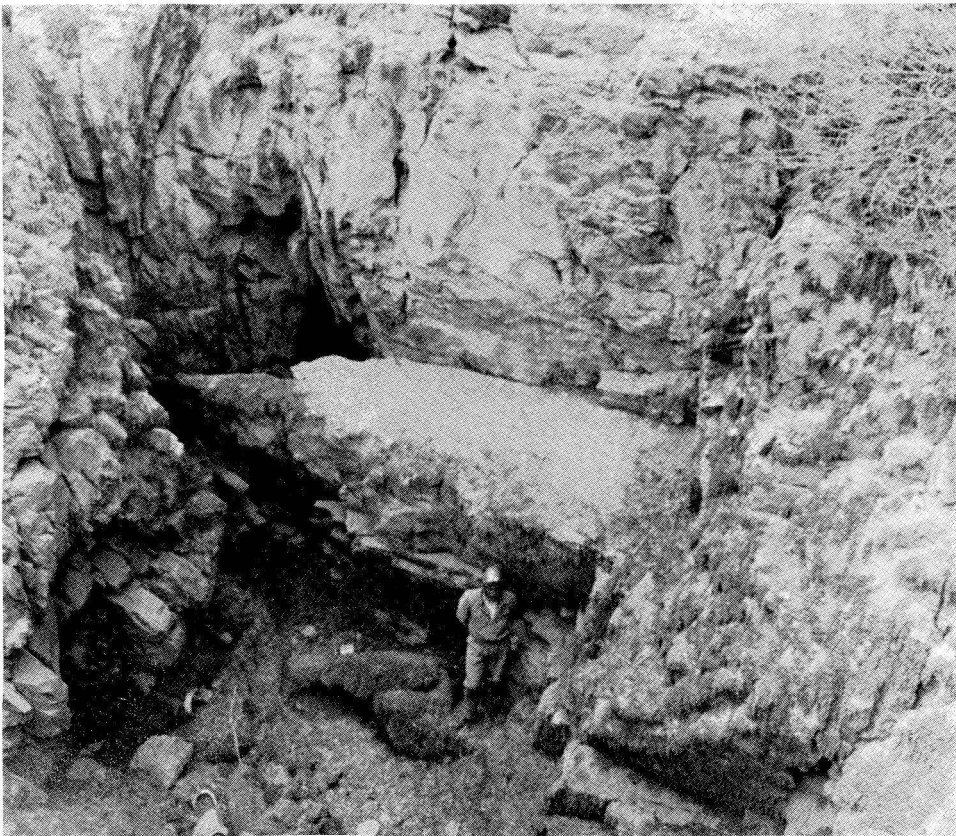
Velikost prodnikov v istih treh ponornih jamah, iz katerih je bila prikazana petrografska sestava, podaja tabela 6. Hitrost vodnega toka, potrebna za transport največjih prodnikov (premer okoli 5 cm) mora biti najmanj 1,75 m/sek, za transport sedimenta z mediano 15 mm pa okoli 0,9 m/sek (S c h e i d e g g e r 1961, 135).

Tabela 5. Petrografska sestava prodnikov v ponornih jamah (v % števila prodnikov)

Kamnina	Finkova jama 2	Griška jama	Tentera	Skupaj
karbonati	0,7	2,3	3,4	2,1
kremen	64,0	16,7	45,3	42,0
peščenjak	30,7	79,7	47,3	52,6
ostalo	4,6	1,3	4,0	3,3
Skupaj	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 6. Velikost prodnikov v ponornih jamah (v mm)

Jama	Povprečna dolžina	Maksimalna dolžina
Tentera	15,4	67,0
Griška jama	15,7	51,0
Finkova jama 2	20,5	62,0



Sl. 7. Ponor Barbarov skedenj na Ribniškem polju

Fig. 7. Ponor „Barbarov skedenj“ in Ribniško polje

Največji prodniki v tabeli 6 so iz poprečnega vzorca, absolutno največji prodniki pa so še precej večji. V Vratnici sem naletel 50 m od vhoda na peščenjakov prodnik $17 \times 15 \times 5$ cm in na prodnik iz kremenovega konglomerata $16 \times 13 \times 10$ cm.

Meritev količin proda z obravnavanega ozemlja nimamo, obstajajo le zapažanja o velikosti prodnih nanosov. Ti so, vsaj v primerjavi z velikostjo rova, veliki. V Griški jami, dolgi 590 m, je prod odložen, z manjšimi prekinitvami, prav do končnega sifona. Razširjeni deli jamskih rovov (15×6 m) so zasuti s prodnim nanosom najmanj 1–2 m na debelo, to je skoraj do stropa. Razen v razširitvah nastopa prod v večjih količinah predvsem v sifonskih situacijah, na odtočni strani.

Poleg proda je za erozijo pomemben tudi pesek, predvsem kremenov. Ob visokih vodah, ko teče voda po rovih ponornih jam pod pritiskom, dobe peščena zrna v ožinah močne pospeške. Ta pospešek je obratno sorazmeren kvadratu mase peščenega zrna in iz tega se najbolje razvidi preoblikovalna moč takega tovara. V takem delovanju kremenovega peska je najbrž tudi vzrok, da dobe prodniki v jamah na razmeroma kratko razdaljo transporta tako visoko stopnjo zaobljenosti in gladko, polirano površino (Siffre & Siffre 1961, 79).

V obravnavanih ponornih jamah je med drobnimi frakcijami tovara povsod v prevladi pesek. V Tenteri ga je 72 %, v Griški jami 70 % in v Finkovi jami 249 %. V okviru peščene frakcije je delež karbonatnih zrn zelo nizek: Tentera 2 %, Finkova jama 24 % in Griška jama 6–9 %. Zelo visok je delež kremenovih zrn.

Kljub velikim akumulacijam aluvialnih sedimentov v ponornih jamah v vzhodju Male gore ni opaziti, da bi to gradivo votline zasipavalo, ampak kaže, da se votline danes praznijo. Na kraških poljih in v depresijah širše okolice obravnavanega ozemlja so ostanki obsežnih aluvialnih akumulacij iz pleistocena. V pleistocenskih klimatskih pogojih je aluvialno nasipavanje prevladovalo nad kraškim izvotljevanjem, vode so z aluvijem zasipavale dna kraških polj, vključno ponore, in prevladoval je proces splošnega zatrpavanja krasa (Melik 1955, 46; Melik 1959, 426; Šifrer 1967, 285–186).

Tej fazi zasipavanja najbrž pripadajo tudi ostanki sedimenta, nalepljeni po stenah in celo po stropu Griške jame med točkama 20–23 (Arhiv IZRK). Po legi teh ostankov lahko sklepamo, da je bil na teh mestih rov zasut skoraj ali pa prav do stropa. Zasip sestavlja prod z deloma apnenčevimi (lokalnega izvora), predvsem pa peščenjakovimi, boksitnimi in kremenovimi prodniki, precej zaobljenimi. Vezivo teh ostankov sestavlja glina, prepojena s kalcitno sigo. Tudi v glavnem rovu Vratnice smo naleteli na ostanke le rahlo zlepljenega prodnega zasipa, ki je podobno sestavljen, kot recentni aluvijalni nanos potoka Predvratnice (prevlada peščenjakovih prodnikov), okoli 2 m nad današnjim dnom glavnega rova. Prečni profili tega rova kažejo na postopno poglobljanje, morfologija jamskih sten in stropa, predvsem drobne anastomoze in stropni kanal, govore za nekdanji višji nivo nanosa. To je dokaz, da je v holocenu prišlo do praznenja predhodno z aluvialnim nanosom zapoljenih jamskih rovov.

Po Renaultjevi (1970, 66–68) teoriji naj bi taki jamski rovi nastali kot paragenetski rovi v zaliti kraški coni in je ostanek proda pod stropom dokaz zadnje faze paragenetskega razvoja. Z zniževanjem erozijske baze v okolici se je nivo zalite cone zniževal, jama je prešla v »gravitacijsko fazo« – skozi jo je tekel prosti gravitacijski tok – in v pretežni meri odnesel sedimente.

Tudi pomanjkanje sige, ponekod sicer je in se tudi danes še odlaga, vendar so njene količine zelo majhne, kaže na prevlado evakuacijskih procesov nad akumulacijskimi.

3.7. IZVIRNE VOTLINE IN KRAŠKI IZVIRI

Kakor se na jugozahodnem vzhodju Male gore vrstijo v dolgem pasu ponori in ponorne jame, tako se na nasprotni strani, na severovzhodnem vzhodju, vrstijo kraški izviri in iz-

virne kraške jame. Po klasifikaciji, uporabljeni že za ponorne votline, so na dobrepoljski strani Male gore naslednji tipi vodnih votlin in izvirov:

1. jama – stalni izvir: Žovkno,
2. jama – občasni izvir: Zelenka,
3. jama – občasni izvir ob stalnem toku: Podpeška jama, Dolenja jama, Potiskavška jama,
4. jama s stalnim tokom (vhod neaktiven): Pokrito brezno,
5. stalni kraški izvir (neprehoden): Pri koritu,
6. občasni kraški izvir (neprehoden): Puhavka.

Največje med omenjenimi jamami so jame – občasni izviri ob stalnem toku, dolge med 113–300 m. Razporejene so v vznožju Male gore na dolžini 7 km, v nadmorski višini 440 m (Podpeška jama), 425 m (Kompoljska jama) in 423 m (Potiskavška jama). V vseh treh je stalna vodna gladina oziroma gladina stalnega podzemeljskega toka okoli 7 m pod jamskim vhodom oziroma 7 m pod nivojem dna Dobrepolja.

Čeprav so po dimenzijah in po drobni oblikovanosti te tri jame med seboj različne, imajo skupne splošne funkcijske značilnosti. Danes dostopni deli teh jam so stranski rovi – prelivni kanali za visoke vode. V Podpeški jami ima tako prelivno funkcijo le Vhodni rov, notranji vodni rov in zadnji del Babic (Biološki rov) pa pripadata aktivnim vodnim kanalom, po katerih stalno teče voda (slika 8). K aktivnim vodnim kanalom sodi tudi notranji, še ne do konca raziskani, del Potiskavške jame in končna razpoka, stalno zalita z vodo, v Dolenji jami



Sl. 8. Rov nad jezom v Podpeški jami

Fig. 8. Channel upstream the dam in Podpeška jama

Razmeroma dolgi odseki navedenih rovov imajo celoten profil v živi skali, brez sedimentov, in kažejo na prevladovanje korozijskih oziroma erozijskih procesov. Pretežno korozijsko preoblikovanje kažejo do 50 m dolgi odseki rovov v Potiskavški jami (K r a n j c 1976 a) in Kompoljski jami. Znaki močnega erozijskega preoblikovanja pa so prek 1 m veliki in do 0,5 m globoki erozijski lonci v strugi Biča v Podpeški jami (sl. 9), v katerih so zelo dobro zaobljeni kremenovi prodniki.

Na splošno je veljalo, da kraški izviri ne nanašajo sedimentov, v kolikor jih pa, gre le za majhne količine in zelo drobnozrnato gradivo. Tako pravi M e l i k (1963, 123), da morajo biti prav posebno ugodni pogoji v podolžnem prerezu pretoka, da kraške vode prinašajo na dan tudi kaj prod ali peska.

Taki ugodni pogoji za nanašanje sedimentov so ravno v podzemlju Male gore. Pred omenjenimi izvirnimi jamami so prodno-peščeni nanosi, ki jih voda prinaša iz podzemlja.

Najbolj grob sediment prinaša potok Bič v Podpeški jami. Poprečna velikost prodnikov je 20 mm, največji primerki pa merijo tudi do 54 mm (kremen) oziroma 52 mm (peščenjak) v daljši osi. V poprečnem vzorcu prod je 36% prodnikov lokalnega izvora (apnec in siga). Izmed alohtonih prodnikov so zastopani kremenovi (52%) in peščenjakovi prodniki (11%), ki jih voda prinaša iz okolice Ortneka.

Pesek v Podpeški jami ima različno granulometrijsko sestavo: v strugi Biča je najbolj grob ($Md = 1,1$ mm), najbolj droben pa je na kocu Babic in v pritočnem sifonu Biča. Osnovne značilnosti peska iz Podpeške jame in drugih izvornih jam v vznožju Male gore podaja tabela 7, za primerjavo pa so v tabeli 8 prikazane značilnosti vzorcev peska iz ponornih jam na jugozahodni strani Male gore, odkoder ga voda nanaša v omenjene izvorne jame.

Voda, ki bruha iz Dolenje (Kompoljske) jame nanaša malo drobnega prod (pod 10 mm) – 23,5% celotnega sedimenta. Sestavljen je takorekoč izključno le iz kremenovih zrn. Največji delež fluvialnega nanosa predstavlja pesek. Prevladuje grobi pesek (nad 0,2 mm) – 93%. Ta pesek in droben kremenov prod sestavljata neke vrste vršaj pred jamskim vhom, s premerom okoli 30 m. Glede na to, da predstavlja jamski vhod Dolenje jame ob poplavi sifon z najmanj 7 m vzpona, si lahko predstavljamo, kakšna je vodna hitrost oziroma kakšen hidravlični pritisk mora vladati v zaledju, da nanaša tak sediment. Po H j u l s t r ö m o v e m diagramu (S c h e i d e g g e r 1961, 135) je za transport 1 cm velikih prodnikov potrebna hitrost vode najmanj 0,7 m/sek. Kjer hitrost vodnega toka pade, se odlaga sediment, kar je lepo videti v vhodnem rovu, kjer so prave sipine peska in drobnega prodja za skalnimi bloki, vendar na njihovi zgornji in ne spodnji strani.

Tabela 7. Značilnosti vzorcev peska iz izvornih jam ($Md = v$ mm)

Lokacija	Md	So	Sk	% karbonatov
Podpeška jama – Bič	1,10	2,42	0,81	33
Podp. jama – vhod v Biol. rov	1,00	2,30	0,65	52
Podpeška jama – sifon	0,16	1,55	0,80	25
Podpeška jama – Biološki rov	0,13	1,22	1,08	33
Puhavka	0,23	1,41	1,00	34
Kompoljska jama	1,10	1,65	1,10	7
Potiskavska jama – notranj.	0,63	1,46	0,85	4
Potiskavska jama – vhod	0,29	1,42	1,10	6
Zelenka	0,49	1,75	0,87	3

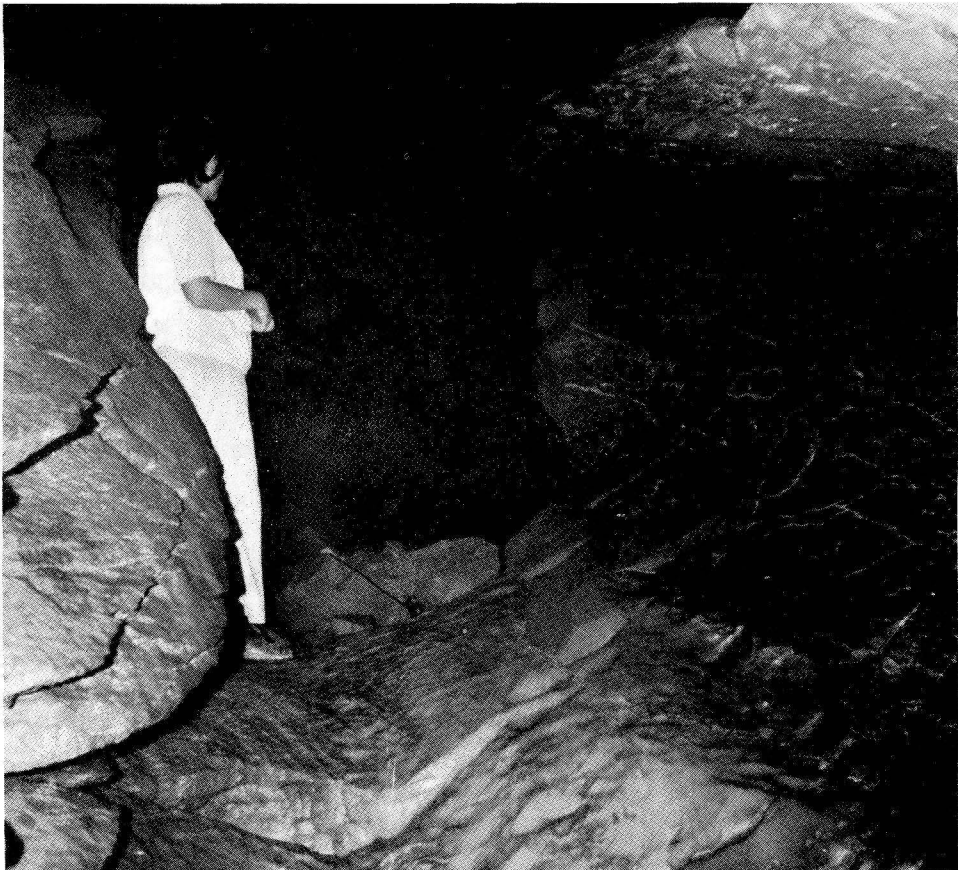
Md = mediana

So = sortiranost ($\frac{Q_3}{Q_1}$)

Sk = koeficient asimetričnosti $\frac{Q_1 \cdot Q_3}{Md^2}$

Tabela 8. Značilnosti vzorcev peska iz ponornih jam in ponorov ($Md = v \text{ mm}$)

Lokacija	Md	So	Sk	% karbonatov
Finkova jama 2	1,10	2,15	1,03	4
Tentera (1)	2,20	2,16	0,54	2
Tentera (2)	2,10	2,52	0,44	2
Griška jama – vhodni rov (1)	1,80	2,10	0,76	6
Griška jama – vhodni rov (2)	0,80	1,68	1,09	9
Griška jama – razpotje	3,00	2,13	0,61	8
ponor Ločice	1,55	2,49	0,65	5
ponor Tržiščice	2,20	1,93	0,76	36
ponor Bistrice (jez)	1,45	1,67	1,07	52
ponor Ribnice	0,47	1,85	0,27	52



Sl. 9. Erozijski lonci v strugi Biča (Podpeška jama)

Fig. 9. Rock mills in the Bič bed (Podpeška jama)

Sediment v vhodnem delu Potiskavške jame in Zelenke, ki jo v tem primeru štejem za drugi vhod Potiskavške jame, je še bolj drobnozrnat kot v Podpeški ali Kompoljski jami ($Md \approx 0,29$ oziroma $0,63$ mm). Pred vhodom v Potiskavško jamo je tudi nekaj večjih apnenčevih prodnikov, slabo zaobljenih in nezglajenih, ki so nastali v vhodnem rovu jame.

Majhen delež karbonatnih zrn v pesku iz Kompoljske in Potiskavške jame z Zelenko, 3–7%, kaže na oddaljen izvor pretežnega dela sedimenta, od onstran Male gore.

Iz navedenih podatkov se lepo vidi, da tako povprečna kot maksimalna velikost sedimenta pada od Podpeške jame proti Potiskavški jami. Ponekod je neposreden vzrok spremembe v granulaciji sprememba hitrosti vodnega toka, vendar je tudi ta v glavnem odvisna od oblike in poteka rova. Ponekod pa sta ta dva parametra na videz neodvisna drug od drugega: v vhodnih rovih Potiskavške jame doseže voda verjetno precej večje hitrosti, kot v vhodnih rovih Kompoljske jame, a nosi prva bolj drobnozrnat, druga pa bolj grob sediment. Tudi sediment, ki ga nanaša Puhavka, je zelo drobnozrnat in obenem zelo dobro sortiran.

K različni granulometriji omenjenih sedimentov lahko prispevajo svoje tudi različni strmci med ponornimi in izvirnimi jamami – na odsekih z večjimi strmci lahko pričakujemo bolj grobi sediment in obratno (tab. 9).

Tabela 9. Navidezni strmci med ponori in izviri

Ponor	Izvir	Zračna razdalja	Višinska razlika	Strmec v ‰
Rašica (Ponikve)	Šica	6,5	130	20,0
Cereja	Podpeška jama	3,8	78	20,5
Sroboški potok	Podpeška jama	3,3	105	32,0
Potok pod D. Retjem	Podpeška jama	3,0	130	43,4
Potok pod G. Retjem	Podpeška jama	3,1	130	42,0
Ločica	Podpeška jama	3,2	130	40,6
Potok	Podpeška jama	3,1	130	42,0
Finkova jama 2	Podpeška jama	3,0	116	38,6
Tentera	Kompoljska jama	4,2	75	17,8
Griška jama	Potiskavška j.	4,7	77	16,4
Vratnica	izvir Peči	0,9	30	33,4

Zračna razdalja = v km, višinska razlika = v m

Glavni rov Podpeške jame je najlepši dokaz za sodelovanje procesov korozije in erozije v izvotljevanju podzemlja v Mali gori: strop je v drobnem močno korozijsko razjeden, po stenah so fasete, v dnu rova pa je erozijsko poglobljena struga potoka v živi skali, z velikimi erozijskimi lonci, v katerih so kremenovi prodniki.

3.8. SPREMEMBE V SEDIMENTIH MED PONORI IN IZVIRI

Erozijsko preoblikovanje jamskih rovov, ki ga opravlja vodni tok predvsem s pomočjo trdega tovara, obenem pa trenje oziroma delovanje posameznih zrn sedimenta drugo ob drugemu, se odraža tudi v spremembi značilnosti sedimenta samega (tab. 10 in 11).

Tabela 10. Petrografska sestava prodnikov (v % števila prodnikov)

Lokacija	Kremen	Peščenjak	Karbonati	Ostalo	Skupaj
Ločica	68,0	26,0	0,7	5,3	100,0
Finkova jama 2	64,0	31,0	0,7	4,3	100,0
Podpeška jama	52,0	11,0	36,0	1,0	100,0

Sprememba se odraža v manjšanju deleža alohtonih prodnikov (kremen in peščenjak), narašča pa delež avtohtone komponente – karbonatni prodniki. Močan padec deleža prodnikov iz peščenjaka lahko pripišemo tudi slabi mehanski odpornosti te kamnine, saj ti prodniki razmeroma hitro razpadajo v pesek.

Tabela 11. Sprememba v zaobljenosti prodnikov med Ločico in Podpeško jamo (v % števila prodnikov)

Stopnja zaobljenosti	Ponor Ločice	Finkova jama 2	Podpeška jama
dobro zaobljeni	2,0	9,7	19,9
zaobljeni	12,0	20,7	29,5
polzaobljeni	44,7	40,7	23,6
suboglati	34,3	25,7	20,2
oglati	7,0	3,2	6,8

Stopnja zaobljenosti je določena po metodi Russel, Taylor, Pettijohn (Schneiderhöhn 1954).

Tabela 12. Zaobljenost proda glede na petrografsko sestavo v Podpeški jami (v % števila prodnikov)

Stopnja zaobljenosti	Kremen	Apnenec	Ca siga	Peščenjak	Boksit	Konglomerat
dobro zaobljeni	27,81	–	21,88	25,81	–	100,00
zaobljeni	38,41	–	53,13	22,58	100,0	–
polzaobljeni	26,49	17,81	21,88	29,03	–	–
suboglati	6,62	57,53	3,13	19,35	–	–
oglati	0,66	24,66	–	3,23	–	–

Stopnja zaobljenosti je določena po metodi Russel, Taylor, Pettijohn

Čim dlje proč od ponora opazujemo sediment, tem večja je stopnja zaobljenosti (tab. 11). Izjema je delež nezaobljenih (oglatih) kosov, kar si lahko razlagamo z večjim deležem avtohtonih kosov (tab. 12).

3.9. HIDROKEMIČNE LASTNOSTI VODA

Poleg jamskih oblik so tudi kemične lastnosti voda dokaz za korodiranje apnenca med ponori na jugozahodni in izviri na severovzhodni strani Male gore. Povprečne trdote voda, temperature, pH in zasičenost za vse glavne ponikalnice in kraške izvire prikazuje tab. 13. Podatki so dobljeni na podlagi lastnih meritev v obdobju 1975–76. Vendar ima ta tabela predvsem informativni in pregledni značaj, ker sem vzorce zajemal v neenakih časovnih presledkih in tudi število meritev ni enotno. Splošna slika, ki nam jo dajejo podatki s te tabele, se dobro ujemajo z navedbami v literaturi (Gams 1967).

Glede na stopnjo mineralizacije so na obravnavanem ozemlju zastopane skupine od neznatno mineraliziranih vod (pod 3°N) do močno mineraliziranih (12–20°N). Neznatno in malenkostno so mineralizirani manjši potoki, ki pritekajo s silikatnih kamnin in takoj po prestopu na karbonatne ponikajo (Potok pod Plano, Predvratnica in Rekarica). Podobni so potoki z malo mineralizirano vodo (Zajčjak, potok pod Finkovim in večja Tržiščica). Srednje mineralizirane vode imajo nekatere ponikalnice, predvsem večje in tiste, ki, preden ponikajo, tečejo še nekaj časa po karbonatnem svetu (Ločica, potoček pod Retjem, Ribnica). Sem pa sodi tudi voda dveh izvirnih jam – Podpeške in Potiskavske. Večje in dlje časa prek karbonatnih kamnin tekoče ponikalnice imajo močno mineralizirane vode (Rašica, Cereja, Bistrica, Beč). Sem pa sodijo tudi ostale izvirsne jame in kraški izviri na severovzhodni strani Male gore (Kompoljska jama, Žovkno, Pri koritu).

V teh lastnostih ponikalnih potokov je najbrž tudi eden izmed vzrokov, da imajo relativno tako majhni vodotoki tako velike jame (Vratnica, Finkova jama 2, Tentera).

Gams (1967, 35–36) je meril trdote ponikalnice Rašice med vasema Rašica in Ponikve in ni zasledil nobenih sprememb trdote, iz česar zaključuje, da reka na robnem apnenecu korozijsko ni več aktivna. Pri meritvah v obrobju Male gore sem večkrat dobil podobne rezultate (tab. 14).

Voda Ločice je bila že pred ponorom zasičena in torej ni bila več sposobna korodiranja. V okoli 1 km oddaljeni Finkovi jami 2 je imela voda malo višjo trdoto, v Podpeški jami pa še malo višjo. Vendar pa je bila voda vsakič tudi že prenasočena. Naraščala je le kalcijeva trdota (za 1,1°N), na njen račun tudi karbonatna in celokupna trdota, absolutno pa se je znižala magnezijeva trdota (za 0,8°N ali 15%). Pri tem moram opozoriti, da se v Podpeški jami steka voda iz najmanj treh ponornih tokov, ki ponikajo ločeno na jugozahodnem vznožju Male gore, z močno različnimi začetnimi trdotami. Obenem je temperatura vode od ponora do Finkove jame 2 padla. Tako je lahko korozijsko delovanje sicer zasičene vode posledica korozije mešanice (Bögli 1964) ali pa »globinska korozija«, kjer naj bi bil glavni dejavnik temperaturna razlika med površjem in kraškim podzemljem (Renault 1970, 99).

Številnejši so primeri, ko trdote voda jasno kažejo na korozijsko delovanje v podzemlju. Za primer navajam serijo meritev trdot potoka Predvratnice, od ponora prek »vodokazne« vrtače do izvira in vmesnega podzemeljskega pritoka. Na poti skozi podzemlje se kaže močna korozijska dejavnost vode, obenem pa presenečajo tudi nizke vrednosti v končnem izviru, v Puških pečinah, čeprav je podzemeljski tok dolg vsaj 1 km (tab. 15). Kljub porastu trdot je nasičenost povsod še zelo majhna. To si lahko razlagamo z nizkimi začetnimi trdotami, pa tudi s prisotnostjo Mg ionov, ki v določenih primerih pospešijo vodotopnost apnenca oziroma zvišajo mejo topnosti CaCO₃ (Renault 1970, 45).

Tabela 13. Kemične lastnosti voda v letih 1975–76 (povpreček, trdote v °N)

Lokacija	Celokupna trdota	Karbonatna trdota	Ca trdota	Mg trdota	°C	pH	Zasičenost v %
Rašica	14,0	13,8	7,2	6,8	8,2	7,6	76
Beč	15,5	15,0	8,8	6,8	12,8	7,3	69
Predvratnica	1,0	0,9	0,5	0,5	7,7	6,9	2
Cereja	14,6	14,2	7,5	7,2	8,2	7,4	66
Retje	10,9	10,6	6,3	4,6	12,3	7,5	52
Ločica	10,0	8,5	5,5	4,9	7,7	7,4	48
Potok	1,8	1,8	0,9	1,0	7,8	6,9	3
Finkovo	7,6	7,4	4,4	3,2	8,9	7,3	33
Tržišča	8,9	8,7	4,7	4,2	6,6	7,4	42
Ribnica	11,8	11,6	7,1	4,7	8,0	7,5	61
Bistrica	14,6	14,3	8,2	6,6	7,5	7,4	65
Zajčjak	7,7	7,5	4,0	3,7	6,8	7,0	20
Puške pečine	7,1	6,9	3,8	3,3	6,6	7,5	27
Podpeška jama	11,4	10,9	7,4	4,0	8,5	7,4	59
Pri koritu	12,2	11,9	6,3	5,9	7,9	7,7	53
Žovkno	12,2	11,6	6,4	5,8	8,3	7,5	54
Kompoljska jama	12,2	11,9	8,9	3,3	8,8	7,4	71
Potiskavška jama	11,6	11,0	10,4	1,2	7,9	7,2	51
Rekarica	3,4	2,5	2,3	1,0	10,8	7,1	34
Skupni povpreček	9,9	9,5	5,8	4,1	8,5	7,3	47

Tabela 14. *Kemične lastnosti vode med Ločico in Podpeško jamo 13. 5. 1976 (trdote v °N)*

Lokacija	Celokupna trdota	Karbonatna trdota	Ca trdota	Mg trdota	°C	pH	Zasičenost v %
Ločica	11,2	11,0	5,9	5,3	13,5	8,4	132
Finkova jama 2	11,5	11,3	6,5	5,0	10,3	8,1	101
Podpeška jama	11,6	11,2	7,0	4,5	8,8	8,1	101

Tabela 15. *Kemične lastnosti vode v sistemu Predvratnice, 15. 2. 1977 (trdote v °N)*

Lokacija

Lokacija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ponor Predvratnice	8,2	4,1	1,3	1,3	0,9	0,4	3,5	0,2	3,3	94	15
ponor Vrbovca	7,4	5,7	0,8	0,8	0,4	0,3	3,5	0,1	3,7	97	3
pritok v Dvorani	7,5	4,4	1,2	1,4	0,6	0,6	4,2	0,1	4,1	98	4
sifon v Vratnici	8,3	4,4	1,7	2,0	1,0	0,7	7,7	0,15	7,5	98	18
Zajčjak (Šumnik)	7,5	6,0	5,7	6,4	3,1	2,6	14,3	0,5	13,8	97	21
Puške peči (izvir)	7,5	6,6	7,1	6,9	3,8	3,3	26,4	0,7	25,7	98	27
Sprememba med ponorom in izviro	-0,7	+2,5	+5,8	+5,6	+2,9	+2,9	+22,9	+0,5	+22,4	+4	+12

1 = pH

2 = T°C

3 = Celokupna trdota

4 = Karbonatna trdota

5 = Ca trdota

6 = Mg trdota

7 = CO₂ v mg/l8 = ekviv. CO₂ v mg/l9 = prebitni CO₂ v mg/l10 = prebitni CO₂ v %

11 = zasičenost v %

3.10. PODZEMELJSKE VODNE ZVEZE

Poznavanje podzemeljskih vodnih zvez često, če že ne v krasoslovju pa vsaj v vodnem gospodarstvu, samo po sebi zadošča. V obravnavanem primeru so današnje podzemeljske vodne zveze le eden izmed pripomočkov za ugotavljanje nekdanjih vodnih zvez in razvoja kraškega podzemlja.

Prebivalce je že od nekdaj zanimalo, kam izginjajo ponikalnice, kje priteka njihova voda zopet na dan. O tem so spletli razne pripovedi, od bajk in legend (G a m s 1955) prek ugibanj do raznih, na dokazih zgrajenih trditev. Kakor so na bližnjem Kočevskem polju ljudje že v prejšnjem stoletju pravilno domnevali, da teče Rinža pod zemljo v Bilpo (M a r t e l 1894, 464), česar strokovnjaki do uspešnega barvanja 1956 niso verjeli (Č a d e ž 1956), pa Dobrepoljci niso pravilno uganili za svoje, razmeroma blizu ležeče številne ponorne in izvorne jame. Morda je ravno ta majhna medsebojna oddaljenost ljudem logično narekovala misel o neposrednih povezavah. V 18. stol. so tukajšnji prebivalci menili, da teče Rašica od ponorov pri vasi Ponikve pod zemljo v Podpeško jamo, od tam pa dalje v Kompoljsko jamo (H a c q u e t 1778–1789, 165–166). Pač pa je ing. H r á s k ý, ki je v drugi polovici prejšnjega stol. izdelal načrte za regulacijo dolenskih kraških polj, že vedel za podzemeljsko zvezo Rašice in izvira Šice na Radenskem polju (K r a u s 1894, 152).

Speleološko-hidrološke preiskave obravnavanega ozemlja so se pričele takoj po ustanovitvi Društva za raziskovanje jam za Kranjsko (1910). Takrat se je dolenska sekcija društva posvetila raziskovanju vodnih jam in globokih brezen v Mali gori. Jamarji so hoteli prodreti do prečnih podzemeljskih tokov proti Krki. S tem bi obenem dokazali obstoj sklenjenih kraških tokov ter dobili dokaz proti G r u n d o v i teoriji o kraški podtalnici (M i c h l e r 1949, 87; K u n a v e r 1913 in 1913 a).

Takrat so poleg speleoloških pričeli uporabljati tudi zgolj hidrološke metode. Po drugi vojni je z obravnavanega ozemlja zabeleženih nekaj pomembnejših akcij (raziskava Griške jame, Brezna pri Tobakovi hruški in odkopavanje Finkove jame 2), pogrešamo pa sistematičnih speleoloških raziskav, še posebej pa strokovnih hidroloških raziskav, povezanih s problematiko podzemeljskih vodnih zvez.

Raziskovalne metode, uporabljane za odkrivanje vodnih zvez v širši okolici Male gore, so bile zelo različne. Zgoraj sem že omenil ljudsko sklepanje, temelječe na golem opazovanju. Čeprav zmotno v detajlih, je bilo pravilno v prepričanju, da vode z Dobropolja tečejo pod zemljo v Krko (Forster 1922, 7).

Drugi dokaz so bila slučajna sledila, s pomočjo katerih so ugotovili zvezo med Tentero in Kompoljsko jamo ter med Ločico (Podplanščico) in Podpeško jamo. V prvem primeru je bil dokaz izpraznitev ribnika pri Ortneku. Ribnik so izpraznili sredi poletne suše, da bi ga očistili. In nekaj ur po tem, ko so spustili vodo iz ribnika, je pričela bruhati Kompoljska jama in preplavila polja v okolici vhoda (Wagen 1914, 120–121). Ko so čistili strugo Ločice pred ponori, je iz Podpeške jame tekla kalna voda (Forster 1922, 16).

V zvezi z načrti za melioracijo kraških polj na Kranjskem so zasnovali tudi obsežen raziskovalni program, v okviru katerega naj bi preučili poplavni mehanizem na kraških poljih. Za ta preiskovanja so bile predvidene tudi moderne raziskovalne metode za ugotavljanje podzemeljskih vodnih zvez – barvanje ponikalnic. Ta metoda je bila na obravnavanem ozemlju tudi uporabljena, kot prvič na Kranjskem, leta 1912. To so bili šele začetki, pojavile so se še številne nejasnosti in tehnične težave, kar v nekaterih primerih zbuja dvome v sicer pozitivne rezultate (Šerk 1946). V omenjenem času so barvali Rašico, Tržiščico in Bič v Podpeški jami. V načrtih so bila predvidena še številna druga barvanja, a je nadaljnje raziskave prekinila vojna.

Med obema vojnoma sta bila ponovna barvana potok Bič (Podpeška jama) in Rašica (Guzelj 1938), na novo pa Cereja in Bistrica (Šerk 1946). Uspelo je le barvanje Rašice.

Za barvanje ponikalnic v letih 1912–1934 so uporabljali uranin, fluorescein in fuksin ter mešanice in kombinacije vseh treh barvil.

V novejšem času so nekateri raziskovalci na obravnavanem ozemlju ugotavljali podzemeljske vodne zveze oziroma zaledje kraških izvirov s pomočjo sedimentov. Tako je za Kompoljsko jamo ugotovljeno, da so njeni sedimenti sestavljeni iz kamnin, ki grade nasprotno pobočje Male gore (Čad ež 1962). Zaledje vode, ki teče skozi Podpeško jamo, je določeno le na podlagi sedimentov (Novak 1973). Sam sem s to metodo ugotovil nekaj vodnih zvez na obravnavanem ozemlju (Ločica – Finkova jama 2 – Podpeška jama).

Z območja Male gore so znane in potrjene sledeče vodne zveze:

1. Rašica iz ponorov pri vasi Ponikve teče v izvir Šice na Radenskem polju in dalje proti izvirov Krke;
2. potok Predvratnica ponika v jamo Vratnico, se pokaže na dan v vrtači Zajčjak kot Šumnik ter končno v izvirov Peči, od koder teče površinsko v Rašico;
3. Ločica (Podplanščica), Potok (pod Plano) in potok pod Finkovim tečejo skozi Finkovo jamo 2 v Podpeško jamo;
4. Tržiščica ponika v Tentero in se pojavi zopet v Kompoljski jami;
5. Rakitnica teče iz ponora Žalna pod Malo goro v Tominčev studenec ob Krki.

Predvidene ali le delno dokazane in ne točno določene podzemeljske vodne zveze:

1. Potok Bič v Podpeški jami prihaja zopet na dan v izvirov Šice na Radenskem polju ali v Šici pri Dvoru na Krki;
2. vode iz Kompoljske, Potiskavške jame in ponorov na Dobropolju tečejo pod zemljo proti Krki;
3. voda iz Griške jame teče v Potiskavško jamo;
4. vode iz ponorov Ribnice in Bistrice tečejo podzemeljsko v Krko.

Razvodnica med porečjema Krke in Kolpe je ob nizkem vodnem stanju precej jasna. S severnega roba Kočevske Velike gore se spusti na niz vzpetin – humov med Ribniškim in Kočevskim poljem, poteka v vzdolžni osi po dnu kočevskega polja preko pliocenskega bazena in dalje prek Kočevske Male gore proti jugovzhodu (K r a n j c 1972).

Ob visokih vodah in poplavah se položaj spremeni in zaplete. Razvodnica med Krko in Kolpo se na obsežnih predelih zabriše in prihaja do raztekanj – »vertikalnih bifurkacij«. Do takih bifurkacij pa prihaja še pogosteje med pritoki istega porečja (R u s 1921, 188). Del Bistrice teče po umetnem kanalu v Tentero in skozi Kompoljsko jamo proti Krki. Ostala voda teče v ponore pri Goriči vasi in iz njih pod zemljo proti Krki. Ob še višjem vodnem stanju pa teče Bistrica dalje površinsko kot Zadnja Rinža z Ribniškega na Kočevsko polje in od tam pod zemljo proti Kolpi. Do podobnih bifurkacij med pritoki Krke in Kolpe prihaja tudi pri Ribnici in Rakitnici. Podobno se dogaja z vodami Rašice, le da tam v okviru istega porečja: podzemeljske vode tečejo iz ponorov pri Ponikvah na Radensko polje, od tam pa spet pod zemljo v izvire Krke, poplavna voda Rašice pa teče površinsko preko Dobrepolja in pod zemljo skozi Suho krajino v izvire ob srednji Krki.

Ob poplavah se razteka voda tudi v podzemlju Male gore. Poplavne vode, ki priteko z Lašč in Slemen, tečejo pod Malo goro na dobrepoljsko stran, kjer pa ne izvirajo le tam, kot običajno, ampak se pojavijo tudi v novih izvirih. Taki izviri – puhavke – so do 1 km oddaljeni od najbližjih izvirnih jam. Da ne gre le za vode, ki se stekajo iz same Male gore, kažejo sedimenti: Puhavka pri Podgori nanaša droben pesek, v katerem je 66 % nekarbonatnih zrn, pretežno kremen, kar priča za izvor z ortneške strani.

Vse kaže, da se takrat, ko vodna gladina v izvirnih jamah na Dobrepolju naraste za 7 m in se voda prične razlivati prek polja, običajno bolj ali manj enotni tokovi skozi Malo goro na izvorni strani pahljačasto razširijo in prično delovati številni novi izviri na robu polja. Dokaz za to sta vhod Potiskavške jame in bližnja Zelenka, pa tudi med Podpeško jamo in Pokritim breznom izvira voda iz številnih razpok v strmeh, skalnatem pobočju v vasi.

4. POVRŠINSKE IN PODZEMELJSKE KRAŠKE OBLIKE

Kot osnovo za to poglavje sem skušal sestaviti geomorfološko-speleološko karto Ribniške Male gore. Pri sestavljanju sem se skušal držati napotkov Mednarodne geografske zveze (D e m e k 1972), čeprav v tem nisem vedno uspel. Predvsem je to bolj pregledna karta, saj ni napravljena na podlagi doslednega geomorfološkega kartiranja v podrobnostih. Na njej so veliko bolj podrobno obdelane kraške oblike in pojavi. Na karti so tudi vsi speleološki objekti, znani iz Male gore, vključno z njihovo klasifikacijo (T r i m m e l & A u d e t a t 1966, 75–125) (risba 5).

4.1. MAKRO-POVRŠINSKE OBLIKE

4.1.1. Vrhovi

Vrhovi nastopajo predvsem v dveh oblikah – kot najvišji deli posameznega hrbta ali pa kot osamljeni vrhovi. Osamljeni vrhovi se navadno dvigujejo neposredno iz uravnanelega sveta ali pa so od drugih ločeni z izrazitejšimi suhimimi dolinami.

K prvemu tipu vrhov sodijo najvišji vrhovi Male gore (Stene Sv. Ane – 964 m, Črni vrh – 955 m). Pogostejši so v jugovzhodnem delu obravnavanega ozemlja, kjer je sleme bolj enotno, manj razčlenjeno in se pobočja enakomerno dvigajo od vznožja do ovršja.

Osamljeni vrhovi so pogostejši na severozahodnem delu Male gore, kjer je relief bolj stopnjast in je delež uravnave v primeri s pobočij precej večji, kot pa na jugovzhodni strani. Tipična primera takih vrhov sta Grmada (887 m) in Kamen vrh (783 m).

Relativna višina vrhov je razmeroma majhna. Za relativno višino obravnavanih vrhov štejem višinsko razliko med neposrednim vznožjem vrha samega ter vrhom in ne med vznožjem Male gore in vrhom. Ne glede na absolutno višino vrhov (566–964 m) so tako-rekoč vsi relativno visoki 20–80 m z izjemo Sten Sv. Ane, ki imajo 130 m relativne višine. To govori za določene izravnalne procese, ki so preoblikovali to ozemlje v preteklosti in ti podatki govore za planotasti značaj slemena Male gore.

4.1.2. Pobočja

Pobočja so po obsegu površja, ki ga zavzemajo, tista geomorfološka oblika, ki prevladuje. Razdelimo jih lahko na dve kategoriji: na poligenetsko-denudacijska, ki predstavljajo okoli 3/4 vseh, in v R i c h t e r j e v a pobočja. Glede na smer, slabo razčlenjenost, enakomeren naklon in potek vzdolž prelomov, bi ta pobočja lahko imenovali kar pobočja ob prelomih, saj niso le tektonsko predisponirana, ampak je tektonika tudi neposredni vzrok njihovega nastanka in obenem glavni preoblikovalni dejavnik.

Poprečni nakloni pobočij, računani s karte 1 : 25 000 (VGI 1975 in VGI 1940) po metodi K u d r n o w s k e (1965 in 1968) (risba 6) imajo enake vrednosti v pasovih, vzporednih s potekom slemenitve Male gore. Naklone sem razdelil v kategorije (S c h o l z 1972, 57–59; K u d r n o w s k a 1972, 56–57), izmed katerih so zastopane od 0°0' – 0°30' do nad 15 – 25°. Kategorije z najmanjšim naklonom so le v okolici in vznožju Male gore, v sami Mali gori pa sta zastopani le kategoriji 5–15° in 15–25°. K prvi kategoriji (svet, ki ji pripada, ima povprečni naklon 10°50') sodi 74%, k drugi (poprečni naklon celote 17°20') pa 26% obravnavanega ozemlja. Pas z največjimi povprečnimi nakloni se ujema s tektonskim severovzhodnim pobočjem.

Realni nakloni poligenetskih pobočij so od 5–32°, tektonskih pa med 18–37°.

4.1.3. Aplanacijske površine

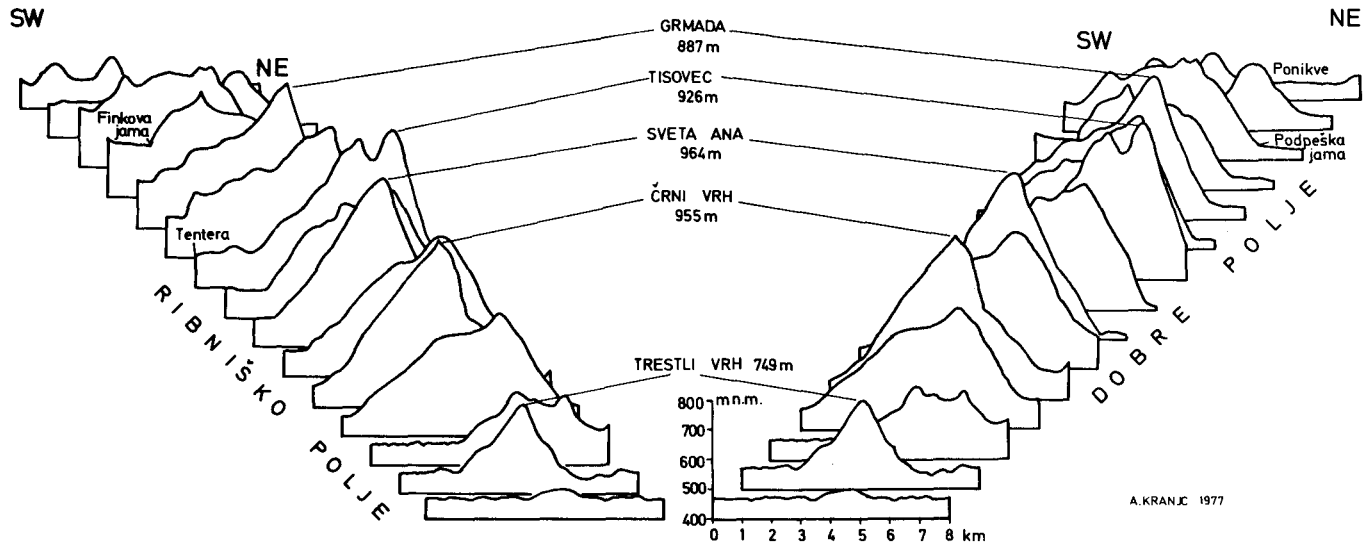
Aplanacijske površine so v sami Mali gori razmeroma nepomembne, medtem ko predstavljajo v okolici prevladujoče oblike. V Mali gori je več uravnjav v severozahodnem delu ozemlja, kjer se sleme stopnjema spušča proti dolini Rašice. Posamezne stopnje predstavljajo v veliki meri v grobem uravnane površine (v drobnem so močno kraško razgibane in razjedene), prehodi med posameznimi stopnjami pa so strma, enotna in izrazita pobočja.

V najnižji stopnji so ena največjih uravnjav Mrzle doline (okoli 550 m n.m.) in Videmski hrib (600 m). Srednjo stopnjo predstavlja uravnava, ki jo imenujem po Kamnem vrhu, v višini 710–720 m n.m. Ostali del Male gore predstavlja najvišjo stopnjo in v njenem sklopu je uravnjav v primeri s pobočji in vrhovi precej manj od onih na spodnjih stopnjah. Tako v naravi kot po karti jih zato težje zasledimo in tudi na modificirani krivulji (S p a r k s 1972, 304) se često ne pokažejo dovolj izrazito (risba 7).

4.1.4. Doline

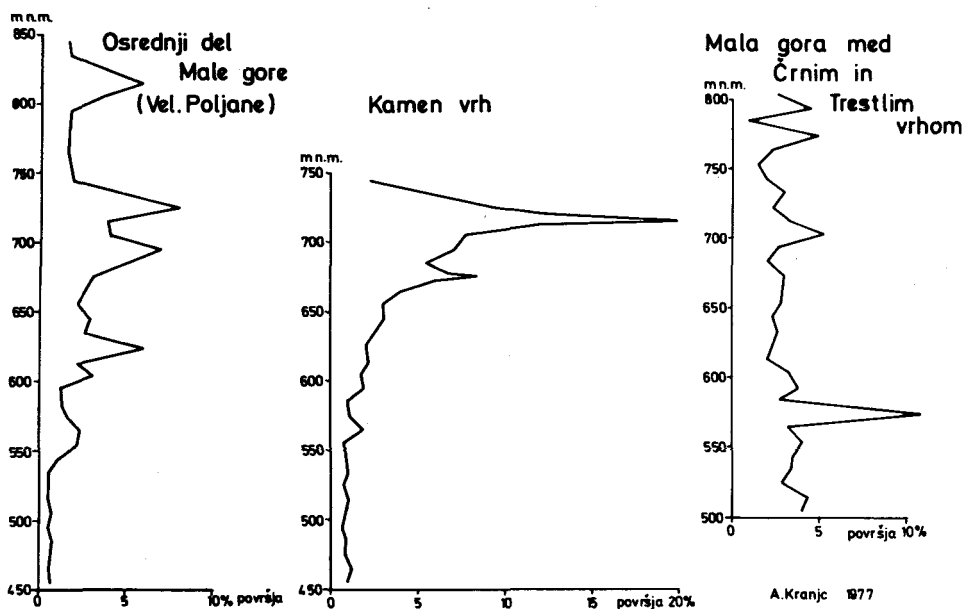
Doline so tiste, ki poleg kraških polj razmejujejo Malo goro od sosednjih ozemelj in jih je zato treba v določeni meri upoštevati, čeprav v sami Mali gori ni niti aktivnih dolin, niti večjih suhih dolin. Pri obravnavi dolin se pojavlja staro vprašanje, kam sodi pobočje, k dolini ali h gori.

Aktivne rečne doline omejujejo Malo goro na severozahodu in jugovzhodu (Rašica in Tržiščica), večje suhe doline pa na jugovzhodu in deloma tudi na severovzhodu.



Risba 6. Vrstni prerezi Male gore

Drawing 6. Cross-sections in line of Mala gora



Risba 7. Modificirane hipsografske krivulje

Drawing 7. Modified hypsographic curves

Glede hidrografske-morfoloških značilnosti je dolina Rašice pod vasio Rašica slepa dolina, ki pa močneje spominja na dolino alogene reke, le da je brez površinskega izliva. Še najboljše bi jo označili kot slepo dolino v nastajanju. Tudi Melik (1955, 18) meni, da je ponikva Rašice zelo mlada, glede na to, da je brez zatropa. Od vasi Rašica, kjer prestopi na karbonatne kamnine, teče reka do ponorov pri Ponikvah po lastnem nanosu. Prodna frakcija tega nanosa je pred ponori že takorekoč v celoti le iz raznih karbonatnih prodnikov – jurskega apnenca, dolomita in sige. Bočno pa je struga često vrezana v karbonatne kamnine. Kjer so stene rečnega korita v živi skali so pogosti manjši ponori. Pobočja nad strugo so vrezana v živo skalo in prekinjena s tremi terasami, prekritimi s pleistocenskim aluvialnim nanosom (Š i f r e r 1976, 300). Prava slepa dolina je le zadnji del aktivne struge pred ponori. Struga je tod vrezana v obširno živoskalno uravnavo do 9 m globoko. Od Ponikev do Dobrepolja se nadaljuje široka suha dolina z dobro vidno strugo občasno tekoče vode.

Od vasi Rašica, kjer prestopi reka na karbonatne kamnine, do ponorov pri Ponikvah, ima 7,2‰ (27 m) padca na odseku, dolgem 3,75 km. Razpoke in majhni ponori v živi skali vzdolž struge, predvsem pa močno vrezovanje v živoskalno dno tik pred ponori pri Ponikvah, govore za danes prevladujoči proces: prestavljanje površinskega toka in podzemlje in s tem krajsanje površinskega toka in spreminjanje današnje aktivne doline v suho. Tudi S a v n i k (1971, 116) posredno nakazuje ta proces, ko pravi, da so mline na Rašici pri Ponikvah opustili, ker je večina ponorov večji del leta suhih in se voda izgublja v podzemlje vedno više od tod.

Dolina Tržiščiće ločuje Malo goro od Slemen na razdalji 6 km. Na tem, ob prelomih v dinarski smeri usmerjenem dolinskem odseku, pada dno za 7,9‰ (48 m). Dolina je močno asimetrična: na nekarbonatnih kamninah so enakomernejša in položnejša pobočja, v po-

bočju Male gore (tu prevladujejo dolomiti) so pobočja strmejša, v višini 620–600 m pa je dobro ohranjena terasa s padcem 10‰. Dolinsko dno je razmeroma široko in po njem meandrirah potok po lastnem nanosu. Le tam, kjer potok zapusti kontakt neprepustnih paleozojskih in prepustnih mezozojskih kamnin in se dolina v celoti zareže v permski peščenjak, dobi značaj grape in mestoma celo debri.

Suha dolina, ki deli Ribniško Malo goro od Kočevske Male gore, je le majhna, kratka dolina oziroma »dolinski zatok« (S i m o n i č 1939, 18), ki povezuje živoskalno teraso Šahen na Kočevskem polju s podobno živoskalno uravnavo na drugi strani Male gore, z Mladico. Ta dolinski zatok ali bolje pretržje v slemenu Male gore ni dolg niti 1 km. Je pa izredno pomemben za ugotavljanje geomorfološkega razvoja obravnavanega ozemlja, saj predstavlja sled površinskega odtoka z Ribniško-kočevskega polja proti starološkemu podolju in dalje proti Suhi krajini. Voda je površinsko vsaj občasno odtekala skozi to pretržje še v pleistocenu (Š i f r e r 1970).

V povirju te suhe doline, od nekdanje vasi Mala gora do začetka na robu Mladice, danes ni vodnih tokov, vendar pa ta dolina še vedno včasih deluje kot aktivna dolina: »A da je enkrat tekel precej velik potok izpod Male gore skozi vas Polom in do pod Hinjski hrib, je gotovo, ker se njegova struga še popolnoma dobro pozna in ker še sedaj o neprestanem, štirinajstdnevem močnem deževju priteče v istomer močna voda. Ta teče čez župnijski vrt in čez Ogrado (v Polomu, opomba A.K.)« (T o m š i č & I v a n c 1887, 76–77).

Ena največjih suhih dolin z obravnavanega ozemlja in okolice je dolina, ki razmejuje Malo goro od Suhe krajine in Roga proti severovzhodu. Razteza se od iznad Vrbovca do Dobrepolja pod Rapljevim. Podolžni prerez današnjega dne te doline je že precej razbit, vendar kaže splošni padec za 13‰ proti Strugam na Dobrepolju. Lokalne poglobitve dolinskega dna kažejo na precejšnjo starost, kakor tudi pomanjkanje sledov same struge. Lokalne, marsikje močne poglobitve kažejo na postopno razpadanje enotne doline in na postopen prehod površinskega toka v podzemlje. Taki poglobitvi sta nad Rapljevim in globel pod Kukovim (primerjaj ime Kukovo = »kukava«; L j u b i č 1940, 230).

Prečni prerezi te suhe doline kažejo značilno dolino v obliki črke »V«. Ravnega dna ni, razen v spodnjem delu, tik pred iztekom v Dobrepolje. Na malogorski strani se kažejo živoskalne terase oziroma njihovi ostanki v različnih višinah.

4.2. MEZO-POVRŠINSKE OBLIKE

K mezo-reliefnim oblikam, na obravnavanem ozemlju so te takorekoč vse kraške oziroma »negativne oblike« (vrtače, suhe doline, zatrepi, fosilne slepe doline), sodijo le manjše površinske oblike.

4.2.1. Vrtača

Vrtača je najpogostejša in najznačilnejša površinska kraška oblika Male gore. Čeprav so vrtače dovolj velike, da pridejo do izraza na karti 1 : 25 000, sem izdelal posebno risbo 8, ki prikazuje gostoto vrtač – število vrtač na 1 km² ozemlja.

Gostota vrtač v Mali gori sami znaša v povprečju 44 vrtač/km², amplituda je od 2–120 vrtač/km². Površje, ki je na triadnih dolomitih, ima manjšo gostoto – v povprečju 24 vrtač/km².

Z vidika obravnave vrtač sem obrobno ozemlje Male gore razdelil na tri področja: uravnave in terase na apnencih, predvsem v okviru Ribniškega polja (Vrtače – primerjaj ime!) in Dobrepolja dolomitne uravnave najnižji deli kraških polj, ki jih prekriva aluvij.

Najmanjša gostota je na dolomitnem svetu – 17 vrtač/km². Malo večja je na delih kraških polj, prekritih z aluvijem – 19 vrtač/km², največja pa na apnenčevih terasah in uravninah, kjer je povpreček 113 vrtač/km², absolutne vrednosti pa dosežejo celo 211 vrtač/km² (Šahen v severozahodnem delu Kočevskega polja). Dokaz, da je tod vrtača res prevladujoča geomorfološka oblika, je ime terase, ki se vleče po severovzhodni strani Ribniško-kočevskega polja: na ribniški strani se imenuje Vrtače, na kočevski strani pa nosi pomensko enako ime – Šahen (Elze 1862, 65 in Melik 1959, 457).

Osnovni faktor, ki vpliva na razporeditev in gostoto vrtač je seveda petrografska zgradba ozemlja: na silikatnih kamninah vrtač ni, na dolomitih jih je malo, na apnencih, prekritih z aluvijem jih je že več, največ pa jih je na samih apnencih – povpreček za celotno obravnavano ozemlje (Mala gora z obrobjem) znaša 71 vrtač/km² (na 131 km²).

Velike razlike v gostoti vrtač so opazne tudi na svetu na apnencih in teh razlik si ni mogoče razlagati na podlagi petrografije. Skrajni jugovzhodni del Male gore je iz enakih krednih apnencev, kakor Šahen v neposrednem vznožju, a je v pobočju Male gore le 17 vrtač/km², v sosednjem kvadratu na ravnem Šahnu pa 58 vrtač/km².

Že Lehmann (1933, 13) povezuje razvoj in gostoto vrtač z naklonom površja, do podobnih rezultatov sem prišel tudi ob preučevanju Kočevskega polja (Kranjc 1972, 159). Primerjava karte gostote vrtač (risba 8) s karto poprečnih naklonov površja, nam soodvisnost teh dveh elementov na prvi pogled potrди. Pasu največjih poprečnih naklonov (15–25°) na severovzhodnem tektonskem pobočju Male gore odgovarja pas z najmanjšimi poprečnimi gostotami vrtač (0–25 vrtač/km²). Področjem z najmanjšim poprečnim naklonom površja (0°30'–5°), upošteval sem le svet na apnencih, odgovarjajo področja z največjo gostoto – nad 150 vrtač/km².

Na podlagi diagrama (risba 9) izračunana regresijska premica in koeficient korelacije kažeta na močno ($k=0,7638$) soodvisnost med naklonom površja in gostoto vrtač. Za primer navajam vrednosti tega koeficienta tudi za druge vrste ozemlja, ne le na apnencih:

površje na apnencu	= - 0,7638
površje na apnencu, deloma prekritem z aluvijem	= - 0,3209
površje na dolomitu	= - 0,2236

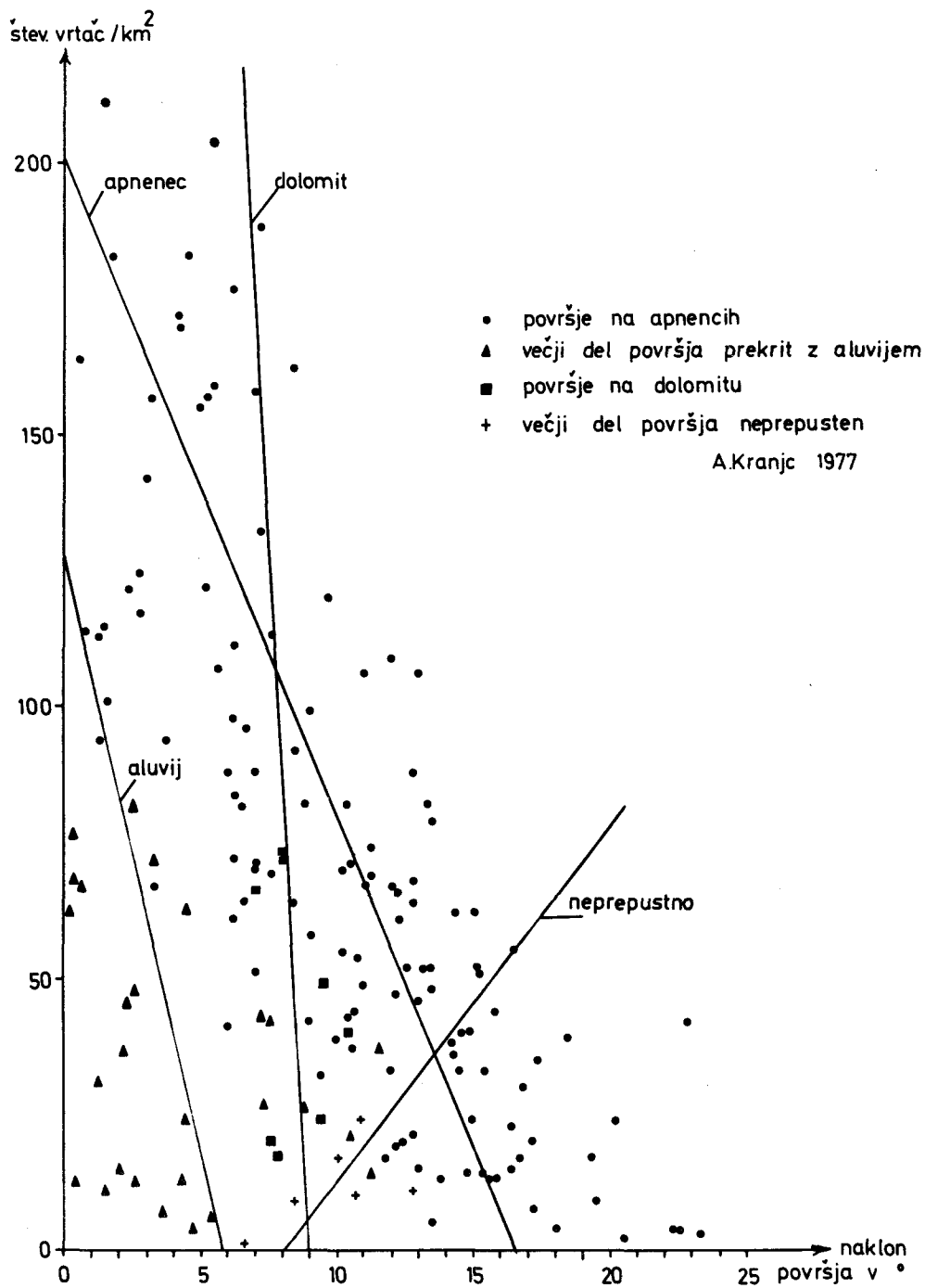
(koeficient prek - 0,75 pomeni dobro, prek - 0,50 pa le še sprejemljivo koleracijo).

4.2.2. Suhe doline

Večje suhe doline sem obravnaval že zgoraj in so le na obrobnem ozemlju Male gore oziroma jo ločujejo od sosednjih pokrajinskih enot. Sem sodijo le manjše suhe doline, grape in žlebovi. Takih oblik je precej, čeprav sta sicer njihov izvor in medsebojni odnosi včasih precej dvomljivi. V isto skupino sem jih dal predvsem zaradi podobnih oblik in njihovega skupnega pomena.

Če so vse te oblike res prave suhe doline, kar pomeni, da jih je v preteklosti izoblikoval površinski vodni tok, je v mnogih primerih težko reči, ne da bi vsako obliko posebej predhodno preučili. Lahko namreč gre za oblike z ravnim dnom, a tako visoko v ovršju Male gore, da je taka suha dolina le še torzo, ostanek suhe doline, če je kdaj sploh res tam obstajala. Nekatere oblike pa imajo tako strmo in neenakomerno dno, da je prav tako težko reči, ali gre res za pravo suho dolino.

Razločnejše oblikovane suhe doline so predvsem na spodnjih dveh stopnjah v severozahodnem koncu Male gore, kjer predstavljajo relativno mlajše oblike, kar je gotovo pripomoglo k boljši ohranitvi (risba 10).



Risba 9. Odnos med poprečnim naklonom površja in številom vrtač

Drawing 9. Relations between density of dolines and slope angle

4.2.3. Zatrepi in slepe doline

Zatrepi in slepe doline so tako po obliki kot tudi po izvoru podobni suhim dolinam. O recentnih, aktivnih, takih površinskih oblikah sem govoril v poglavju o hidrografiji in tu obravnavam le fosilne, neaktivne oblike. Z določanjem teh oblik so podobne težave, kot pri suhih dolinah: čim starejše so, to je, čim dlje časa so že brez svoje aktivne hidrografske funkcije oziroma čim dlje so oddaljene od današnjih vodnih tokov, tem bolj so jih že preoblikovali drugi eksogeni procesi in zato danes tem težje prepoznamo njihovo prvotno obliko oziroma funkcijo. Za razločevanje fosilnih zatrepnih dolin od fosilnih slepih dolin je često še najprimernejša kraška votlina, v kolikor je ohranjena – na obravnavanem ozemlju je namreč razmeroma lahko ugotoviti, ali je neka jama nekdanja ponorna ali pa izvorna votlina.

Glede na današnjo smer vodnega odtoka in glede na predvidevanja o razvoju Male gore lahko štejemo večino ali celo vse izmed takih oblik, ki so na jugozahodni strani Male gore, za fosilne slepe doline. Oblike na severovzhodni – dobrepoljski strani pa lahko štejemo za fosilne zatrepe. Vendar je to le sklepanje, ki ni vedno potrjeno tudi z dokazi na terenu.

V bližini, neposrednem zaledju oziroma nad današnjimi aktivnimi ponori in izviri so često fosilne oblike, zatrepi in slepe doline, katerih nekdanjo funkcijo lahko določimo šele v primerjavi z današnjimi aktivnimi oblikami. Tipičen primer sta fosilni zatrep nad Podpeško jamo in fosilna slepa dolina nad zatokom, v katerega dnu danes ponika Tržiščica v Tentero in Griško jamo. Često je tudi dobro opazna povezava med fosilno slepo dolino in suho, neaktivno votlino, kakršen je primer manjše slepe doline na robu laške dolomitne uravnave in takoj za njo oziroma nad njo ležeče jame Bukovščice.

Kraške površinske mezo-oblike so torej predvsem pomembne kot pokazatelji današnjih in preteklih geomorfoloških procesov. Na podlagi njihovega preučevanja lahko sklepamo tudi na intenzivnost teh procesov, obenem pa nam pomagajo pri rekonstruiranju razvoja ozemlja. Veliko manj so te oblike same po sebi pomembne v fiziognomiji pokrajine, saj na splošno, izjema so vrtače, ne dajejo pečata pokrajini. Posebno vprašanje je, kako te oblike vplivajo na izrabo tal oziroma na človekovo gospodarstvo sploh. Čeprav to ne sodi v okvir mojih preučevanj naj opozorim, da obstajajo velike razlike v poseljenosti in izrabi tal med terasami na dolomitu nad Ortnekom (Velike Poljane – primerjaj ime!) in istimi terasami v apnencu. Še večje so razlike med zahodnimi pobočji spodnjega dela doline Tržiščice, ki so iz neprepustnih kamnin in med vzhodno ležečimi, na kraškem svetu.

Vendar pa je treba po drugi strani poudariti, da so na severozahodnem delu Male gore ravno suhe doline tiste, ki dajejo pokrajini značilen videz, stene slepe doline pod Finkovim so vidne že od daleč in dajejo pobočju prepadni videz.

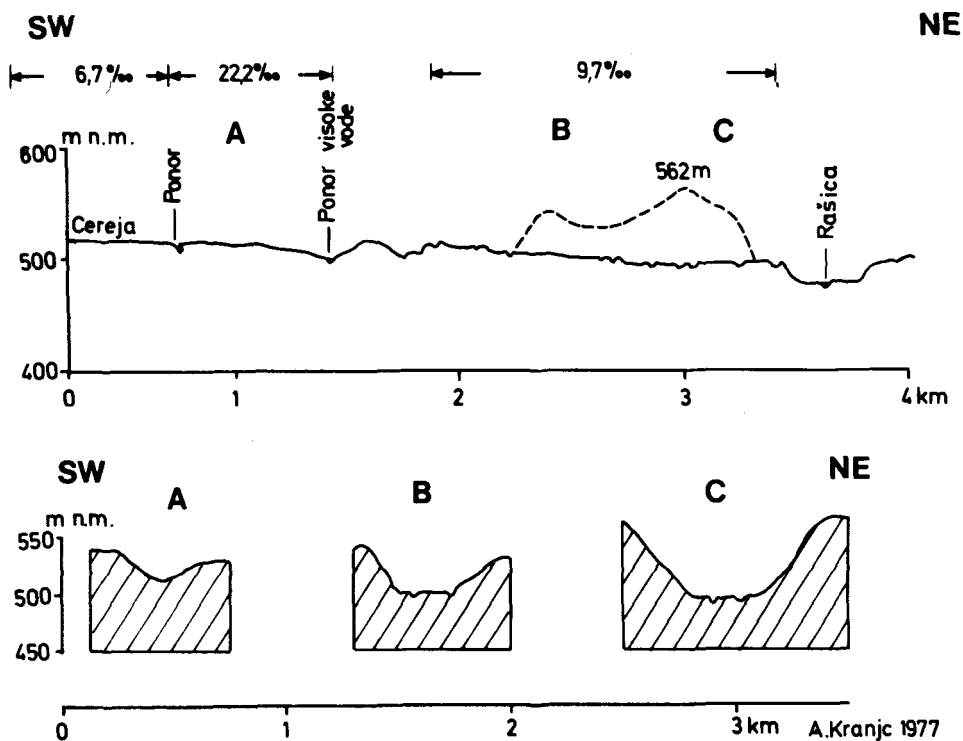
4.3. KRAŠKE VOTLINE

V obsegu tega dela je vsega skupaj upoštevanih 109 kraških votlin. Od tega jih je 80 (73 %) v sami Mali gori, ostalih 29 (27 %) pa je v njenem neposrednem sosledstvu, ki ga je tudi v tem primeru potrebno v določeni meri upoštevati.

4.3.1. Pregled kraških votlin

Čeprav so določeni tipi votlin že posebej obdelani v ustreznih poglavjih, še enkrat navajam celoten pregled votlin v Ribniški Mali gori (tab. 16).

Že na prvi pogled je opazna absolutna prevlada suhih (v hidrološko-funkcionalnem pogledu neaktivnih, fosilnih) votlin nad vodnimi (aktivnimi), saj je razmerje v procentih 91 : 9. Od breznen so zastopana samo suha brezna in ta predstavljajo prek polovico vseh votlin.



Risba 10. Suha dolina Cereje

Drawing 10. Cereja's dry valley

V skupini suhih votlin pa je delež brezen 58 %. Če pa upoštevamo votline glede velikosti, upoštevamo torej dolžino rovov, se zgornje razmerje precej spremeni. Še vedno sicer močno prevladujejo fosilni (suhi) rovi (71 %) nad aktivnimi (29 %), vendar niso več na prvem mestu suha brezna, ampak suhe jame. To pomeni, da med speleološkimi oblikami v Mali gori prevladujejo suhi, bolj ali manj vodoravno usmerjeni jamski rovi.

Tabela 16. Pregled votlin v Mali gori

Tip votline	Število	%	m rovov	%
jama – izvir	5	6,3	581	15,1
jama – ponor	1	1,3	500	13,0
Jama s tokom v notranjosti (vhod neaktiven)	1	1,3	35	0,9
Suha jama	31	38,6	1.718	44,6
Suho brezno	42	52,5	1.015	26,4
Skupaj	80	100,0	3.849	100,0

Tabela 17. Pregled votlin v neposrednem obrobju Male gore

Tip votline	Število	%	m rovov	%
Jama – ponor	8	27,5	1.355	51,3
Brezno – ponor	3	10,4	41	1,5
Jama s tokom v notranjosti (vhod neaktiven)	1	3,4	589	22,3
Suha jama	11	37,9	566	21,5
Suho brezno	6	20,8	90	3,4
Skupaj	29	100,0	2.621	100,0

V ilustracijo navajam tudi podatke za votline v obrobju Male gore (tab. 17). Vse te votline so na kraških uravninah, bodisi na živoskalni terasi Ribniškega polja ali Dobrepolja, bodisi v uravnavi okoli Ponikev ali pa na dolomitni uravnavi laške pokrajine. Slika je močno različna od tiste, ki nam jo kaže tabela 16. Razmerje med neaktivnimi in aktivnimi votlinami je le še 59 :41 %. Absolutno prevladujejo suhe jame (38 %) in ne več brezna. Če upoštevamo le suhe votline, vidimo, da je jam 65 %, brezen pa le 35 %. Z upoštevanjem dolžine rovov, se slika še bolj spremeni: aktivni vodni rovi absolutno prevladujejo (75 %), delež suhih vodoravnih rovov je 25 %, delež rovov, ki jih obsegajo suha brezna pa je le še 3 %.

Če primerjamo jamske rove same (horizontalni in vertikalni rovi v ožjem smislu in jamske dvorane so osnovni elementi kraških votlin; R e n a u l t 1970, 63–65), vidimo, da v obeh primerih prevladujejo vodoravni odseki nad navpičnimi. Vendar delež vodoravnih rovov z večanjem nadmorske višine oziroma starostjo votlin pada. V obrobju Male gore, kjer je 41 % aktivnih votlin, je med rovi 95 % vodoravnih, v sami Mali gori pa, kjer je delež aktivnih votlin 9 %, je 74 % vodoravnih rovov. Poleg površinskih morfoloških oblik je ravno ta kriterij tudi zelo pomemben za ugotavljanje razvoja zakrasevanja.

Že sam delež vodoravnih rovov kaže, da je ta oblika najpomembnejša pri preučevanju razvoja, po drugi strani pa že sama funkcija brezen zmanjšuje njihov pomen kot pokazateljev pri ugotavljanju podzemeljskega zakrasevanja. Funkcija večine brezen je namreč vertikalno pretakanje lokalne vode, ki z ozemlja v neposredni okolici brezna prodira v vertikalni smeri proti horizontalnim podzemskim tokovom globlje v notranjosti kraškega masiva. Brezna so le vezni člen med površjem in horizontalno podzemeljsko vodno cirkulacijo. V večini primerov so plitve podpovršinske oblike in pripadajo absorpcijski kraški zoni (R e n a u l t 1976, 197). Čeprav nastajajo brezna tudi globlje v notranjosti kraške mase (M a u c c i 1951–52; P o h l 1955), človeku niso dostopna, dokler se ne odpro na površje in jih prej torej ni mogoče upoštevati.

Za pretočni (H a b i č 1969) oziroma kontaktni (G a m s 1973, 17) kras je značilna predvsem horizontalna vodna cirkulacija in se zato malo dlje mudim pri obravnavi vodoravnih jamskih rovov v Mali gori.

4.3.2. Višinska razporeditev jamskih rovov

Enaintrideset suhih jam v Mali gori skupaj obsega 1.718 m rovov. Diagram višinske razporeditve teh rovov v primerjavi z višinsko razporeditvijo vodnih rovov kaže presenetljivo podobnost, seveda z višinsko razmaknjenostjo in razlikami v vrednostih. Današnje vodne jame so razvite v štirih višinskih pasovih, ki so med seboj ločeni z vrzeli brez jamskih rovov. Poleg tistih nivojev s suhimi jamami, ki bi odgovarjali današnjim vodnim jamam, le da so v večji nadmorski višini (starejša stopnja v razvoju), so še više v Mali gori ohranjeni suhi jamski rovi v več nivojih, ki jih ni mogoče vzporejati z današnjimi vodnimi jamami. Ti rovi so v višinah 590–610, 630–640, 650–660 in 680–690 m n.m.

Iz tega bi lahko zaključili, da so tisti štirje nivoji suhih jamskih rogov, ki jih lahko primerjamo z današnjimi vodnimi rovi, neposredna predhodna stopnja v razvoju podzemeljskega odtoka skozi Malo goro. Bili naj bi iz časa, ko so bile razmere močno podobne današnjim: ista smer odtoka, ista splošna razmestitev jam in podzemeljskih tokov, le da je bil nivo teh tokov 30–40 m više od današnjih. Taki situaciji je moralo ustrezati tudi relativno višje površje v okolici Male gore, vsaj na ponorni, če že ne tudi na izvorni strani.

Tudi iz primerjave med uravnanimi površinami v sklopu Male gore in nivoji jamskih rogov je mogoče napraviti določene pozitivne zaključke. Tako je npr. najvišja in razmera obsežna uravnava v višini nekaj nad 700 m, nekaj pod 700 m n.m. pa je ohranjen prvi, najvišji nivo suhih jamskih rogov.

4.3.3. Strmci jamskih rogov

Za preizkus odvisnosti oziroma nekdanje povezanosti med današnjimi suhimi jamami na ribniški z onimi na dobrepoljski strani, lahko pregledamo tudi navidezne strmce današnjih in nekdanjih, domnevnih, podzemeljskih tokov. V kolikor se namreč izkaže, da so suhi jamski rovi nad današnjimi ponornimi jamami nekdanje ponorne jame, nad izvirnimi jamami pa nekdanje izvorne jame, potem bi morali biti tudi navidezni strmci med njimi približno enaki današnjim oziroma vsaj drug do drugega v določenih podobnih odnosih.

Današnji podzemeljski tokovi, ki odtekajo pod Malo goro, imajo poprečni navidezni strmec 31,3 ‰, najmanjši je med Griško in Potiskavško jamo (16,4 ‰), največji pa med potočkom pod Doljnimi Retjami in Podpeško jamo (43,4 ‰).

Med suhimi jamami – domnevnimi nekdanjimi ponori in ustreznimi izviri – je poprečni strmec 30 ‰. Najmanjši strmec je med Taboriščem in Želkočo jamo (5,7 ‰), največji pa med Žiglovico in Podtaborsko jamo (51 ‰). In ravno za ta dva ekstrema je po drugi strani najmanj dokazov za to, da bi bile našete jame nekdanj med seboj povezane ponorne in izvorne jame. Seveda obstajajo tudi alternativne rešitve (tab. 18).

Tabela 18. Navidezni strmci med suhimi jamami na ribniški in dobrepoljski strani Male gore (v ‰)

Ribniška stran	Dobrepoljska stran	Zračna razdalja v km	Višinska razlika v m	Navidezni strmec v ‰
Bukovščica	Jama pod krajem	2,7	25	9,3
Pri jamicah II	Kraljček	2,9	42	14,5
Pri jamicah III	Jama pod krajem	3,0	75	25,0
Biserka	Tatrc	3,1	132	42,5
Petkov skedenj	Tatrc	3,2	122	38,0
Živinska jama	Tatrc	3,5	97	28,0
Praznična jama	Gozdarjev dom	2,9	130	45,0
Žiglovica	Želkoča jama	2,0	81	40,5
Žiglovica	Kavčja jama	2,2	106	48,0
Žiglovica	Podtaborska jama	2,3	118	51,0
Francetova jama	Želkoča jama	2,8	88	31,5
Francetova jama	Kavčja jama	2,8	113	40,5
Francetova jama	Podtaborska jama	2,9	125	43,0
Taborišče	Želkoča jama	3,5	20	5,7
Taborišče	Kavčja jama	3,5	45	18,0
Taborišče	Podtaborska jama	3,6	57	15,8
Mivčja jama	Podtaborska jama	3,6	57	15,8
Polhova jama	Knežja jama	1,3	34	26,0

Seveda pa višinska razporeditev suhih jam in predvideni strmci med njimi še niso dokaz za nekdanjo funkcionalno povezanost. Pač pa je to lahko eden izmed členov v verigi spoznanj. Z navedenimi podatki je najbolj primerjati rezultate, dobljene na podlagi jamske morfologije. Kajti prav iz jamske morfologije je često mogoče ugotoviti nekdanjo hidrološko funkcijo danes suhe jame.

4.3.4. Oblikovanost jamskih rogov (speleomorfologija)

Pri takšnem preučevanju jamske morfologije, katerega cilj je ugotavljanje nekdanje hidrološke funkcije, sta najpomembnejša oblika jame in njena velikost (v praksi se v tem primeru omejimo na tloris, vzdolžni in prečne prereze), obenem pa tudi drobna oblikovanost jamskih sten, stropa in tal. Oblikovanost in usmerjenost »osnovnih speleoloških elementov« (rov, brezno in dvorana) kažejo predvsem na odnos med strukturo ozemlja in vodnim tokom. Oblike jamskih sten in stropa, često tudi tal, pa kažejo na procese, ki so jih oblikovali oziroma preoblikovali.

Pri preučevanju votline kot celote moramo predvsem upoštevati razvoj površja v odnosu do votline in velikost oziroma dostopnost jamskih rogov za človeka. S tem, da je danes votlina odprta na površje in da je njen strop le tanka plast kamnin, nikakor ni rečeno, da je jama tudi nastala v takih pogojih.

Dostopnost oziroma odprtost votline je eden izmed bistvenih faktorjev, čeprav je izrazito subjektiven. Tako je bila Griška jama ob odkritju le majhna suha (fosilna) jama. Šele ko je raziskovalcem uspelo prodreti mimo sigove kope, ki je skoraj v celoti zapirala rov, so spoznali, da je jama splet kanalov, ki vodijo proti robu terase Vrtače in se skozi nje pretaka ponorna voda Bistrice.

Ena izmed prvih nalog pri preučevanju jamskega tlorisa je ugotavljanje cone, v kateri je jama nastala (v pobočni ali v globoki coni) (Renault 1970, 87–88). Na podlagi tlorisa, lege in položaja jamskih rogov lahko sklepamo le za štiri jame z obravnavanega območja, da so nekdanji ponori, nastali v pobočni oziroma zbirni (absorpcijski) coni. To sta Koblarska in Polhova jama v jugovzhodnem delu Male gore in Konjščica ter Kostna jama tik za robom laške dolomitne uravnave.

V Kevdercu pri Vančevi jami in v Vančevi jami sami, ki ležita v pobočju Male gore nad prehodom z Ribniškega na Kočevsko polje, imajo nekateri deli rogov ohranjene značilne oblike prečnih prerezov: okrogel, v celoti v živi skali ohranjen »eforacijski« profil in pravi obok. V obeh jamah so po stenah ohranjene fasete, ki kažejo nekdanjo smer vodnega toka – proti notranjosti jame in Male gore. Tudi »prodniki« iz kalcificirane gline, nalepljeni na jamske stene govore v prid vodnemu toku.

Ni pa nobenega dokaza za to, da bi voda ponikala v ti dve jami skozi današnja vhoda. Pač pa je gotovo, da je jami izoblikoval horizontalno usmerjen vodni tok, usmerjen proti severovzhodu. Iz tega sledi, da so ti rovi delo nekdanjega podzemljskega toka, ki je z ribniške strani Male gore tekkel v višini okoli 560 m proti Suhi krajini.

V Lubeževi jami, ki je danes precej oddaljena od ponorov, čeprav leži razmeroma nizko – 490 m n.m. – so oblike, ki kažejo na to, da so nastale v zaliti coni kot paragenetski rov. Stropni kanal po vsej dolžini jame govori za to, da je bila jama nekoč skoraj v celoti zasuta s sedimentom, ki ga je odnesel hitrejši tok v zadnji fazi razvoja – dokaz je ohranjen prod. Gre torej za nekdanjo ponorno jamo v širšem smislu, skozi katero so odtekale poplavne vode z Ribniškega polja. V spodnjih delih te jame se ob poplavih na polju še vedno pojavi voda, kar kaže, da ima jama zvezo s podzemljskimi kanali, ki odvajajo poplavno vodo pod teraso Vrtače.

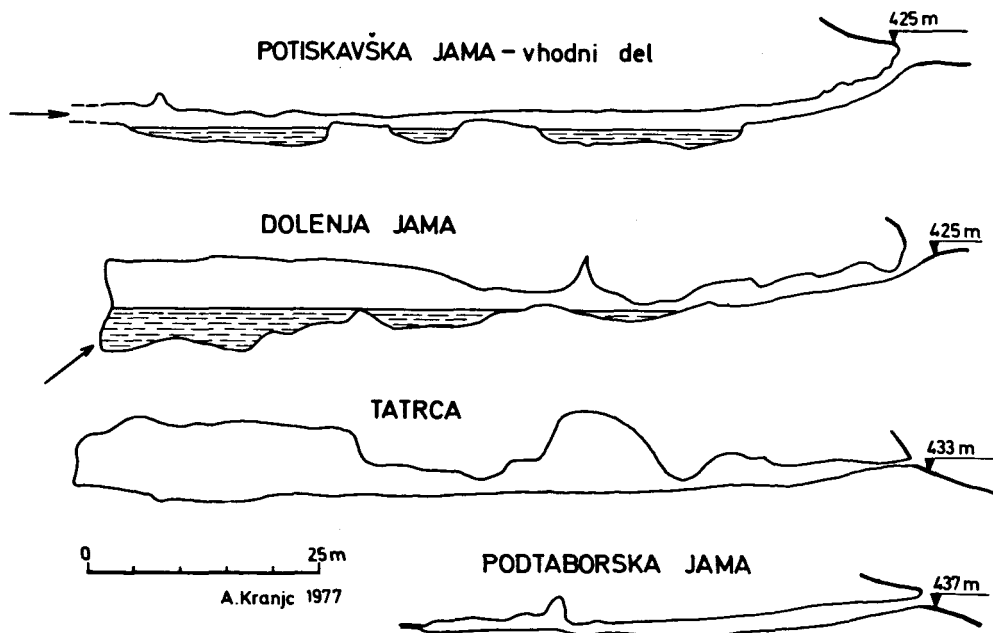
Iz ostalih suhih jam na ribniški strani, ki bi po legi odgovarjale nekdanjim ponorom, nisem uspel dobiti nobenih posebnih morfoloških dokazov za trditve, da so res fosilne ponorne jame. Domneva o vzrokih njihovega nastanka sloni na legi – tako glede smeri odtoka,

kot glede na nadmorsko višino – in na splošni predpostavki, da je večina vodoravnih jamskih rogov rezultat horizontalnih podzemeljskih tokov.

Današnji preoblikovalni procesi v suhih jamah – predvsem rušenje – in procesi, ki so preoblikovali jamske rove po izsušitvi – podiranje in zasigavanje – so v toliki meri preoblikovali prvotne oblike v živi skali oziroma jih zakrili, da iz jamske morfologije ni mogoče sklepati na njihov nastanek in njihovo nekdanjo funkcijo. Večina obravnavanih suhih jam ima sekundarne vhode udornega nastanka in lahko rečem, da predstavljajo notranje odseke jam, bolj ali manj oddaljene od prvotnega vhoda – ponora.

Drugo skupino predstavlja nekaj suhih jam, ki kažejo izrazitejše poteze enotnih pretočnih rogov. Zanje lahko domnevam, da so odseki nekdanjih pretočnih rogov globoke (notranje) cone v mehanskem smislu, skozi katere se je pretakala voda pod Malo goro in niso genetsko neposredno vezane ne na nekdanje ponore in ne na izvire. Te jame so postale dostopne za človeka predvsem zaradi razvoja pobočij kraških depresij – dobrepoljske in ribniške. Rovi so namreč »prerezani« s pobočjem. Tak rov je tudi 150 m dolg, premočrten odsek Črne jame. Rov je zelo velikega preseka, dno grade jamski sedimenti, ponekod vsaj do 5 m debeli. Jama ne kaže nobenih prilagoditev površju, niti ni na površju nad jamo oblik, ki bi kazale na velike prostore pod zemljo.

Suhe jame na dobrepoljski strani v glavnem prištevam k fosilnim izvirmim jamam, predvsem zaradi njihove lega. Značilna je zgostitev več takih jam na posameznih mestih oziroma nad današnjimi, aktivnimi, izvirmimi jamami. Močan argument pri presoji njihove nekdanje funkcije je oblikovanost rova, predvsem vzdolžni prerez (risba 11).



Risba 11. Primeri prerezov aktivnih in fosilnih izvirmih jam

Drawing 11. Sections of active and fossil spring-caves

Potiskavška jama, Zelenka in Tatra so primeri prilagoditve vzdolžnega jamskega profila navzgor (Renault 1970, 86). Taka prilagoditev kaže na to, da se glavni podzemeljski kanal hitreje ali vsaj enako hitro poglablja kot površinska dolina. Kanali, ki so in ki še danes odvajajo vodo z ribniško-ortneške strani proti Suhi krajini, se na severovzhodni strani Male gore močno približajo površju, vstopijo v prepokano, mehansko šibko pobočno cono. Nizke vode lahko odteka pod Dobropoljem proti vzhodu, ob poplavah pa je požiralnost teh kanalov premajhna, voda zastaja, piezometer raste in prihaja do močnih pritiskov. To se je dogajalo tudi v preteklosti in ob takih prilikah je voda pronicala skozi odprte razpoke proti površju, jih širila in izdelala prelivne kanale, ki odvajajo poplavne vode na površje.

Take fosilne izvorne jame na dobrepoljski strani bi bile Podtaborska jama, Tatra in Gozdarjev dom. V Podtaborski jami tudi fasete po stenah rova kažejo na smer nekdanjega vodnega toka proti današnjemu vhodu.

Veliko razliko med številom fosilnih izvornih in fosilnih ponornih jam, ponornih je okoli petkrat več od izvornih, si lahko razlagamo po analogiji z današnjim stanjem in s teoretičnimi predpostavkami o razvoju in organiziranju vodnega pretoka v kraškem masivu. Tudi danes se vode z ortneško-ribniške strani izgublajo v podzemlje v številnih ponornih jamah in ponorih (tudi ena sama jama, npr. Tentera, ima lahko celo vrsto ločenih ponorov), na dobrepoljski strani pa je le nekaj izvornih jam.

Tako stanje odgovarja tudi teoretičnim vidikom: na izvorni strani kraške gmote se podzemeljski tok prej zbere v enoten kanal oziroma v en večji izvir, na ponorni strani pa dlje časa vztraja difuzna mreža ponorov in ponornih jam, ki zbirajo in odvajajo vodo proti enotnemu kanalu oziroma izviru. Po drugi strani je izvorni kanal dlje časa v stalno zaliti coni, mreža ponornih kanalov in stranskih dotokov pa hitreje preide v fazo prostega toka. Difuzna mreža ponorov in ponornih kanalov je še posebej značilna za obrobni svet na neprepustnih kamninah, kar je tudi primer ponorne strani Male gore (Renault 1970, 91-92).

Primerjava med razporeditvijo suhih jam in površinskih morfoloških oblik nam kaže, da je velika večina suhih jam v sklopu ali vsaj v neposredni bližini in obrobju kraških depresijskih oblik, predvsem fosilnih slepih dolin, zatrepnih dolin, suhih dolin in pobočnih uravnjav. Neposrednih in jasnih povezav (npr. jama na koncu slepe doline) je sicer malo (Finkova jama 1), predvsem zaradi razlik v »generaciji« in pa zaradi različno intenzivnega razvoja pobočij. Naj za primer vzamem spet slepo dolino pod Finkovim – tik za njenim zgornjim robom je vhod v suho jamo (Finkova jama 3), nekdanji odvodni kanal vode, ki je ponikala v slepi dolini. Vendar te jame ne smemo vzporejati z današnjim dolinskim dnom, ki ga je potok od časa, ko je prenehal teči skozi omenjeno jamo, močno poglobil, jama pa se je »fosilizirala« in je danes visoko nad dnom doline, ki se še vedno razvija.

Podoben primer je jama Bukovščica in fosilna slepa dolina v njeni bližini. Ko se je vodni tok, ki je ponikal v tej slepi dolini, prestavil, je voda prenehala oblikovati oziroma poglabljati dolinsko dno samo kot tudi ponorno jamo za njo. Procesi razvoja pobočja so povzročali rušenje sten slepe doline in manjšali naklon pobočij. Danes je zaključek te slepe doline le nekaj metrov visoka stena, ostala dolina pa je na široko prekrita s pobočnim gručem. S tem, da se je rušil strop ponorne jame, se je toliko stanjšal, da se je na dveh mestih vdrl in sta nastali brezni – današnja navpična vhoda v Bukovščico, okoli 100 m za zaključkom fosilne slepe doline.

4.3.5. Sedimenti v suhih jamah

V večini izmed preiskovanih suhih jam prevladujejo sedimenti, ki so rezultat kasnejših razvojnih faz, ko je ustrezna jama izgubila svojo prvotno hidrološko funkcijo. Sedimente oziroma sedimentacijska okolja v podzemlju lahko ločimo v tri nadstropja: zgornje nadstropje – zasigavanje, srednje nadstropje – zapolnjevanje z ilovico in glino, spodnje nad-

stropje – aluvialni transport in sediment (Renault 1967–69, 5). To velja tudi za Malo goro: med najvišje ležečimi vodoravnimi suhimi jamami so najbolj zasigane (Vačnega jama, Pri Jamicah II), suhe jame, ki leže relativno tik nad današnjimi aktivnimi vodnimi jamami, so često z največjimi zapolnitvami gline in ilovice (Tatrc), v aktivnih jamah Male gore pa prevladujeta prod in pesek. V kolikor v jamah srednjega in zgornjega nadstropja obstajajo ostanki aluvialnih sedimentov iz aktivne razvojne faze, so v glavnem prekriti s sedimenti srednjega in zgornjega nadstropja. Vendar tudi vsako kopanje v sedimente ne prinese vedno želenih rezultatov. Primer je sonda pred Živinsko jamo, ki jo je dal v zvezi z arheološkimi raziskavami izkopati M. Brodar (Inštitut za arheologijo SAZU), globoka okoli 1 m. Od površja do globine 75 cm je močno preperel grušč (verjetno würmski), pod njim pa rumenorjava ilovica, za katero zaenkrat ni mogoče reči, kako je prišla v jamo.

Kot posebno zanimivost iz suhих jam naj ponovno spomnim na glinaste kalcificirane prodnike iz Vančeve jame in na pravi prod iz Lubeževe jame.

4.3.6. Poizkus kronologije podzemlskega zakrasevanja

V skladu z dognanji o razvoju površja, še posebej na krasu, v teku hladnih pleistocenskih obdobij, lahko sklepamo, da so ostanki zapolnitev ponornih jam (Griška jama, Predvratnica) iz časa würmskih mrzlih sunkov. Za obravnavano ozemlje (420–950 m današnje nadmorske višine) lahko domnevamo v najbolj mrzlih obdobjih pleistocena periglacialne ali vsaj njim zelo podobne klimatske pogoje, predvsem v višjih delih ozemlja. V periglacialnem pasu lahko krioklastični procesi, predvsem v zvezi z odtokom z večjih zbirnih območij, zapolnijo s sedimenti večje dele jam in seveda tudi ponore.

Da se je to zgodilo tudi v Griški jami in Predvratnici, dokazujejo ostanki sedimentov, nalepljenih na stropu oziroma visoko nad današnjim dnom ponornih rovov. Dokaz o zamašitvi ponorne jame Pri koritu (Finkova jama 2) je obširen zasip slepe doline pod Finkovim, na koncu katere je vhod v omenjeno jamo. Gradivo, ki sestavlja ta zasip, je iz hladnega obdobja, sodeč po granulometrični sestavi. Ta zasip je prvotno prekrival tudi vhod v današjo ponorno jamo Pri koritu, segal je skoraj 10 m visoko nad vhod. Kasneje je potok vrezal v ta zasip strugo, izoblikoval teraso z izrazito ježo in voda je morala skozi jamo odnesti vse to erodirano gradivo.

Ker se je z mašenjem ponorov oziroma ponornih jam močno zmanjšal delež podzemlskega odtoka v hladnih obdobjih pleistocena, se je moral temu ustrezno povečati delež površinskega odtoka in so torej bile takrat aktivne številne doline, ki so danes suhe ali vsaj pretežni del leta suhe. Tako lahko s precejšnjo gotovostjo trdimo, da se je Tržiščica nekje blizu Zlebiča iztekala v Bistrico, ta se je v jugovzhodnem delu Ribniškega polja stekala z Ribnico in ta reka je kot predhodnica današnje Zadnje Rinže tekla na Kočevsko polje ali pa skozi vrzel pri vasi Mala gora proti Polomu. Potok Predvratnica je mimo zamašenega vhoda jame Vratnice tekal proti Cereji. Spotoma se mu je pridružil še potoček Vrbovec (danes samostojno ponika v sistem Vratnice). Cereja je tekla od današnjih ponikev dalje po danes suhi dolini pod Malimi Laščami in se izlivala v Rašico v bližini Zakrajškovega mlina. Z jugovzhoda je pritekal v Cerejo potok, ki je zbiral potočke izpod Retij, ki danes prav tako ponikajo ločeno. Rašica je tekla po suhi dolini proti Dobrepolju, kjer so ostanki njenega pleistocenskega nanosa (Šifer 1967). Da so bili ponori Rašice pri Ponikvah res zasuti, lahko sklepamo tudi po tem, da teče še danes voda v dnu zatrepa tik pred ponori po gruščnatem nanosu. Danes voda ta grušč odnaša v podzemlje. O tem, da danes prevladuje spiranje grušča v podzemlje nad njegovim sprotnim nastajanjem, nam najbolje govori lijakasta depresija pod samim zatrepom.

Večina rovov današnjih ponornih in izvirnih jam je majhnih. V teh kanalih je v glavnem opazna ena sama razvojna faza rova izpred würmske zapolnitve. Ponorni kanali kažejo, da so bili oblikovani v coni prostega toka, izvirni pa v stalno zaliti coni. V ponornih

jamah je opaziti znake in ostanke ene same pleistocenske zapolnitve. Na podlagi zgornjih opažanj sklepam, da so današnje aktivne jame v Mali gori nastale v mlajšem pleistocenu, verjetno v toplejšem interstadialu, ko so bili ugodni pogoji za razvoj podzemeljskih kanalov (veliko padavin in visoka produkcija CO₂ v prsti). Tekom hladnih sunkov v würmu so bili ti rovi zapolnjeni z aluvialnimi sedimenti, v postglacialnem in holocenskem obdobju pa je voda te rove spet deloma ali v celoti izpraznila (Griška jama), ali pa jih je sploh zapustila in si pričela dolbsti nove rove (Finkova jama 2), kar se dogaja še danes.

Da so bile te jame aktivne v mlajšem pleistocenu, nam nudijo posredni dokaz višje ležeče suhe jame. Te so bile v würmu že suhe, neaktivne, v t.im. srednji etaži jamske sedimentacije, kar dokazuje najdba kosti jamskega medveda plitvo pod površjem v Koblarski jami (575 m n.m.). To je obenem dokaz, da je ta srednji nivo suhih jamskih rogov nastal pred mlajšim pleistocenom. Verjetno lahko vsem suhim jamam, ki leže nad 520 m n.m. v jugovzhodnem in nad 600 m v severovzhodnem delu Male gore pripišemo zgornjegliocensko do starejše pleistocensko starost. Ta nivo suhih rogov je obenem najvišji jamski nivo v Mali gori sploh – nad 700 m ni več jamskih rogov. Zato lahko računamo, da se je podzemeljsko zakrasevanje pričelo oziroma da se je podzemeljski odtok skozi Malo goro organiziral nekje v času zgornjega pliocena do starejšega pleistocena. Iz tega sledi, da nekdanji površinski odtok iz Ribniško-kočevskega podolja ni bil v celoti usmerjen proti Kolpi (Melik 1931, 96–97), ampak sodi del tega podolja, predvsem Laška pokrajina in Slemenca, že od začetka v porečje Krke. Po eni strani so skladno z dvigovanjem Male gore reke vrezovale svoje doline, da so obdržale svoj tok na površju (Rašica), po drugi strani pa so vode vtekale v apniško gmoto Male gore in dolble skoznjo kanale. Tako v večini primerov ne gre za pretočitve zgornjih tokov in povirnih krakov iz porečja Kolpe v porečje Krke, ampak predvsem za podzemeljsko presekavanje kolen, ki so jih delali nekdanji oziroma jih še delajo današnji površinski tokovi.

5. ZAKLJUČEK

Kot zaključek preiskav, opravljenih v okviru tega prispevka, naj na kratko strnem predvidevanja o geomorfološkem razvoju Male gore, s posebnim poudarkom na razvoju kraških votlin (risba 12).

1. V pliocenu si lahko predstavljamo obravnavano ozemlje kot bolj ali manj uravnan, penepleniziran svet, katerega površje v veliki meri sestavljajo nepropustne kamnine (posavski nariv na karbonatni dinarski šelf). Rečna mreža je površinska s splošno usmeritvijo proti vzhodu, proti Panonskemu morju.

2. Neotektonski premiki (zgornji pliocen) ustvarijo grudasto zgradbo, grude se dvigajo oziroma spuščajo, pojavi se stopnja Male gore, prične se kazati ortneški tektonski jarek. Z relativno dvignjene Male gore erozijski procesi pospešeno odstranjujejo pokrov iz neprepustnih kamnin. Površinski odtok v želimeljskem tektonskem jarku se prične usmerjati v vzdolžno (dinarsko) smer, na najugodnejšem mestu pa se glavna tokova, prednika današnje Rašice in Bistrice-Ribnice obrneta proti vzhodu in prečkata sleme Male gore. Ko se je v Mali gori na površju pokazal apnec, se je pričelo tudi zakrasevanje – vode, ki so radialno pritekale z ortneške grude, so na robnem apnencu pričele izvotljevati podzemeljske kanale. Ostanke te razvojne faze bi bili lahko najvišji prelazi in suhe doline v Mali gori ter sledovi freaticnih oblik v najvišjih nivojih suhih jam.

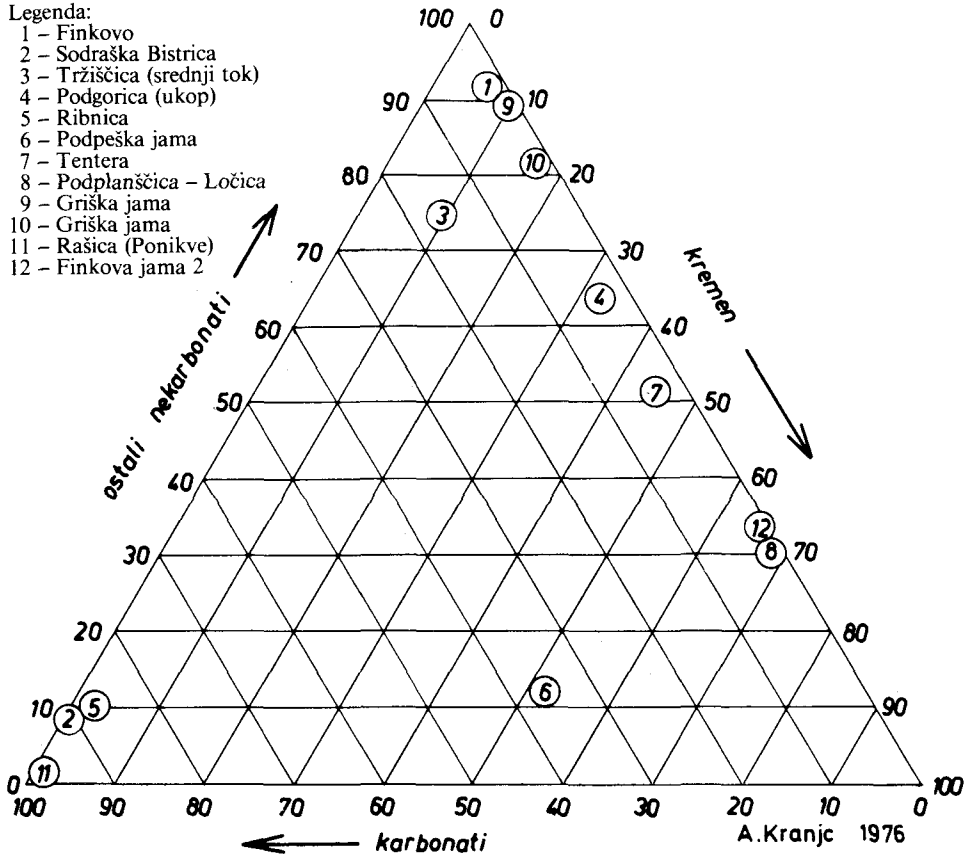
3. Konec pliocena in v starejšem pleistocenu si lahko Malo goro predstavljamo kot izoblikovano preko sleme, morda za okoli 100 m nižje od današnje Male gore. Z neprepustnih kamnin ortneške grude se zbirajo potoki v dva tokova, ki tečeta nekaj časa v dinarski smeri: s severozahoda je tekla reka za današnjimi Velikimi Laščami v depresijo pri Ponikvah, z jugovzhoda pa predhodnica Tržiščiце-Bistrice skozi zatok pri vasi Mala gora

v starološko podolje. Posamezni tokovi in predvsem poplavne vode pa se pretakajo skozi Malo goro naravnost proti severovzhodu in oblikujejo ponorne in izvirne jame. To so današnje najvišje suhe vodoravne jame (Koblarska, Vančeva in Finkova jama 2 ter 3 na ponorni in Kavčja na izvirni strani).

4. V mlajšem pleistocenu lahko ločimo že dve tendenci v razvoju jam. V toplejših obdobjih, ko je bila klima podobna današnji, je napredoval podzemeljski (kraški) odtok na račun površinskega. V tem času je delovala vrsta danes opuščenih ponornih jam na severozahodni strani (Lubeževa jama, Konjščica) in izvirnih jam na severovzhodni strani (Podtaborska jama, Tatrc). Kot kanali v globoki, stalno zaliti coni so nastajali rovi današnjih aktivnih vodnih jam, ki jih je deloma sproti, predvsem pa v hladnih sunkih würma, voda zasipavala z aluvialnimi sedimenti (risba 13). Površinska rečna mreža je bila že močno podobna današnji, v času največjih zasipavanj pa se je ustrezno podaljšala in so po danes suhih dolinah, ki se nadaljujejo od ponorov, tekli stalni vodni tokovi okrog Male gore.

Legenda:

- 1 - Finkovo
- 2 - Sodraška Bistrica
- 3 - Tržiščica (srednji tok)
- 4 - Podgorica (ukop)
- 5 - Ribnica
- 6 - Podpeška jama
- 7 - Tentera
- 8 - Podplanščica - Ločica
- 9 - Griška jama
- 10 - Griška jama
- 11 - Rašica (Ponikve)
- 12 - Finkova jama 2



Risba 13. Sestava proda

Drawing 13. Pebble lithology

5. V holocenu je zopet pričelo prevladovati odstranjevanje sedimentov nad zapolnjevanjem in s tem kraški odtok na račun površinskega. Enotni vodni tokovi so pričeli razpadati na posamezne krajše tokove z lastnimi ponori (pleistocenska Cereja na 7, Ločica in Bistrica-Ribnica pa na 3 samostojne tokove), glavni tokovi se krajšajo – Rašica teče danes navadno le do Ponikev, Cereja do Velikih Lašč, Tržiščica do pričetka, Bistrica in Ribnica pa do sredine Ribniškega polja. Deli nekdanjih aktivnih dolin postajajo suhe doline. Podzemeljski tokovi deloma praznijo s sedimenti zasute rove, obenem pa izvotljujejo nove, niže ležeče kanale, ki človeku niso dostopni in po katerih se često pretaka vsa nizka voda ponornic. Primer je Tržiščica, kjer ob suši vsa voda izginja v razpoke v apnencu še pred vhodom v Tentero – vodo je mogoče slediti kakih 10 m, nato pa izginja v neprehodne špranje okoli 2 m pod nivojem rovov Tentere, koder ponikajo srednje in visoke vode Tržiščice.

Dosedanji koncepti o razvoju krasa v Mali gori so se z izsledki naše razprave precej spremenili. Na podlagi opravljenega preučevanja ter ob upoštevanju najnovejših geoloških in tektonskih dognanj je bilo mogoče podrobneje razčleniti razvoj jam obravnavanega ozemlja. Vertikalne bifurkacije med porečjem Krke in Kolpe po mojem ne kažejo na nekdanji enotni odtok proti Kolpi in večjo »agresivnost« Krke, ampak ravno obratno, te bifurkacije so mladi pojavi, pretočitve se dogajajo še danes, predvsem pridobiva Kolpa na račun porečja Krke, vzrok pa naj bi bil v glavnem ugrezjanje Ribniško-kočevskega polja.

SUMMARY

THE KARST DEVELOPMENT IN RIBNIŠKA MALA GORA' (SLOVENIA, YUGOSLAVIA)

'Ribniška Mala gora' (= The Small Mountain of Ribnica) is a karst ridge in SE Slovenia, a member of long chain of middle mountains stretching from the alpine-dinaric border SE from Ljubljana towards SE. From the ridges on NW and SE side it is separated by narrow river valley and by a gap (dry valley). On SW side of it there are three types of relief (from NW towards SE): low dolomitic hills, hills and small mountains of impermeable Paleozoic rocks in a tectonic rift (shales, sandstone and quartz conglomerates), and at the most SE part Ribniško polje (karst polje of Ribnica). Along NE side there are: karst polje of Dobropolje and karst mountains of Rog, separated from Mala gora by huge dry valley.

Mala gora is elongated in NW-SE direction, 24 km long and in average 3-4 km large. Treated area has 115 km². The greatest part of Mala gora has 380-500 m of relative height.

Mala gora itself is built of carbonate rocks and is limited by depressions and tectonic lines. Carbonate rocks consist of Triassic dolomites in smaller part, and of Jurassic and Cretaceous limestones in greater part.

The prevalent dip of strata is 20° and strike of strata is mostly towards 3 directions: S, SW, and W. Limestones and dolomites are intensively fissured and faulted. They are crushed in quite a large bands along faults. The most frequent direction of faults is NW-SE and less W-E direction.

We have to dissolve samples of carbonate rocks in 10% HCl and results are as follows. The average of impurities is 1.64%. One third of all the samples has more than 2% of impurities and the greatest rate of impurity is 7.4% (Jurassic limestone with dolomite).

There is no evident connection between the content of impurities in limestones and the dimensions of caves: two of the longest caves of treated region are both in very pure (0.01% of impurities) and in relatively impure (2.33% of impurities) limestones. Inner parts of Tentera cave (limestones with 0.01% of impurities) are small and narrow passages and Bukovščica cave (limestones with 3.21% of impurities) is a hall 40 × 20 × 10 m.

Fourteen samples of limestones has been classified according to Folk's classification. Between them we have found 93% of allochems and 7% of orthochems. Sparry calcite forms the cement to 57% of samples and 43% of them have microcrystalline calcite matrix.

By comparing the directions of fissures with the directions of cave passages it was found out that quite a strong interconnection exists. Most of the passages accessible to the man are made along the »decompression fissures« in the 'slope zone' of Mala gora. All the known caves from Mala gora are in the 'slope zone' only.

I couldn't find any important relation between the dip of strata and the inclination of cave passages: the majority of dips has 20-30° and the majority of cave passages has the inclination between 0-10°.

Also the distribution and cave density haven't direct relation with the rocks stratigraphy. In Slovenia man can reckon 0.65 of cave/km² for all the karst surface, and in Mala gora it is 0.92 of cave/km². Cave density for Mala gora is 56 m of passages/km². Direct influence of geological structure to distribution of caves is 'dolomite bank' crossing the base of Mala gora - although the bank is covered by limestones (relatively thin) the land above the 'bank' is nearly without any cavity.

Mala gora is very important regarding hydrography of wider region. Waters from impermeable surface run radially from the center and finally gathered in Rašica rivulet, flowing around Mala gora on NW side and sinking there, and in Bistrica river, flowing towards SE and sinking in the middle part of Ribniško polje. Besides these two main streams there are still 12 brooks and rivulets flowing directly towards NE and sinking underground when reaching the foot of Mala gora. Some of these flows are found again in the caves on NE foot of Mala gora, at the border of Dobropolje. After heavy rains and spring snow melting these become springs and pour out big quantities of water thus partly flooding the

polje. River Rašica come to the daylight at the spring Šica in the Radensko polje N from Dobrepolje, and finally in the spring of Krka river. Bistrica and Ribnica (coming to the Ribniško polje from the West) flow underground to the springs along the middle course of the river Krka.

According to the rocks and relief, there are three types of water flows in the region of Mala gora and its vicinity: normal flows on the impermeable rocks in W and NW surroundings of Mala gora, permanent and periodical flows from karst springs, and sinking flows.

The greatest density of surface flows is on impermeable rocks, smaller on dolomites, and the smallest on limestones. On both sides of Mala gora, there are regular or periodic karst floods, specially on the poljes of Ribnica and Dobrepolje. But when the rivulets on impermeable rocks flood their valleys themselves and such flood waters came suddenly on already flooded karst poljes, a catastrophic flood can occur. In the lowest part of Dobrepolje thus the flood level can reach the roofs of houses and may last at this height for two weeks respectively.

On the ponor side of Mala gora there are 11 active ponor caves, and on the spring side there are 6 active spring caves. For both abundant sediments from impermeable rocks are characteristic. In some cases they are used as water-tracers. Quite a great and interesting changes occur in sediment on the way from the ponor to the emergence regarding the petrography, grain shape and size. It seems that nowadays water evacuates sediments from the caves.

In the period of low waters all the treated region belongs to the water basin of the river Krka. But during the floods a lot of so called 'vertical bifurcations' occur. The biggest and the best known example is river Bistrica: water from the ponors along the river bed in the bottom of Ribniško polje flows under Mala gora towards Krka (about 20 km in direct line), but waters which can not sink underground flows further on the surface as a big river towards the SE part of the polje of Kočevje (17 km of direct line) where they sink and reappear in the big karst spring in the valley of river Kolpa.

According to geomorphology some bigger surface landforms have been studied. Between them I should like to mention dolines. On Mala gora itself (limestone ridge only) there are 44 dolines/km² in average, ranging from 2–120 dolines/km². On Triassic dolomites, including these in Mala gora itself, there are 24 dolines/km².

In the neighbour flat regions there are three types of surface with dolines: limestone terraces as parts of Ribniško polje and Dobrepolje, dolomite terraces, and bottom of the poljes, covered by alluvium. On dolomite terraces there are 17 dolines/km², on the alluvial bottom 19 dolines/km², and on limestone terraces 113 dolines/km² in average. Absolute number reach up to 211 dolines/km² in NW part of Kočevsko polje.

For Mala gora limestone surface the correlation rate $K = -0.7638$ shows good correlation between the angle of slope and density of dolines.

Altogether there are 109 karst cavities in the treated region, between them 58% of potholes and 42% of caves, 91% of fossil (dry) caves and 9% of active (water) caves. Regarding the length of passages, situation is quite different – 74% are horizontal passages (between them 29% of active ones) and 26% are vertical.

Horizontal passages, active and dry, are concentrated in quite distinctive altitude levels. Comparing these levels is one of the methods for evaluation of the age of some caves.

Mean apparent inclination between ponors and springs is 31.3‰ (from 16.4 to 43.4‰) and between presumed fossil ponors and springs is 30‰ (5.7 to 51‰).

Geomorphological development with special regard to karst cavities of Mala gora was as follows:

1. In Pliocene period treated region was more or less flat peneplain on the base of impermeable over-thrust on carbonatic dinaric shelf. Surface rivers organised runoff towards E – Pannonian sea.

2. In Upper Pliocene block structure relief was made by neotectonic movements. The 'horst' of Mala gora and small 'rift' of Ortnek began to form. Impermeable rocks from Mala gora denudated but they are left in the rift. Water flows organised along the axis of the rift and where the opportunity occur they crossed the ridge (NW and SE of Mala gora). Waters from the middle part of rift began to hollow limestones on the contact.

3. At the end of Pliocene and in Lower Pleistocene the ridge of Mala gora is similar to the recent situation. From Ortnek rift valley two main water courses flow towards NW and SE respectively. Smaller rivulets and specially flood waters flew through the limestone Mala gora. To this stage belong the highest lying dry horizontal caves.

4. In Upper Pleistocene it is possible to distinguish two main tendencies in development. In warmer periods karst runoff gains in comparison with surface one. Today's ponor caves existed as phreatic channels. During colder periods waters partly or nearly completely filled up the channels with sedi-

ments. In accordance with these fillings surface streams reused previously abandoned river beds and dry valleys.

5. Evacuation of sediments prevail in Holocene. Karst runoff became more important than surface one and great streams disintegrate into smaller streams sinking in separate ponors.

The base conceptions of karst development in Mala gora changed within this contribution according to field studies and new geological and tectonical data. Vertical bifurcations between rivers Krka and Kolpa are relatively young phenomena and we can say that river Kolpa captures the streams of river Krka drainage. The main reason for this is karst nature of treated region combined with subsidence of the terrain.

Viri in literatura

- Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Jamski kataster. Postojna.
- Bögli, A., 1964: Corrosion par mélange des eaux. *International Journal of Speleology*, Vol. I, Part 1+2, 61–71. Amsterdam.
- Bretz, J. H., *Vadose and Phreatic Features of Limestone Caverns*. *Journal of Geology* 50, 675–811. University of Chicago Press, Chicago.
- Buser, S., 1974: Tolmač lista Ribnica. Osnovna geološka karta 1:100000. Zvezni geološki zavod, 1–60. Beograd.
- Čadež, N., 1956: Barvanje ponikalnice Rinže leta 1956. Tipkopis, Hidrometeorološki zavod LRS. Ljubljana.
- Čadež, N., 1962: Določanje razvodnic na krasu. *Geologija* 7, 193–196. Ljubljana.
- Demek, J., (edit.) 1972: *Manual of detailed geomorphological Mapping*. Intern. Geographical Union, 1–344. Academia, Prague.
- Dollfus, O., 1971: E analyse géographique. *Que sais-je?*, No. 1456, 1–125. PUF, Paris.
- Dukić, D., 1962: Opšta hidrologija. Naučna knjiga, 1–253. Beograd.
- Dunham, J. R., 1961: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Classification of carbonate rocks (A Symposium, W. E. Ham, Edit.)*, Amer. Assoc. Petroleum Geologists Mem., 108–121.
- Elze, T., 1862: *Gottschee und Gotschewer*. Drittes Jahresheft der Ver.d.krainischen Landes-Museums. Laibach.
- Folk, R. L., 1959: Practical petrographic classification of limestones. *Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Bull.* 43, 1–38.
- Forti, F. & S. Stefanini & F. Ulicigrai, (1975): *Relazioni tra solubilità e carsificabilità nelle rocce carbonatiche del Carso Triestino*. S.l.s.a., separat, Istituto de Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste, 19–49.
- Forster, A. E., 1922: *Hydrographische Forschungen in Inner- und Unterkrain*. Mitt.d. geogr. Gesellschaft in Wien 65, 3–30. Wien.
- Gams, I., 1955: Pripovedke o kraškem podzemlju. *Slovenski etnograf* 8, 151–152. Ljubljana.
- Gams, I., 1955a: Kraška piraterija. *Proteus* 17/6, 159–160. Ljubljana.
- Gams, I., 1963a: Logarček. *Poročila*, 5–84. SAZU, Ljubljana.
- Gams, I., 1964: Raziskovanje jamskih oblik in nastanka jame. *Jamarski priročnik*, 7–49. Ljubljana.
- Gams, I., 1967: Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kamninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. *Geografski vestnik* 38 (1966), 11–68. Ljubljana.
- Gams, I., 1969: Ergebnisse der neueren Forschungen der Korrosion in Slowenien (NW Jugoslawien). *Problems of the Karst Denudation, Studia Geogr.* 5, 9–20. Brno.
- Gams, I., (uredn.), 1973: *Slovenska kraška terminologija*. Zveza geogr. instit. Jugoslavije, Kraška terminologija jugoslovanskih narodov, knj. I, V–76. Ljubljana.
- Gams, I., 1974: *Kras (Zgodovinski, naravoslovni in geografski oris)*. Slovenska matica, 1–359. Ljubljana.
- Germovšek, C., 1953: Zgornjekredni klastični sedimenti na Kočevskem in v bližnji okolici. *Geologija* 1, 120–134. Ljubljana.
- Guzelj, A., 1938: Hidrografsko proučevanje krasa v Suhi krajini leta 1934. *Geografski vestnik* 14/1–4, 140–142. Ljubljana.

- Habič, P., 1969: Hidrografska rajonizacija krasa v Sloveniji. *Krš Jugoslavije* 6, 79–91. SAZU, Zagreb.
- Hacquet, B., 1778–1779: *Oryctographia carniolica oder Physikalische Beschreibung der Herzogthums Krain, Istrien und zum Theil der benachbarten Länder*. Vol. I–IV, 66–67, 123–129. Leipzig.
- Herak, M., 1972: *Karst of Yugoslavia. Karst – Important Karst Regions of the Northern Hemisphere*. Elsevier Publ. Co., 25–83. Amsterdam etc.
- Ilešič, S., 1948: Rečni režimi v Jugoslaviji. *Geografski vestnik* 19 (1947)/1–4, 71–110. Ljubljana.
- Kranjc, A., 1972: Kraški svet Kočevskega polja in izraba njegovih tal. *Geografski zbornik* 13, 129–194. Ljubljana.
- Kranjc, A., 1973: Poročilo o poplavah na Kočevskem. Tipkopis, Inštitut za geografijo, SAZU, 1–13. Postojna.
- Kranjc, A., 1973 a: Osnovna speleološka karta, Cerknica 2–c. Elaborat, Inštitut za raziskovanje krasa, SAZU, 1–90. Postojna.
- Kranjc, A., 1976 a: Poskus valorizacije kraških votlin v občini Kočevje z naravovarstvenega vidika. *Varstvo narave* 9, 3–20. Ljubljana.
- Kraus, F., 1894: *Höhlenkunde*. 1–308. Carl Gerold's Sohn, Wien.
- Kudrnovská, O., 1965: Výškové rozpetí a střední výška. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV* 4, 1–3. Brno.
- Kudrnovská, O., 1968: Príspevek k metodám konstrukce map sklonu topografické plochy. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV* 5/6, 15–28. Brno.
- Kudrnovská, O., 1972: Size of grid units, creation of group and threshold values. *Manual of detailed geomorphological mapping*, Intern. Geogr. Union, 60–62. Academia, Prague.
- Kunaver, P., 1913: *Berichte der Gesellschaft für Höhlenforschung in Laibach. Laibacher Zeitung*, 26. 7. 1913. Laibach.
- Kunaver, P., 1913 a: Die Höhlenforschung in Krainer Karst. *Interessantes Blatt*, 25. 9. 1913. Wien.
- Lehmann, E., 1933: *Das Gottscheer Hochland. Grudlinien eines Landeskunde*, 1–65, Leipzig.
- Ljubič, T., 1939: Voda, voda! *Naš rod* 11/2, 59–61. Ljubljana.
- Ljubič, T., 1940: Po kočevskih kukavah. *Naš rod* 11/6, 230–231. Ljubljana.
- Martel, E. A., 1894: *Les abîmes, les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie*. 1–578. Charles Delagrave, Paris.
- Maucci, W., 1951–52: L'ipotesi dell'erosione inversa, come contributo allo studio della speleogenesi. *Estr. dal Boll. della Soc. Adriatica di Scienze Nat.*, Vol. 46, 1–60. Trieste.
- Melik, A., 1931: Hidrografski in morfološki razvoj na srednjem Dolenjskem. *Geografski vestnik* 7, 66–100. Ljubljana.
- Melik, A., 1955: Kraška polja Slovenije v pleistocenu. *Dela 4. razr. SAZU* 7, 1–162. Ljubljana.
- Melik, A., 1959: Posavska Slovenija. 1–595. Slovenska matica, Ljubljana.
- Melik, A., 1963: Slovenija I. 1–617. Slovenska matica, Ljubljana.
- Michler, I., 1949: Društvo za raziskovanje jam v Ljubljani. *Proteus* 12/3, 87–90. Ljubljana.
- Mioč, P. 1976: *Prilog poznavanju tektonskih odnosa granične zone istočnih posavskih bora i dinarskog šelfa*. II. god. znanstv. skup sekcije za primjenu geol., geofiziku in geohemiju znanstvenog savjeta za naftu, ser. A., knj. 5, 223–228. JAZU, Zagreb.
- Moore, W. G. & G. Nicholas, 1964: *Speleology*. 1–120. D.C. Heath and Co., Boston.
- Müller, G & M. Gastner, 1971: The 'Karbonat-Bombe', a simple device for the determination of the carbonate content in sediments, soils and other materials. *N.Jb. Miner. Mh.*, Jg. 1971, H. 10, 466–469. Stuttgart.
- Novak, D., 1973: Sedimenti v kraških izviri. *Naše jame* 14 (1972), 56. Ljubljana.
- Pavlovec, R., 1961: Zgornjekredna mikrofavna iz Logarčka pri Lazah. *Naše jame* 2 (1960)/1–2, 59–63. Ljubljana.
- Petrič, I., 1976: Laška pokrajina in njena prirodnogeografska razdelitev. *Geografski obzornik* 23/1–2, 8–12. Ljubljana.
- Pleničar, M. & A. Nosan, 1958: Paleogeografija panonskega obrobja v Sloveniji. *Geologija* 4, 94–110. Ljubljana.
- Pohl, E. R., 1955: Vertical Shafts in Limestone Caves. *Occasional Papers NNS* 2, 1–24.
- Premru, U., 1976: Neotektonika vzhodne Slovenije. *Geologija* 19, 211–249. Ljubljana.

- Putick, W., 1892: Zur Entwässerung der Kesselthäler von Reifnitz und Gottschee. *Laibacher Zeitung*, Nr. 51, 52. Laibach.
- Radinja, D., 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogogenetskega razvoja. *Geografski zbornik* 13, 199–242. Ljubljana.
- Rakovec, I., 1955: Geološka zgodovina ljubljanskih tal. *Zgodovina Ljubljane*, I. knj., 11–172. Ljubljana.
- Rakovec, I., 1956: Pregled tektonske zgradbe Slovenije. I. jugosl. geološki kongres, 73–83. Ljubljana.
- Ramovš, A. & V. Kochanský – Devidé, 1965: Razvoj mlajšega paleozoika v okolici Ortneka na Dolenjskem. *Razprave 4. razr. SAZU* 8, 319–416. Ljubljana.
- Renault, Ph., 1967–69: Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Annales de spéléologie* 22, f.1, 5–21; f.2, 209–267; T. 23, f.1, 259–307; f.3, 529–596; T. 24, f.2, 317–337. Moulis.
- Renault, Ph., 1970: La formation des cavernes. *Que sais-je?* No.1400, 1–126. PUF, Paris.
- Renault, Ph., 1976: Les karstifications pendant le Quaternaire. *Le préhistoire française*, 192–200. C.N.R.S., Paris.
- Rus, J., 1921: Ribnica i Kočevje. *Glasnik geografsko društva* 5, 180–188, Beograd.
- Rus, J., 1924: Slovenska zemlja. *Splošna knjižnica*, II, 1–48. Ljubljana.
- Rus, J., 1929: + Viljem Putick. *Geografski vestnik* 4/1–4 (1928), 125–126. Ljubljana.
- Rus – Goljevšček, B., 1962: Vodni režim Krke. *Dolenjska zemlja in ljudje*, 111–115. Dolenjska založba, Novo mesto.
- Savnik, R. (ured.), 1971: *Krajevni leksikon Slovenije*, II. 1–705. DZS, Ljubljana.
- Schmidegger, A. E., 1961: *Theoretical Geomorphology*. 1–333. Springer Verlag, Berlin etc.
- Schneiderhöhn, P., 1954: Eine vergleichende Studie über Methoden zur quantitativen Bestimmung von Abrundung und Form an Sandkornern. *Heidelb. Miner. Petr.*, Vol. 4. 172–191.
- Scholz, E., 1972: Slope categories. *Manual of detailed geomorphological mappnig*, Intern. Geogr. Union, 60. Academia, Prague.
- Siffre, A. & M. Siffre, 1961: Le façonnement des alluvions karstiques. *Annales de Spéléologie* 16, f. 1. 73–80. Moulis.
- Simonič, I., 1939: Geografski pregled kočevskega jezikovno mešanega ozemlja. *Geološko-geomorfološki opis*. Kočevski zbornik, 7–43. Družba Sv. Cirila in Metoda, Ljubljana.
- Slovenski pravopis*. 1–1054. SAZU – DSZ, Ljubljana, 1962.
- Sparks, B. W., 1972: *Geomorphology*. 1–530. Longman, London
- Sweeting, M. W., 1972: *Karst Landforms*. 1–362. Macmillan, London etc.
- Šerko, A., 1946: Barvanje ponikalnic v Sloveniji. *Geografski vestnik* 18, 125–139. Ljubljana.
- Šifrer, M., 1967: Kvartarni razvoj doline Rašice in Dobrega polja. *Geografski zbornik* 10, 271–305. Ljubljana.
- Šifrer, M., 1970: Nekateri geomorfološki problemi dolenjskega krasa. *Naše jame* 11 (1969), 7–15. Ljubljana.
- Šlebinger, C., 1953: Obvestilo o kartiranju lista Cerknica 1 in 2. *Geologija* 1, 288–292. Ljubljana.
- Šlebinger, C., 1971: Geološke razmere Dobropolja. *Zbornik občine Grosuplje* 3, 191–200. Grosuplje.
- Šribar, L., 1967: O sedimentih na meji kreda – terciar v južni Sloveniji. *Geologija* 10, 161–166. Ljubljana.
- Tomšič, Š. & F. Ivanc, 1887: Kočevsko okrajno glavarstvo. 1–108. Okrajna učiteljska knjižnica v Kočevju, Ljubljana.
- Tratman, E. K. (edit.), s. a.: *The Caves of North-West Clare, Ireland*. 1–256. David & Charles, Newton Abbot.
- Trimmel, H. & M. Audétat, 1966: Signes conventionels a l'usage des spéléologues. *Stalactite* 16/3, 75–125.
- Turnšek, D., 1967: Geološki izleti po Dolenjski. *Proteus* 29/8, 228–229. Ljubljana.
- Waagen, L., 1914: *Karsthydrographische Mitteilungen aus Unterkrain*. *Verhandlungen der k.k. geol. Reichanstalt*, Nr. 4, 102–121. Wien.

**GENERACIJE SIG V KLASIČNEM KRASU
SLOVENIJE**

(S 7 SLIKAMI)

**SINTER GENERATIONS IN CLASSICAL KARST OF
SLOVENIA**

(WITH 7 FIGURES)

RADO GOSPODARIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 29. MAJA 1980

VSEBINA

Izvleček – Abstract	90
Uvod	91
Geokronološka problematika in metode datiranja sige	91
Radiometrično datirane generacije sig	94
Relativno ugotovljeno generacije sig	98
Sig med klastičnimi sedimenti v paleolitskih postajah	98
Siga v sedimentih nanovo odkritega profila pri Postojnski jami	98
Sige med naplavinami v Križni jami	102
Siga v jami Dimnice	103
Sklepi in nadaljnji problemi	105
Zahvala	107
Sinter Generations in Classical Karst of Slovenia (Summary)	108
Literatura	109

Izvleček

UDK 551.442.4 (497.12-14)

Gospodarič Rado: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije. Acta carsologica 9, 000-000 Ljubljana, lit. 46.

Na podlagi številnih podatkov o radiometrični in relativno stratigrafski starosti sige v Postojnskem jamskem sistemu in drugih jamah klasičnega krasa so ugotovljene sigotvorne faze srednjega in mlajšega pleistocena in holocena. Te starosti so tudi pestri alohtoni in avtohtoni klastični sedimenti obravnavanih lokacij. Ugotovljene in problematične generacije toplodobnih in hladnodobnih jamskih sedimentov bo treba še nadalje potrjevati in datirati z geološkimi in fizikalno-kemijskimi metodami. Razprava želi prispevati k poznavanju kvartarne geologije na klasičnem krasu NW Dinaridov.

Abstract

UDC 551.442.4 (497.12-14)

Gospodarič, Rado: Sinter Generations in Classical Karst of Slovenia. Acta carsologica 9, 000-000, Ljubljana, Lit. 46.

On the base of several data about radiometric and relative stratigraphic sinter age in Postojna Cave System and in other caves of classical Karst the sinter forming phases of Middle and Younger Pleistocene and Holocene were stated. Variegated allochthonous and autochthonous clastic sediments of treated locations belong to the same age. Ascertained and problematic generations of warm and cold period cave sediments have to be still in future controlled and dated by geological and physico-chemical methods. The study wishes to contribute to the knowledge of Quaternary geology on classical Karst of NW Dinarids.

Naslov - Address:

dr. Rado Gospodarič

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU

Titov trg 2

66230 Postojna, Jugoslavija

UVOD

V klasičnih delih o dinarskem krasu in njegovih jamah na Slovenskem (F. H o h e n - w a r t 1832-34; A. S c h m i d l 1854; E. M a r t e l 1894, in drugi) je med sedimenti v podzemeljskih rovih največkrat opisano pestro sigovo okrasje. Speleološka literatura prve polovice sedanjega stoletja (A. P e r k o 1910; A. Š e r k o in I. M i c h l e r 1948, in drugi) tudi pogosto govori o različnih oblikah sige, vendar že razlaga nastajanje kapnikov in ugiba njihovo starost. S pospešenim razvojem speleološke in drugih prirodoslovnih znanosti po letu 1950 pa so postale sige in drugi avtohtoni ter alohtoni jamski sedimenti pomemben vir podatkov o pleistocenski klimi in hidrografiji, favni in flori ter prazgodovini na Slovenskem krasu. Za področje kvartarne geologije so posebej zanimivi podatki o relativni in »absolutni« starosti jamskih sedimentov, posebej sige, ki je med njimi najbolj tipična kraška odkladnina. Stratigrafsko in geokronološko vrednost sige v kraških jamah so pri nas doslej še večkrat osvetlili preučevalci prazgodovine (S. B r o d a r 1952; 1966; F. O s o l e 1961, in drugi) in speleogeneze kraških jam (I. G a m s 1965; 1968; R. G o s p o d a r i č 1970; 1974; 1976, in drugi).

V letih 1976–1978 smo v okviru raziskovalnega programa Inštituta za raziskovanje krasa SAZU v Postojni preučevali geokronologijo jamskih sedimentov in o tem sestavili dve fazni poročili (R. G o s p o d a r i č s sodelavci 1977; 1978). V poročilu leta 1977 obravnavamo generacije sig v nekaterih kraških jamah Slovenije, kakor so jih pokazale relativne in radiometrične datacije. V poročilu leta 1978 pa podajamo predvsem primerjalne analize med generacijami sig in klastičnih sedimentov, ki so doslej ugotovljene na našem krasu.

Pričujoča razprava povzema poglobljene geokronološke podatke tega preučevanja, dodaja nove ugotovitve in se zadržuje predvsem pri sigi kot najbolj nedvoumnem avtohtonem jamskem sedimentu. Pestri jamski sedimenti alohtonega in paravtohtonega izvora so pri tem upoštevani po eni strani kot pokazatelj bistveno drugačnih sedimentacijskih pogojev, po drugi strani pa kot sestavni del sedimentacije v podzemlju. Preučevanje in temeljitejša obdelava pestrih, a geološko in paleohidrološko nadvse zanimivih klastičnih jamskih sedimentov, so zamišljena v bodoče, ko mislimo bolj kvalitetno opredeliti njihov kronostratigrafski pomen za kvartarno geologijo krasa.

GEOKRONOLOŠKA PROBLEMATIKA IN METODE DATIRANJA SIGE

Pogostne klimatske spremembe v kvartarju so se na Zemlji odvijale v nekem kronološkem zaporedju. Kvartarologi iščejo skupne geokronološke reperje, ki bi veljali za območja kontinentalnih in alpskih poledenitev, pa tudi za območja izven stalnih poledenitev npr. v periglacialnem prostoru. Lokalne in regionalne ugotovitve iz kraških in nekraških terenov poskušajo uskladiti v splošno veljavno kronologijo kvartarja. Pri tem se zavedajo, da je pestre in različne kronostratigrafske sekvence kvartarja zelo zahtevno zanesljivo datirati in jih vstavljati v koledarski čas.

Ključni geokronološki problem kvartarja so gotovo zelo različna mnenja o številu in trajanju toplih in mrzlih dob. Klasična relativna datacija alpskih poledenitev A. P e n c k a (würm, riss, mindel, günz ter donav 1 in 2 ter biber) se za mlajši in srednji pleistocen ča-

sovno še kar ujema s kontinentalno severnoevropsko (Visla, Saale, Elster, Menap), za spodnji kvartar pa so občutna razhajanja. Zaporedje in trajanje mrzlih in toplih sunkov v okviru poedinih glacialov in interglacialov je posebej neusklajeno v novejšem času, ko imamo poleg relativnih tudi radiometrične (absolutne) datacije.

Zanimiv je primer kratkotrajne ohladitve pred približno 90.000 leti pred sedanostjo (brörup), ki jo eni štejejo v okvir würmskega glaciala, drugi pa mislijo, da je še sestavni del eemskega (riss-würm) interglaciala. Po prvem mišljenju so glaciali bili časovno znatno daljši kot interglaciali, po drugem mišljenju pa so obratno, kratkotrajne ohladitve prekinjale daljša topla interglacialna obdobja.

Med številnimi regionalnimi razvrstitvami mrzlih in toplih dob smo za naše razpravljanje in primerjave privzeli geokronološko lestvico za kvartar Evrope kot jo predlaga H. C o o k e (1973). Za razliko od drugih je namreč ta lestvica oprta na paleomagnetno časovno skalo, ponuja primerjavo s podobno lestvico za Severno Ameriko, upošteva časovno trajanje ledenih in medledenih dob ter navaja tudi tople sunke v okviru glacialov oziroma hladne sunke v okviru interglacialov. S pomočjo te enotne podlage smo medseboj primerjali na eni strani relativno in radiometrično datirane sige ter relativno datirane klastične jamske sedimente, ki jih zaenkrat poznamo v naših jamah, na drugi strani pa radiometrično datirane sige ter zaporedje hladnih in toplih dob iz evropskega in severnoameriškega prostora.

Z združitvijo podatkov o jamskih sedimentih na enotno geokronološko skalo upamo dobiti boljši pregled nad razvojem avtohtone in alohtone sedimentacije, po možnosti ugotoviti podobne oziroma zaporedne sedimentacijske razmere in po njih sklepati na različna klimatska obdobja pleistocena ter s tem na relativno starost sedimentov. Tak primerjalni študij je bil doslej pri nas opravljen na področju kvartarne sesalske favne, najdene večinoma v jamskih sedimentih (I. R a k o v e c 1975), delno pri palinoloških raziskavah izvenjamskih sedimentov na kraških poljih (A. Š e r c e l j 1966; 1970) in že večkrat pri jamskih sedimentih s paleolitskimi najdbami (npr. S. B r o d a r 1952; 1966; 1970; F. O s o l e 1968; 1975). Bolj podrobno so bile primerjalno obravnavane sige in naplavine na primeru Postojnskega jamskega sistema (R. G o s p o d a r i č 1976). Iz nekaterih lokalitet hrvaškega krasa so podobne primerjalne podatke objavili M. M a l e z, A. S l i e p č e v i č, D. S r d o č (1979) in M. M a l e z, D. R u k a v i n a (1979).

Razvoj jedrske znanosti v zadnjih tridesetih letih in njena aplikacija na vsa področja tehnike in naravoslovja je tudi k speleologiji prispeval mnogo novega.

Doslej se je najbolj uveljavilo radiometrično merjenje izotopov ^{13}C in ^{14}C v sigi. Na podlagi polovične razpadne dobe nestabilnega izotopa ^{14}C (5.730 let) je namreč možno ugotoviti modelno starost tega jamskega sedimenta do 40.000 let nazaj. Poznamo številne radiometrično datirane sige iz evropskih jam, pa tudi ustrezno analizirani vzorci sig iz Slovenskega krasa so že koristno dopolnili dosedanjo, le relativno ugotovljeno njihovo starost.

Poleg nedvoumnih prednosti pa ima ^{14}C metoda datiranja tudi nekaj pomanjkljivosti, ki omejujejo njeno uporabo pri datiranju sige. Omenjamo njen omejen obseg detekcije in kvantitativni problem »mrtvega ogljika« v sigi (»mrtvi« ogljik je tisti iz matičnega apnenca, »živi« pa tisti iz humusno vegetacijskega pokrova; oba sta v sigah pomešana v različnih razmerjih, ki jih številčno ne moremo ugotoviti; računajo s poprečnim razmerjem 15:85). Ustrezno vzorčevanje sige in ugotavljanje njenega stratigrafskega položaja med drugimi jamskimi sedimenti le delno odpravljata navedeni pomanjkljivosti te radiometrične metode datiranja.

Pred desetimi leti so v Kanadi razvili radiometrično uranij-torijevo metodo, ki meri količino torija v sigi. Ob fizikalno in geokemično utemeljeni predpostavki, da stabilni torij nastaja iz nestabilnega urana, ki ga vsebuje domala vsaka siga (2–100 ppm), je količina izmerjenega torija, ob določenih pogojih seveda, odvisna od starosti sige, ki ta torij vsebuje. Ker ima ^{238}U uran znatno daljšo razpadno dobo (250.000 let) kot ^{14}C , je obseg določljivosti te metode raztegnjen tja do 400.000 let nazaj. Z U/Th metodo so v laboratoriju Mac Master University v Hamiltonu preučili več stotin vzorcev sig iz Amerike, pa tudi iz Evrope.

Sestavili so lahko zaporedje in trajanje sigotvornih faz mlajšega in srednjega pleistocena za Severno Ameriko oziroma severno hemisfero v geografskih širinah med 35° in 62° (R. Harmon et al. 1975; 1978).

Iz evropskega prostora so objavljeni U/Th podatki o starosti sige iz jam britanskega otočja (T. Atkinson, R. Harmon, P. Smart 1977; A. Waltham, R. Harmon 1977). Poleg postglacialne in interstadialne würmske sige so spoznali še eemsko (R/W) in holsteinsko (M/R) sigo, nekaj vzorcev pa tudi iz zadnjega toplotnega sunka mindelskega glaciala. Te ugotovitve so spremenile dosedanje poglede na nastajanje sige v območju kontinentalne poledenitve Velike Britanije in severne Evrope. V večini primerov so doslej namreč menili, da so sige vse mladopleistocenske.

Z U/Th metodo je ugotovljena tudi interglacialna starost sige v Planinski jami (R. Gospodarič 1976).

V okvir radiometričnih metod, uporabljenih v speleologiji, sodijo še nekatere novejšje, prirejene v ta namen iz jedrske fizike. To so resonanca elektronskega spina (ESR – electronic spin resonanc) povzročena pri prirodni radiaciji kalcita, nadalje »fission track« metoda in metoda termoluminiscence. Te metode je na kraško podzemlje in sigo apliciral japonski fizik M. Ikuya (1976; 1977). Praktično jih je preiskusil v japonski jami Akiyoshi in pri datiranju sige v grški jami Petralona. Tu je s posebej ugodno ESR metodo, ki je sorazmerno enostavna in teoretično nima časovne omejitve, ugotovil 400.000, 250.000 in 50.000 let stare plasti sige med drugimi jamskimi sedimenti odkopanega profila (N. Poulinas 1977).

Z ESR metodo so bili pregledani tudi vzorci sige iz Pisanega rova Postojnske jame. Prvi podatki so pokazali 530.000, 280.000 in 125.000 let stare plasti v najprej pregledanem stalaktitu; bolje dokumentirane nadaljnje analize pa na 190.000 let staro sigovo jedro v kasneje pregledanem stalaktitu (M. Ikuya 1978, pismeno poročilo; M. Ikuya, T. Miki, R. Gospodarič 1980).

Sige štejemo med geološke paleotemperaturne reperje. Ker so nastajale iz sigovice (nasičene prenikle vode) v ustrezno spremenljivi recimo holocenski in pleistocenski klimi, so v vsaki njeni plasti ohranjena tedanja razmerja normalnega in izotopnega ogljika (12 C / 13 C) in kisika (16 O / 18 O). To fizikalno-kemično predpostavko so za karbonate uspešno preiskusili najprej pri hišicah foraminifer iz globokomorskega blata, nato pa tudi na sigi, stalagmitu iz francoske jame Aven d'Orgnac (J. Dupoulessy 1977). Na podlagi takih analiz sige iz šestih jam Severne Amerike je R. Harmon s sodelavci (1978) uspel sestaviti klimatsko krivuljo zadnjih 400.000 let za severno hemisfero. Pri tem je ugotovil, da so sige celo bolj primerne in zanesljive za paleotemperaturna spoznanja, ker so razširjene v krasu vseh kontinentov, ker so temperature v notranjosti jam vedno ustrezale srednjeletnim in mnogo bolje odražajo regionalne klimatske variacije kopnega kot npr. kvartarne foraminifere iz oceanskega blata. Tam je namreč količina stabilnega izotopa 18 O v skeletih lahko posledica znižanja temperature morske vode, lahko pa tudi zmanjšanja volumna kontinentalnega ledu. Na foraminiferah lahko nadalje spoznavamo le paleotemperaturo morja, ne pa kontinentov, kjer so sicer večinoma ohranjeni geološki pojavi, pokazatelji klimatskih nihanj v kvartarju. Vsekakor je v posameznih plasteh nekega kapnika možno ugotoviti izotopna razmerja in sklepati na toplejša in hladnejša obdobja, na stopnjo sončnega sevanja in druge klimatske pogoje sedimentacije sige. Če so predhodno taiste plasti sige ali kapnika tudi radiometrično datirane, je možno različna klimatska nihanja tudi kronološko opredeliti. Kako so na podlagi navedenih izotopnih razmerij v naših sigah odražajo klimatska nihanja kvartarja ne vemo, ker, žal, ustrezne analize še niso zastavljene.

Starost sige poskušajo preučevati tudi s paleomagnetno metodo. A. Latham (1977) namreč meni, da so nosilci remanentnega (prirodnega, detritičnega, kemičnega) magnetizma znatno bolje fiksirani v sigi kot pa v gibljivih nevezanih sedimentih oceanskega dna in kopnega ali pa v tektonsko premaknjenih lavah, kjer so doslej ugotavljali paramagnetne pojave mlajšega terciarja in kvartarja.

Paleomagnetna metoda sloni na spoznanju, da je bilo zemeljsko magnetno polje npr. v pliocenu in kvartarju nekajkrat normalno, nekajkrat pa reverzno (A. C o x 1969). V zgor-njem pliocenu poznamo reverzno Gilbertovo in normalno Gaussovo geomagnetno epoho, v eopleistocenu in starem pleistocenu pa reverzno Matuyama epoho. Preostali pleistocen in holocen sta v okviru normalne Brunhes epohe, v tej pa poznajo regionalno razširjene in kronološko opredeljene deviacije polaritete tako imenovane »excursions« kot so npr. Laschamp (med 12.500 in 17.000 leti b. p.), Lake Mungo (pred okrog 30.000 leti), Biwa E (49.000), Blake (104.000–117.000), Biwa I (176.000–186.000), Biwa II (292.000–298.000), Biwa III (okoli 350.000) in druge »excursions« (F. W i e g a n k 1977; D. B o w e n 1978; J. F i n k 1978). Ti paleomagnetni dogodki so zelo verjetno dokazljivi tudi v sigi in klastičnih ilovnatih jamskih sedimentih. Žal, v dosegljivi literaturi še nismo našli ustreznih objav, pa tudi o rezultatih paleomagnetnih raziskav v sigi iz Postojnske jame še ne moremo poročati, ker so ustrezne analize še v delu.

RADIOMETRIČNO DATIRANE GENERACIJE SIG

Prvi podatki o ^{14}C radiometrični modelni starosti sige iz Postojnske jame in Zelških jam (W. F r a n k e, M. G e y h, 1971; R. G o s p o d a r i č 1972) so pokazali, da imamo v teh jamah opraviti z interstadialno, postglacialno in holocensko sigo. Nadalje je bilo ugo-tovoljeno, da je holocenska siga nastajala 10-krat hitreje kot interstadialna siga in 10-krat počasneje kot recentna siga npr. v Zelških jamah. Podrobneje analiziran stalagmit iz Jame v Grapi pri Predjami je pokazal zelo različno rast sige v klimatskih obdobjih holocena (A. S l i j e p č e v i č, J. P l a n i n i č 1974).

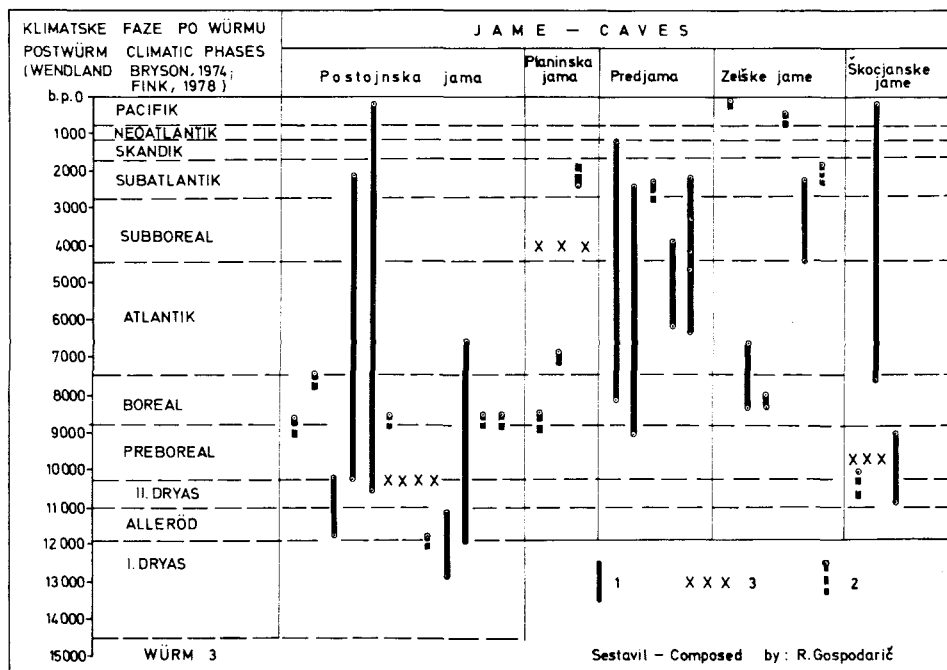
Te prve ugotovitve o več generacijah in različni starosti sige so vzpodbudile nadaljnje vzorčevanje sige še v drugih jamah klasičnega krasa. S ^{14}C metodo so bile med leti 1972–1975 analizirane sige iz Predjame, Vilenice in Škocijanskih jam, dosti vzorcev iz teh jam pa je še vedno v obdelavi predvsem z U/Th metodo. Trenutno imamo doslej zbranih okrog 60 radiokarbonskih, dve U/Th in štiri ESR datacije sige. Večina teh podatkov je zbranih v slikah 1 in 2.

V P o s t o j n s k i j a m i imamo opraviti z interstadialno sigo (40.000 b.p.), ki pa je v mnogih primerih še starejša. Ugotovljena počasna rast te interstadialne sige (okrog 1 mm / 100 let) se namreč ne sklada z velikostjo stalagmitov in stebrov ter njihovo večplast-no sestavo, pa tudi ne s starostjo flišne ilovice, med plastmi sige, s katerimi so občasne po-plave prekinile avtohtono sedimentacijo. Ogromni kapniki so večinoma sestavljeni iz več generacij sige, med katerimi je tista v jedru najbolj verjetno interglacialna (R/W), lahko pa tudi iz riškega interstadiala ali mindel-riškega interglaciala kot dajo slutiti radiometrične analize z ESR metodo.

Zaznavno prekinitev v rasti sige ugotavljamo med 35.000 in 17.700 leti, ko so bili rovi Postojnske jame najprej poplavljeni in obdani z naplavljenjo izvenjamsko ilovico nato pa so jih zajele hladne razmere zadnjega würmskega stadiala, ki so zavirale sigotvornost.

Postglacialna siga se je odlagala že v klimatsko bolj ugodnih pogojih, ki so bili posebej optimalni v atlantiku med 8.000 do 5.000 leti pred sedanostjo.

V P l a n i n s k i j a m i poznamo radiometrično ugotovljeno riško-würmsko intergla-cialno sigo v kapnikih, ki so ponekod v višje ležečih rovih lahko neprekinjeno rastli skoraj do zadnjega würmskega stadiala, drugod, v nižje ležečih rovih pa je jamska reka z naplav-ljenim apnenčevim gruščem prekinila njihovo rast v starejšem würmu in v zadnjem würm-skem stadialu. V holocenu pa gladina podzemeljske reke ni več tako močno varirala; siga se je lahko odlagala v suhih predelih sicer vodnega rova. Za razliko od Postojnske jame,



Sl. 1. Postglacialna rast sige v nekaterih kraških jamah Slovenije ugotovljena s ^{14}C datiranjem (analize - M. Geyh in H. Franke, A. Sliepčević in J. Planinič)
 1 - rast stalagmitov z vrisanimi ^{14}C podatki o modelni starosti
 2 - domnevana rast sige z vrisanim ^{14}C podatkom o modelni starosti
 3 - podorna faza

Fig. 1. Postglacial sinter growth in some karst cave of Slovenia ascertained by ^{14}C dating (analyses by M. Geyh and H. Franke, A. Sliepčević and J. Planinič)
 1 - stalagmites growth rate, ^{14}C data about the model age drawn in
 2 - supposed stalagmite growth with one ^{14}C date drawn in
 3 - collapse phase

treba preveriti v bodoče z bolj načrtno izbranimi vzorci ali pa z bolj popolnimi analizami posameznih kapnikov.

V Južnem rovu Zelških jam so radiometrične analize pokazale le holocensko in recentno sigo. Analizirani stalagmiti so iz boreala in zgodnjega atlantika, nato pa zopet iz subboreala in subatlantika ter tudi povsem recentni. Odsotnost poznoglacialne sige si je mogoče razlagati z domnevo, da je bil tedaj ves Južni rov še vodno aktiven in ne samo delno in občasno tako kot danes.

Preučevanje razvojnih faz Cerkniškega jamskega sistema, katerega sestavni del so tudi Zelške jame, je pokazalo, da moremo tod računati še z interstadialno, morda celo interglacialno sigo (R. Gospodarič 1970). Ostanki starejših sig so namreč še ohranjeni v previsnih stenah številnih tukajšnjih udornic, pa v širokih stalagmitih, ki so denimo v sklepnem delu Južnega rova pokriti s fosilno ilovnato naplavinno.

V Predjamskem podzemeljskem sistemu najdemo sigovo okrasje v vodnih rovih in v više ležečih suhih rovih npr. v Fiženci. Sige pokrivajo alohtone naplavine, med njimi pa jih doslej še niso našli (F. H a b e 1970, 52). Radiometrične datacije štirih vzorcev sige iz Fižence so dejansko pokazale holocensko starost vitkih stalagmitov, v enem primeru pa tudi srednjewürmsko sigo, kakršno smo bolj številno ugotovili v Postojnskem jamskem sistemu.

Če se zadržimo še pri rasti holocenske sige, poglejmo podatke A. S l i j e p č e v i č a in J. P l a n i n i č a (1974, 74) o ^{14}C analizah večplastnega kapnika iz Jame v Grapi, ki je hidrološko sestavni del Predjamskega podzemeljskega sistema. Analizirani stalagmit se je najbolj povišal (za 15 mm / 100 let) med 4.300 in 3.300 leti v atlantiku, najmanj (0,7 mm / 100 let) pa med 3.300 in 2.200 leti na prehodu atlantika v subboreal. Subatlantska klima očitno tudi ni bila več ugodna za rast sige.

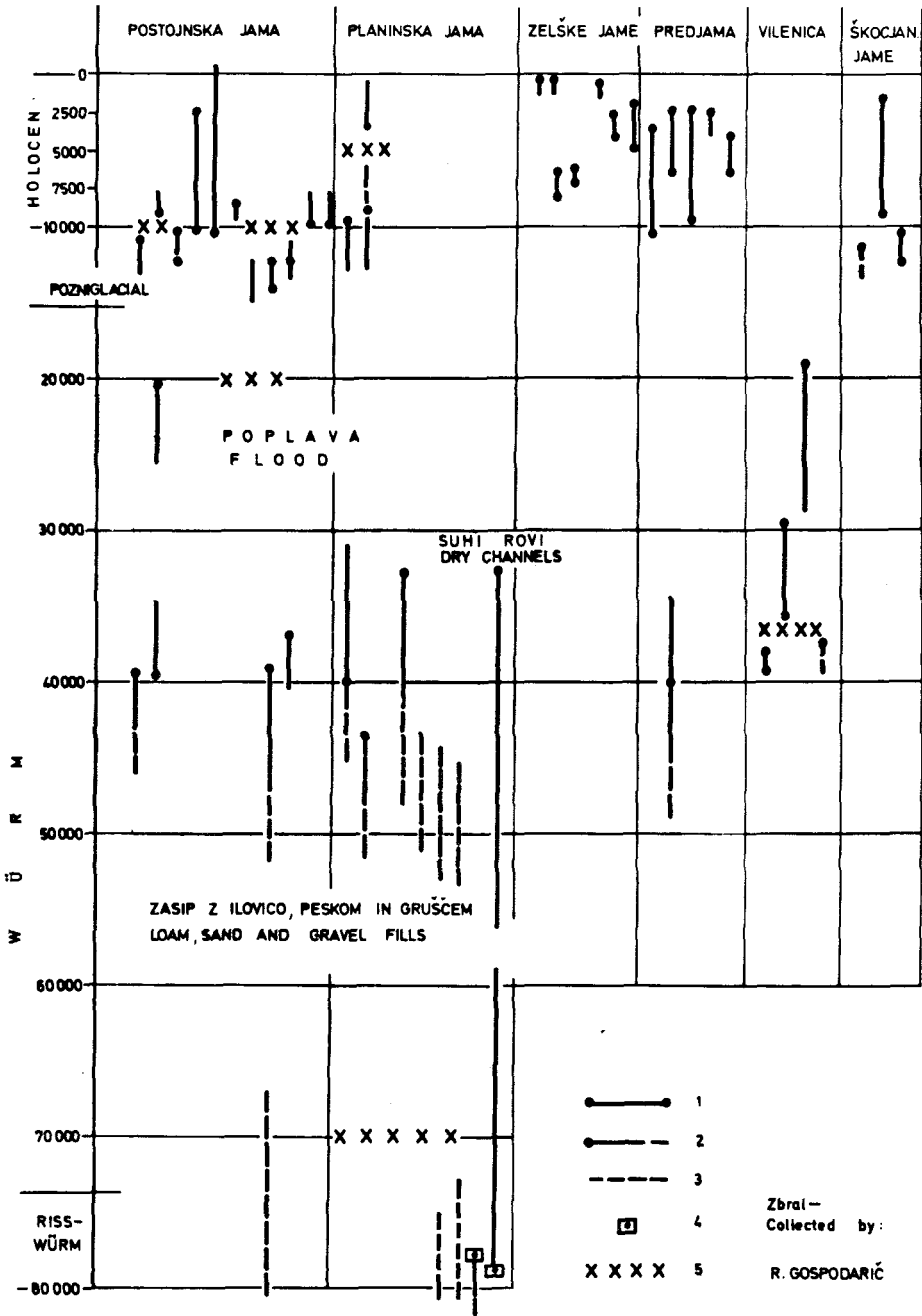
V Škocijanskih jamah so bili orientacijsko analizirani trije samostojni, manjši stalagmiti z namenom ugotoviti njihovo starost in stopnjo rasti. Radioogljikova analiza je pokazala, da je poznoglacialna siga rastla dvakrat hitreje (10 mm / 100 let) kot holocenska siga (5,3 mm / 100 let). Mogočne kope rjavkaste sige in večplastni sestavljeni stalagmiti ter plasti sige med fosilnimi naplavinami v Tihi jami pa dajo slutiti, da je računati tudi v Škocijanskih jamah še z mnogo starejšimi sigami.

Pri treh radiometrično (^{14}C) analiziranih sigah iz Vilenice ugotavljamo interstadijalno sigo iz obdobja med 36.000 in 29.300 leti. Njihovi stalagmiti so se povišali vsakih 100 let poprečno za poldrug milimeter. Ker je tudi to vzorčevanje bilo orientacijsko, ni mogoče zagotovo reči, da mlajših oziroma še starejših sig v tej jami ni.

Iz jam matičnega krasa imamo nasploh zelo malo radiometrično analiziranih sig, prav tako so skromni podatki o relativni starosti sig med fosilnimi naplavinami.

-
- Sl. 2. Skupni pregled radiometrično datiranih würmskih in postglacialnih sig v nekaterih kraških jamah Slovenije. Posebej so označene poplavne faze v Postojnskem jamskem sistemu
- 1 - meritve ^{14}C modelne starosti sige v korenu in temenu stalagmitov (analize M. G e y h in H. F r a n k e)
 - 2 - meritev ^{14}C modelne starosti stalagmita z ekstrapolirano rastjo
 - 3 - domnevna rast sige po stratigrafski legi
 - 4 - U/Th meritev (analize R. H a r m o n)
 - 5 - prodorna faza

- Fig. 2. Common view over the radiometric dated sinter of Würm and Postglacial ages in some caves of Slovenia. The flooded phases in the Postojna Cave System are marked particularly
- 1 - measures of ^{14}C model sinter age in the base and peak of stalagmites (analyses by M. G e y h and H. F r a n k e)
 - 2 - measure of ^{14}C model age of stalagmite with extrapolated growth
 - 3 - supposed sinter growth after the stratigraphic position
 - 4 - U/Th data (analyses R. H a r m o n)
 - 5 - collapse phase



RELATIVNO UGOTOVLJENE GENERACIJE SIG

SIGE MED KLASTIČNIMI SEDIMENTI V PALEOLITSKIH POSTAJAH

Najbolj koristne podatke o relativni starosti sige nudijo objavljeni profili iz paleolitskih nahajališč ob Pivški kotlini. V tem pogledu sta zelo uporabna profila Betalovega spodmola in Parske golobine, ki sta reprezentančna tudi za druge sedimente v jamah ob Pivški kotlini. Spoznanje o sigi s Postojnskega krasa bistveno dopolnjuje tudi temeljito obdelani profil s Črnega kala in jih s tem razširja tudi na matični kras (sl. 7).

Najstarejše sige poznamo v Betalovem spodmolu in Črnem kalu. Iz opisanega in objavljenega profila Betalovega spodmola (S. Brodar 156, 738) je možno razbrati, da so na skalnem dnu in pod alohtono flišno naplavino ugotovili pol metra debelo kristalasto sigo. Tudi odlomljeni stalaktiti v gruščnati plasti nad flišno naplavino so verjetno nastajali na stropu hkrati s to kristalasto sigo po tleh. To pomeni, da je bil skalni spodmol obdan s stropno in talno sigo, preden je ponornica vanj naplavila flišno ilovico in pesek. Po stratigrafskem tolmačenju izkopanih plasti in njih paleolitski ostalini (S. Brodar 1956) je možno obravnavano najstarejšo znano sigo spodmola uvrstiti vsaj v mindel-riss.

K najstarejši znani sigi paleolitskih postaj lahko uvrstimo tudi porušene stalaktite, ki so bili najdeni v bazalni gruščnato ilovnatih plasti Črnega kala (S. Brodar 1958). Ti stalaktiti so namreč mogli nastajati v neporušenem skalnem rovu pred hladnim in poplavnim riškim glacialom. Klastične riške sedimente pokriva plastnata siga z vmesnimi programi rdeče ilovice, verjetno riško-würmske starosti. Do meter debelo plast sige med flišno ilovico v talnini in jerovico v krovlini iz Parske golobine ima F. Osolc (1961) za interglacialno (R/W). Takšna interglacialna siga pa je znana tudi v notranjosti Postojnske jame, denimo pri Slonovi glavi, v Plesni dvorani in v Čarobnem vrtu kot je razbrati iz profilov, ki jih objavlja S. Brodar (1966).

V profilu Črnega kala in Parske golobine poznamo tanke plasti sige würmskih interstadialov. Zelo pogostne so takšne sige tudi v notranjosti Postojnske jame, pa naj pogledamo njih relativno starost med alohtonimi in avtohtonimi (gruščnatimi) sedimenti ali pa njih radiometrične datacije (R. Gospodarič 1972). Seveda so tod izrazite tudi poznoglaciale in holocenske sige, ki pokrivajo vso drugo jamsko vsebino.

Würmske in postglacialne sige slovenskega krasa so kronostratigrafsko opredeljene predvsem po zaslugi paleolitskih izkopavanj, katerih poglobitveni predmet obdelave so prav avtohtoni jamski sedimenti. Poleg tega pa so nekatere sige in organski material mlajšega würma in postglaciala tudi absolutno datirane s ^{14}C metodo (F. Osolc 1975), tako da je v tem pogledu kronologija sig dokaj zanesljiva.

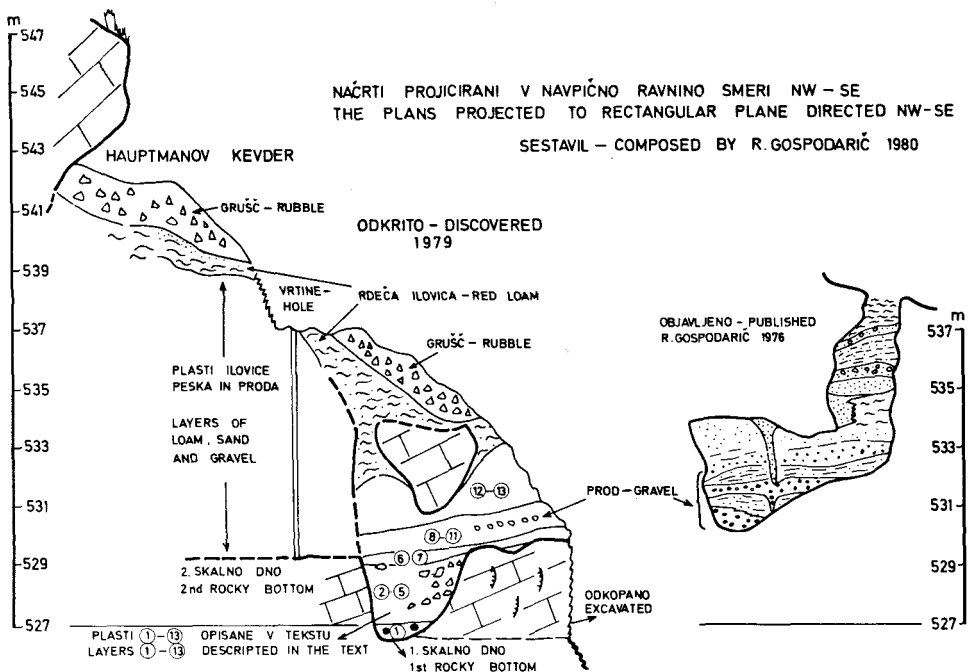
SIGA V SEDIMENTIH NANOVO ODKRITEGA PROFILA PRI POSTOJNSKI JAMI

Leta 1970 so bili za poslopjem hotela Jama odkriti številni, s fosilnimi naplavinami zasuti ponorni rovi. Podrobneje analizirana zasutina v enem takem, 7 m visokem rovu je pokazala zaporedje prodnih, peščenih in ilovnatih plasti s petrografskimi sestavinami, ki so se ujemale s predjamskimi (iz Pivške kotline) in jamskimi sedimenti v Postojnski jami in Planinski jami (R. Gospodarič 1976, 87). Koristna je bila tudi ugotovitev lednih klinov v teh naplavinah, saj je bilo možno domnevati na njihovo riško glacialno starost.

Nove podatke o fosilni zasutini ponornih rogov smo dobili spomladi 1979, ko so gradbeniki z nadaljnjimi zaseki v skalno pobočje zopet odkrili nahajališče prod, peska in ilovice. Tam, kjer je v pobočju že bila nakazana morfološka zajeda in bil znan takoimenovani Hauptmanov kevdar, so v gradbene namene odstranili pobočni grušč; mesto na skalno podlago pa so zadeli na rdečo in rjavo ilovico in pesek. Take naplavine so navrtali nato še 8 m globoko do skalne terase na koti 529 m. Vzporedno s pobočjem so odstranili še 20 dolžin-

skih metrov ilovnatega zasipa in grušča, tako da je bilo videti 10 m širok in približno 6 m visok zasut, proti severovzhodu usmerjeni rov, katerega strop je na mestu izkopa porušen, više v pobočju pa še ohranjen. Poleg tega širokega zasega so nato še poglobili v skalo 3 x 3 m širok in več metrov globok jašek, kjer so poleg žive skale ponovno naleteli na klastične sedimente v niže ležečem ponornem rovu s skalnim dnom na koti 526,5 m (sl. 3). Navedeni podatki so omogočili spoznati sedimente v debelini 15 m med kotami 526,5 m in 541,5 m. Dve tretjini te skupne debeline, se pravi spodnji (7 m) in zgornji (3 m) del, je bilo mogoče podrobneje preučiti. Sestavo prevrtanih plasti pa nismo videli, zato le domnevamo, da jih odražajo sedimenti 50 m oddaljenega profila (objavljenega leta 1976, R. G o s p o d a r i č), ki se s kotami 530 m do 537 m vklaplja v prevrtani del skupnega profila.

Za obravnavano tematiko razprave so posebej zanimivi sedimenti v izkopanem jašku, ker v bazalni plasti vsebujejo prodnike sige. Tu imamo opraviti z zasutim vijugavim rovom s razgaljeno fasetirano južno steno, medtem ko so verjetno podobno izoblikovano severno steno pri zastreljevanju odstranili. Gladko skalno dno je rahlo nagnjeno v notranjost pobočja, kamor vpadajo tudi plasti sedimentov. Zgornji del tega zasutega rova je razširjen in verjetno povezan s prej omenjenim, 10 m širokim rovom. Razgaljene fosilne naplavine v nadaljnjem podrobneje opisujemo predvsem zato, da bomo lahko stratigrafsko opredelili prodnike rjavkaste kristalaste sige, ki smo jih našli v bazalni plasti profila.



Sl. 3. Zasuti ponorni rovi za hotelom Jama

Fig. 3. Buried Ponders behind the Hotel Jama

Opis plasti v profilu (sl. 4):

Na erozijskem skalnem dnu je močnorjava (7.5 YR 5/6, Mounsel Color Card), 0,3 m debela plast 1, slabo sortiran material s 78% proda, 12% peska in 10% ilovice. V plasti so dobro vidne za pest velike krogle apnenca in krogle sige, v produ pa kosi svetlega poroznega roženca in flišnega peščenjaka. V peščeni frakciji je dosti flišnih delcev, kremenca in sljude pa tudi do 10% kosov limonitnih skorij. Različne odstotke teh sestavin smo ugotovili še v krovnih plasteh, ki imajo še okoli 5% organskih primesi.

V obravnavani plasti 1 so najbolj zanimive počrnele krogle apnenca in sige. Ker ima apnenec rudistne ostanke, je nedvomno iz kamnine, v kateri je izdelan zasuti rov. Krogle apnenca in sige je lahko ponorna voda prenesla največ 50 m daleč, se pravi, da so se zaoblike v kotanjah skalnega dna ponornega rova. Siga je očitno nastala nekje v območju rova, še preden jo je ponirajoča voda erodirala in odložila skupaj s sedimenti, ki jih je prinašala iz tedanje Pivške kotline. Siga je torej stratigrafsko starejša kot bazalna plast sedimentov.

Bazalna plast je pokrita z lečo peska plasti 2 ter peskom in prodrom plasti 3. Plast 3 se sredi profila izklini, tako da skupaj s plastjo 2 preide v plast 4. Gre za križno slojevitost in po zrnavosti zelo pestre naplavine, ki se v njih odražajo tudi zelo spremenljive hidrološke razmere med sedimentacijo teh talninskih plasti.

Močnorjava (7.5 YR 5/6) plast 2 je sestavljena iz dobro sortiranega peska, kjer smo pod mikroskopom razlikovali delce belega roženca, rjavega fliša, svetlega kremenca in sljude, do 10% je tudi drobcev apnenca.

Spodnji meter močnorjave (7.5 YR 4/6) plasti 3 (vzorec 3a) je sestavljen iz 24% ilovice, 10% peska in 66% proda oziroma grušča. V prodni frakciji so kosi sige, belega roženca in flišnega peščenjaka, največ pa je korodiranih kosov matičnega apnenca. Zgornji meter plasti 3 (vzorec 3b, 30% ilovice, 23% peska in 47% proda) se dobro razlikuje od spodnjega metra iste plasti po rumenkastorjavi barvi (10 YR 5/8) in po oglatih kosih apnenca, ki so razvrščeni skladno z nagibom obravnavane plasti. Vzorec 3b je pokazal največ apnenca, manj prodnikov belega roženca in najmanj zaobljenih flišnih delcev. Sestava peska je podobna pesku vzorca 3a.

Plast 4 (barva je rumenkastorjava – 10 YR 5/8) se loči od spodnje plasti 3 po progah rumene ilovice ter progah rjavega peska in proda. Bliže steni profila se progasta razdelitev izgubi, tako da se naplavine (plasti 3 in 4) križno nadomeščajo. Zgornja meja plasti 4 je valovita in se ostro loči od uravnane krovine (plast 5). Vzorec plasti 4 je pokazal 40% ilovnate, 43% peščene in 17% prodne frakcije. V produ je največ apnenca, delež flišnih in roženčevih prodnikov pa je približno enak. Delcev flišnih kamnin je precej še v peščeni frakciji, kjer najdemo tudi nekaj kosov limonitnih skorij in cevki.

Pri odlaganju plasti 4 so bile sedimentacijske razmere bolj umirjene kot v plasteh talnine in krovine, pa tudi transportna moč ponorne vode je bila manjša. Manj izdatno je bilo tudi krušenje apnenčevih sten.

Plast 5 je debela 0,8 m. Odlikuje se po oglatih kosih rudistnega apnenca (tudi do velikosti človeške glave), ki so brez reda razporejeni. Videti je le, da so v spodnjem delu plasti večji kosi apnenca, v zgornjem delu pa manjši. Navzgor se povečuje odstotek flišnih prodnikov, prodnikov belega roženca pa je povsod v plasti zelo malo. Očitno imamo ponovno opraviti s pospešenim krušenjem skalnega rova in pobočja ob istočasni eroziji flišnih strukturnih tal v ponornem območju. Sedimentacija se je odvijala v hladnejši klimi kot poprej, ko se je v toplejši klimi odlagala plast 4. Neenakomerno razporejeni kosi apnenca v plasti 5 kažejo morda tudi na krioturbske pojave.

Plast 6 je debela 0,3 m in sestavljena iz drobnega peska (40%), melja (50%) in 10% gline (vzorec te plasti je s pipetno analizo pregledal A. K r a n j c). Poprejšnji grobi izgled profila se s to rumenkasto (10 YR 7/8) plastjo naenkrat spremeni. Računati je z bolj ali manj mirujočo ponornico, ki je odložila ilovnato naplavino brez karbonatnih sestavin.

Plast 7 je še bolj ilovnata kot njena talnina, sestavljajo jo proge rumenega melja in rjavorumene proge zelo drobnega peska.

Plasti 8 do 11 so bile razgaljene v razširjenem delu zasutega rova v debelini skoraj enega metra. Njihova skupna značilnost so progasta tekstura in črnkaste, verjetno manganizirane drobne plasti flišnega proda in peska. S takim materialom začenja plast 8, s prodrom sta bogati tudi plasti 9 in 11. Vmesna plast 10 je pretežno ilovnata in peščena, ima pa edina v tej seriji nekaj karbonatnih sestavin. Ta skupna serija ima spodaj rumenkastorjavo (plast 8 = 10 YR 4/6); nato zelo temnosivkastorjavo (plast 9 = 10 YR 3/2), ponovno temnorumenkastorjavo (plast 10 = 10 YR 4/6 in končno v plasti 11 temnosivkastorjavo (10 YR 4/3) barvo. V tej seriji prevladujejo flišne sestavine, nekoliko manj pa je delcev svetlega poroznega roženca.

Obravnane plasti 8 do 11 so po zrnivosti, petrografski sestavi in po legi zelo podobne plasti 10 do 6 v sosednjem profilu, ki je že podrobneje opisan (R. Gospodarič 1976, 87). V tem objavljenem profilu so prav tako manganizirane plasti stratigrafsko uvrščene v riški glacial. Ponuja se sklep, da obe manganizirani seriji v obravnavanem in objavljenem profilu imamo za stratigrafsko ekvivalentni.

V krovlini manganizirane serije sta plasti 12 in 13 sestavljeni iz pasovitega ilovnato peščenega materiala rumenkastorjave (10 YR 5/8) barve. Očitno pa je bil ta sediment kasneje delno erodiran, saj njegovo neravno površino pokriva rdeča ilovica, ki se je skozi prevotljeno pobočje nasula na fosilne naplavine.

Za navrtane naplavine našega profila med kotami 533 m in 537 m je predvsem po stratigrafski in višinski legi možno sklepati, da so podobne vrhnjim flišnim naplavinam v sosednjem, že predčasno opisanem profilu (R. Gospodarič 1976, 87).

Prodnopeščene in peščenoilovnate sedimente našega profila med kotami 537 m in 542 m v okviru te razprave podrobneje ne obravnavamo. Reči pa je treba, da s koto okrog 542 m nakazujejo zgornjo mejo zelo izrazite alohtone sedimentacije v ponornih jamah med Pivško kotlino in Postojnskimi jamami, ki jo je pri stratigrafskih raziskavah jamskih sedimentov ugotovil že S. Brodar (1952).

Iz opisanega profila in sedimentov lahko razberemo nekaj značilnosti, pomembnih za njihovo stratigrafsko opredelitev, kjer mislimo predvsem na kose sige, ki smo jih v teh naplavinah našli. Prva značilnost so bolj prodnati oziroma gruščnati sedimenti v spodnjem delu profila (plasti 1 do 5) kot v zgornjem delu profila (plasti 8 do 13). Druga značilnost so prevladujoči, napol zaobljeni ali oglati kosi apnenca in sige v spodnjih plasteh ter prevladujoče flišne sestavine brez apnenčevega grušča v zgornjih plasteh. Delež prodnikov in peska belega roženca ter kosov limonitnih skorij in cevki je povsod približno enak. Tretjo značilnost vidimo v križno slojevitih in neenakomerno debelih plasteh v spodnjem in bolj enakomerno sedimentacijo v zgornjem delu profila. Po teh razlikah upravičeno sklepamo na različne hidrološke razmere in klimatske pogoje med odlaganjem spodnje in zgornje serije sedimentov.

Kosi matičnega apnenca v spodnji seriji so se mogli odkrušiti le od stropa in sten ponornega rova, morebiti tudi bližnjega skalnega pobočja. Hkrati z apnencem so se v tem rovu odlamljale tudi stropne in stenske sige, ki pa so morale nastajati v skalnem rovu že pred zasipavanjem. Odkrušeni material je bil brez reda sedimentiran med alohtono naplavino, ki jo je intenzivno nanašala in odlagala ponornica iz Pivške kotline. Neenakomerno razporeditev grušča so lahko povzročili tudi morebitni krioturbatski procesi. Sedimenti spodnje serije so bili vsekakor odloženi v izdelan podzemeljski prostor v nekem zelo hladnem, a vseeno humidnem obdobju pleistocena.

Hladnodobni pa so tudi sedimenti zgornje serije (plasti 8 do 11), saj so stratigrafsko, petrografsko in po legi zelo podobni spodnjim sedimentom v sosednjem že večkrat omejenem objavljenem profilu. Te sedimente smo na podlagi obsežne primerjave z drugimi fosilnimi naplavinami v obsegu Postojnskega jamskega sistema in Pivške kotline ter z ugotovitvijo lednih klinov v njih, uvrstili v riški glacial. Vse kaže, da imamo v obravnavanem profilu opraviti s hladnodobno spodnjo serijo in s hladnodobno zgornjo serijo sedimentov.

Nagibamo se k sklepu, da sta obe seriji riški, ustrezata lahko prvemu in drugemu riškemu stadialu. Vmesni bolj toplodobni ilovnati plasti 6 in 7 pa kažeta na riški interstadial.

Nadalje sklepamo, da so kosi sige, najdeni v sekundarni legi med sedimenti spodnje serije, mogli primarno nastajati v ustrezni toplejši in humidni klimi že pred riškim glacialom, v poštev pride predvsem mindel-riški interglacial. Ta sklep podpirajo ugotovitve iz predhodnega poglavja, kjer smo spoznali, da so tedaj mogle nastajati tudi najstarejše sige v sosednjem Betalovem spodmolu in v bolj oddaljenem Črnem kalu. V kolikor pa bi se v bodoče izkazalo, da so sedimenti spodnje serije kot ekstremno hladnodobni bili odloženi že pred riškim glacialom, denimo v mindelskem glacialu, potem so seveda obravnavane bazalne sige še starejše, lahko tudi kromerijske (interglacial günz-mindel) starosti.

SIGE MED NAPLAVINAMI V KRIŽNI JAMI

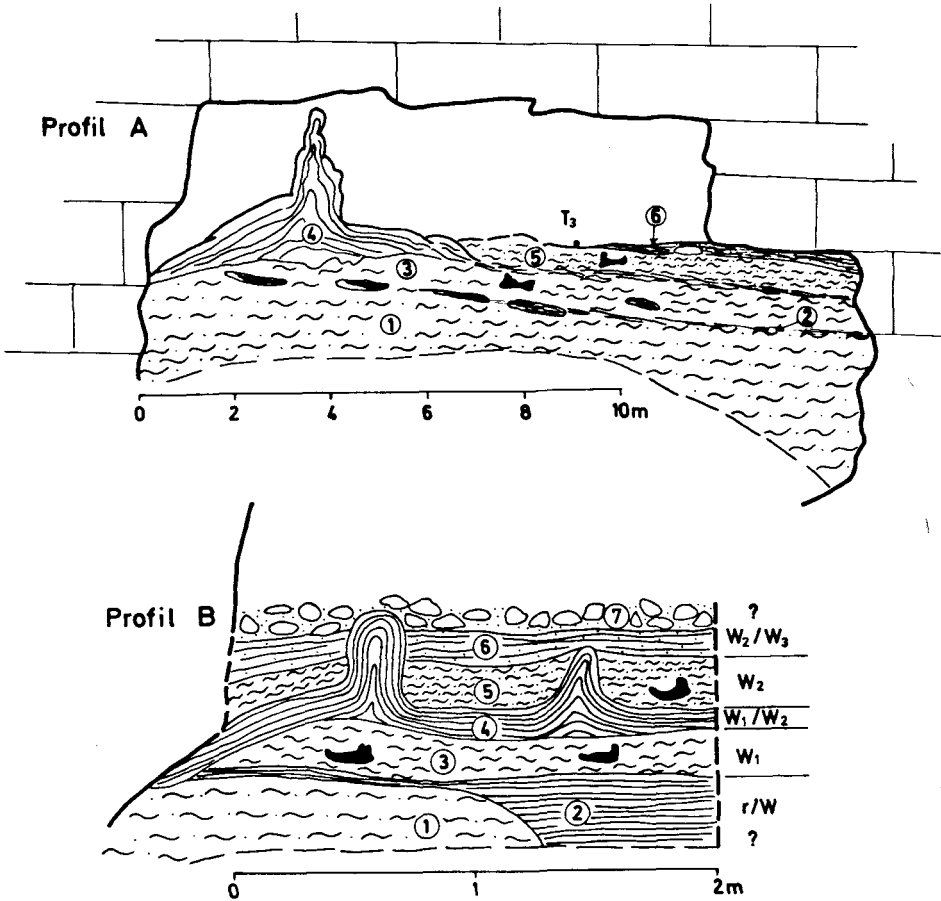
Na skalnem dnu in stenah glavnega rova Križne jame so na več mestih ohranjeni erozijski ostanki rdečkasto prozorne sige. Ker je ta siga bistveno drugačna kot pa siga vrh podornih gričev in med peščeno-ilovnatimi plastmi v suhih rovih, domnevamo, da je stratigrafsko najstarejša kolikor jih doslej tod poznamo. Lahko je riško-würmska, najbolj verjetno pa mindel-riška, saj pokriva in zleplja v konglomerat najstarejšo znano prodnato naplavino Križne jame (R. Gospodarič 1974).

Stratigrafsko zaporedje mlajših sig in naplavin je razvidno v profilih iz Medvedjega rova Križne jame, ki sta jih objavila M. Brodar in R. Gospodarič (1973). V dveh takih profilih (sl. 5) vidimo spodnjo plast (1) ilovice in peska, kako jo pokriva neenakomerno debela plast sige (2), v njeni talnini pa domnevamo zgoraj omenjeno najstarejšo sigo in naplavino. Plast sige (2) je pokrita s pol metra debelo plastjo rdečkastorjave ilovice (3), ki vsebuje že kosti jamskega medveda. Tej plasti sledi plošča kristalaste svetlosive sige (4) s pol metra visokimi svečastimi stalagmiti. To je najbolj izrazita siga v vsem Medvedjem rovu. Na njej leži rdečkasta ilovica (5), kjer so kosti jamskega medveda najbolj številne. Vrhnja siga (6) je debela ponekod 60 cm, drugod pa sploh ni bila odložena, tako da so sekundarna jamska tla ponekod sigova, drugod ilovnata, kosti jamskega medveda so kar na površini tal.

Iz povedanega sledi, da so se odlagali sedimenti ob različnih hidroloških in klimatskih razmerah. Spodnja alohtona ilovica in pesek sta bila odložena iz počasi tekoče (zajezone) jamske reke v humidni in verjetno toplejši klimi, če sodimo po pogostnih karbonatnih skupkih med ilovico. Ko se je nato jamska reka umaknila, je kapnica odložila sigo, ki jo je kmalu za tem ponovno prekrila voda in odložila nanjo paravtohtono rdečkastorjavo ilovico. Sklenjena kristalasta siga s stalagmiti kaže na naslednjo sigotvorno fazo, pasovita ilovica nad njo pa zopet občasna poplavna in suha obdobja. Vrhnja siga je holocenska.

Pod kristalasto sigo (4) in nad njo najdene kosti govorijo, da gre za dve hladnejši obdobji, ko je v jami prebival jamski medved. Po podatkih I. Rakovca (1975) je jamski medved najbolj pogostni obiskovalec kraških jam v srednjem in spodnjem würmu, najden pa je bil na krasu tudi v riško-würmskih, v enem primeru pa tudi riških sedimentov. Vsekakor je jamski medved konec würma izumrl, pa je za stratigrafske razmere v Križni jami možno reči, da je ilovnata plast (5) s kostmi zanesljivo starejša od zadnjega hladnega würmskega stadiala. S tem pa je logično opredeljena tudi izrazita kristalasta siga s stalagmiti (plast 4), ki more biti srednewürmska. Nadalje je možno sklepati, da je alohtona ilovica pod to sigo starowürmska, prav tako fosilne kosti jamskega medveda najdene v njej. Po tej presoji je nadalje siga plasti 2 verjetno že interglacialna (R/W).

V Križni jami imamo potemtakem opraviti s štirimi generacijami sige, ki se jih da približno kronostratigrafsko vzporejati s podobnimi generacijami sige v Postojnskem jamskem sistemu in v drugih kapniških jamah klasičnega krasa.



Sl. 5. Križna jama, dva odkopana profila (A in B) mladopleistocenskih sig in naplavin (1 do 6)

Fig. 5. Križna jama, two excavated sections (A and B) of Upper Pleistocene sinters and fills (1 to 6)

SIGA V JAMI DIMNICE

Jama je sestavljena iz obsežnega fosilnega vodnega rova na nadmorski višini okoli 530 m in dveh sifonsko oddvojenih aktivnih vodnih rogov na nadmorski višini okoli 450 m. Povsod so ohranjene erozijske oblike rogov in izvenjamske klastične naplavine (prod, pesek, ilovica). Ohranjeni pa so tudi drugi jamski sedimenti, med njimi raznovrstni gruščji in sige. Alohtoni in avtohtoni jamski sedimenti se pojavljajo v različno debelih plasteh in medsebojnih stratigrafskih razmerjih, ki odražajo več speleogenetskih procesov. Zaenkrat pa поблиže pogledimo samo del navedene problematike na primeru enega profila.

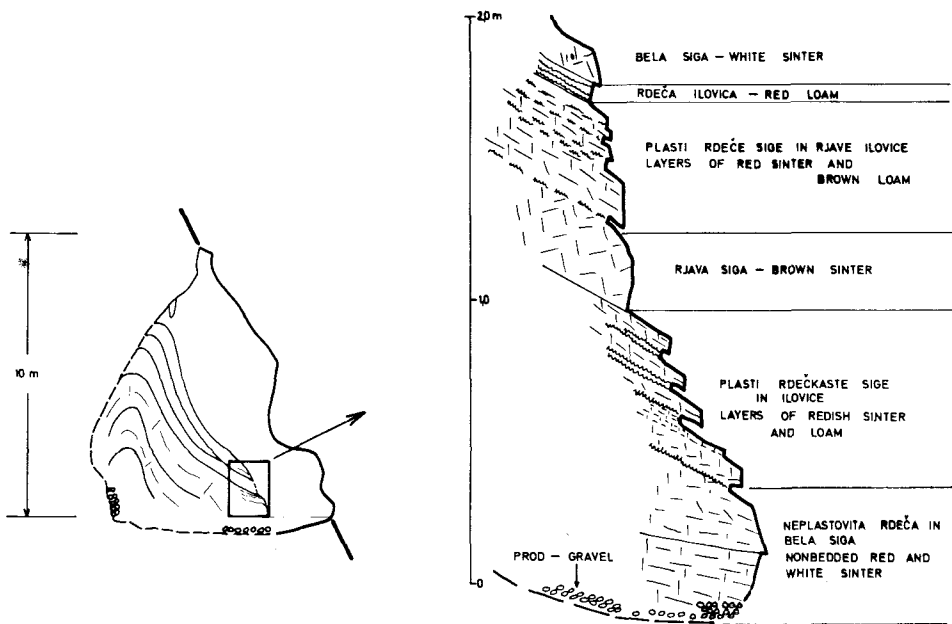
Na sliki 6 je prečni profil skalnega rova suhe etaže. V debelo skladovitem senonskem apnencu je viden erozijski rov trikotne oblike. Na eni steni so še ohranjene erozijske police in kotlice, na drugi steni pa poleg teh še ostanki sprijetega alohtonega proda. Skalno dno je domnevno pokrito z alohtonim prodom in ilovico, kajti v sosednjih profilih vzdolž jame je videti, da siga takšno naplavino neposredno pokriva. Več kot polovica obravnavanega dela rova je zapolnjena s kopo sige, ki sega skoraj do vrha 10 m visokega rova, razteza pa se tudi vzdolž rova 15 m daleč. Na tem odseku je bila jama prvotno skoraj neprehodna. Zato so pri nadelavi turistične poti odstranili del kope, da so omogočili zložen dostop v sklepi vzhodni del jame. S tem pa so razkrili 2 m visok in 10 m dolg presek plastnate kope.

Najnižje je razgaljena neplastovita rdeča in bela siga. Pokriva jo plastnata rdečkasta siga, kjer so vmes centimeter debele proge rdeče ilovice. Zelo jasna je naslednja 25 cm debela plast rjave sige z razločno vidnimi makrokristali kalcita. Navzgor prehaja ta siga v rdeče plasti sige, kjer so vmes štiri proge rjave flišne ilovice v skupni debelini 7 cm. Plast rdeče ilovice in nato bela siga sestavljata zgornji, krovni del kope. Stratigrafske razmere v opisanih sedimentih odražajo sprva alohtono, nato pa menjavajočo avtohtono in alohtono sedimentacijo sige in ilovice, ki je sklenjena z rastjo holocenske sige. Žal, pa to sedimentacijsko zaporedje ni mogoče kronološko opredeliti, ker ne poznamo iz jame Dimnice nobenega zanesljivega kronostratigrafskega reperja. Pri presoji relativne starosti se lahko opi-ramo le na spoznanja iz drugih jam klasičnega krasa.

Iz dokaj enotnega in najmanj 2 m debelega kompleksa sig je možno sklepati na dolgo sigotvorno fazo s krajšimi vmesnimi prekinitvami, ko se je odlagala ilovica. V grobem lahko govorimo o eni generaciji sige, katere rast je bila na kratko nekajkrat prekinjena ob usedanju rdeče in rjave ilovice. Najbolj verjetno gre za riss-würmsko sigotvorno fazo. Pri sedimentaciji alohtone flišne ilovice iz poplavne vode med plasti sige so morali obstajati v podzemlju in na površju nekoliko drugačni klimatski, predvsem hidrološki pogoji kot pred to poplavo in za njo, ko se je odlagala samo siga in rdeča ilovica. Morda so tanke proge flišne naplavine nek znak hladnejšega presledka v okviru navedenega interglaciala. Ni pa jasno ali tudi rdeča ilovica med plastmi sige nakazuje klimatske spremembe. Izvor te ilovice je lahko posledica pospešenega dotoka prenikujoče vode skozi preluknjani strop (v tem primeru bi površje moralo biti prekrito s terra rosso), ali pa gre za paravtohtono naplavino iz kraške vode, katere potočki oziroma jezerca so občasno zalila rastočo kopo in nanjo naložila ilovico, akumulirano sicer nekje drugje v rovu.

V pomoč pri starostni opredelitvi lahko pritegnemo spoznanja o pojavljanju sige drugod po jami. Starejše sige so povsod v kopastih stalagmitih tudi neverjetnih razsežnosti (15 m visoko, 8 m široke), mlajše sige pa gradijo samostojne skupine cipresastih stalagmitov in stebrov ali pa oblivajo kope starejše sige. Tudi glede barve in makroskopske sestave je možno nasplošno reči, da imajo starejše sige mnogo ilovnatih primesi in so plastnato sestavljene, mlajše sige pa so belkaste in drobno kristalinske. Prve govorijo za počasno, večkrat prekinjeno rast, druge pa za hitro, enotno rast. V teh lastnostih so podobne ostalim sigam v jamah Matarskega podolja (Brimšča, Medvedjak in druge), pa tudi sigam v Postojnskem jamskem sistemu. Še celo pa se kaže podobnost z debelo interglacialno plastjo sige v Črnem kalu ali v Parski golobini, kjer so vmes tudi proge rdeče ilovice.

V Dimnicah so vidni še drugi speleogenetski pojavi npr. podrte kope in stebri, ki so sledili odložitvi alohtone ilovice, nadalje nasipine grušča in podorne skale pod mlajšo sigo ter drugi podobni pojavi. Današnja morfologija jame kaže tudi na erozijske in akumulacijske pojave v nižje ležečih vodnih rovih, ki so vplivali na izpiranje in destrukcijo starejših sedimentov v više ležečih suhih rovih. V elipsastem vodnem rovu, ki po razsežnostih sploh ni primerljiv s fosilnim rovom, je jamska reka najprej erodirala skalo, nato nanese flišni prod, se umaknila iz rova, da je siga lahko zalila naplavljenе sedimente; nato pa je ponornica ponovno vdrla v rov, erodirala sprijeto naplavino in trdno skalo ter poglobila skalno strugo. Vse kaže, da so v vodnem rovu vidne posledice speleogenetskega dogajanja v zadnjem glacialu in postglacialu, v fosilnem rovu pa iz interglacialnih in glacialnih dob srednjega pleistocena.



Sl. 6. Dimnice, zgradba sigove kope

Fig. 6. Dimnice Cave, structure of sinter pattern

Skupne in različne speleogenetske pojave in procese iz suhe in vodne etaže še ni mogoče zadovoljivo kronološko uskladiti, ker manjkajo nekateri osnovni speleografski podatki in podrobnejša analiza jamske vsebine. Ko bodo sestavljeni natančni načrti, bo možno bolj natančno preučiti, kje so alohtone naplavine pojavljajo, kako se medseboj razlikujejo in kako se prepletajo z avtohtono sigo v suhi in vodni etaži. Poleg opisane, po vsej verjetnosti interglacialne in interstadialne würmske sige, bo tedaj možno soditi še na pojave morebitne starejše sige.

Zaenkrat ohranimo v spominu ugotovitev, da je računati z dolgotrajno sigotvorno fazo (verjetno v interglacialu riss-würm) in njeno nekajkratno prekinitivjo s poplavo oziroma akumulacijo izvenjamske flišne ilovice. Prav tako si velja zapomniti, da je siga prekrila alohtoni flišni prod, sediment starejše akumulacijske faze. Če je siga posledica humidnotople klime, potem je lahko flišni prod kot bistveno drugačen fluvialni sediment, pokazatelj hladnejše, najbrže tudi humidne klime. V poštev pridejo riška in še starejše glacialne dobe.

SKLEPI IN NADALJNI PROBLEMI

S primerjalno analizo objavljenih in na novo odkritih profilov, ki obravnavajo radiometrično in relativno datirane sige, smo ugotovili, da je v kraških jamah Notranjskega in Primorskega krasa računati z več sigotvornimi fazami v srednjem in mlajšem pleistocenu ter v holocenu:

Geokronološko uvrščene in preučene profile ter druge ustrezne podatke smo združili v skupno pregledno tabelo (sl. 7). V stolpcih smo pokazali geomagnetne epohe in kronologijo kvartarja ter podatke o radiometrično datiranih sigah v jamah Slovenije. Te primerjamo s stolpcem o hladnih in toplih klimatskih obdobjih zgornjega in srednjega kvartarja, kakor so bila ugotovljena na podlagi izotopnih preiskav v sigi iz Evrope in Amerike. V stolpcih 1 do 10 so zarisane relativno datirane sige med gruščmi, rdečimi ilovicami in alohtonimi naplavinami iz naših jam. Označene so domnevne erozijske faze in hiatusi med temi sedimenti ter krioturbatskimi pojavi v njih. S temi podatki smo na podlagi dosedanjega znanja poskusili kronostratigrafsko primerjati jamske sedimente in sige. Sintetična tabela naj rabi kot delovna podlaga za nadaljnje preučevanje geokronologije kvartarja na Slovenskem krasu.

Najstarejši znani jamski sediment se kaže prod pisanega roženca, ki je bil že predčasno (R. Gospodarič 1976) ugotovljen na skalni podlagi zasutih rovov v Otoški jami in Planinski jami, a tudi na zakraseli podlagi Pivške kotline pri Prestranku. Ta naplavina se stratigrafsko in petrografske močno razlikuje od drugih, pretežno flišnih prodomov. Verjetno je nastajala v klimatskih razmerah starejšega ali zgodnjega srednjega pleistocena, ki so bile drugačne kot v ostalem pleistocenu. V sintetični tabeli (sl. 7) smo ta sediment zaenkrat uvrstili v mindelski glacial.

Tudi starost najstarejše generacije sige ni jasna. Nепreverjena radiometrična datacija nekega stalaktita iz Postojnske jame z ESR metodo (M. Ikeya 1978) daje slutiti na kromerijsko ali vsaj mindelsko (njegov prvi interstadial) generacijo. Sigotvorno fazo v mindelskih stadialih je v naših krajih možno domnevati glede na najdbe v Evropi in posebej v jamah Anglije, kjer so ustrezno sigo ugotovili z U/Th metodo (A. Waltham, R. Harmon 1977).

Mindel-riško generacijo sige najdemo v sekundarni legi med flišnim prodromom v Betalovem spodmolu in zasutih ponornih rovih Postojnske jame ter v Črnem kalu; v Križni jami pa kot erozijske ostanke v primarni legi nad bazalnim prodromom. Krajem tega aridnega interglaciala in ob prehodu v riški glacial je sigo še zanesljivo nastajala kot kaže ESR datacija stalaktita iz Pisanega rova Postojnske jame. V tedanji suhi in topli klimi so bili klasični sedimenti na površju in kraških poljih limonitizirani, na kraškem površju pa sta nastajala terra rossa in roženčev grušč iz paleocenskega in zgornjekrednega apnenca, če upoštevamo samo širše območje Pivške kotline.

Riški glacial se javlja z intenzivnim erodiranjem površja in nasipavanjem sedimentov v podzemlju ob hkratnem mehanskem razpadanju apnenčevih pobočij in ponornih jam. Na Postojnskem imamo v enih jamah izrazito alohtono naplavino z vodilnim prodromom belega roženca, v drugih jamah pa zasoje alohtonega in avtohtonega materiala, ki so krioturbatsko deformirani. V toplejšem riškem interglacialu se pojavljajo ilovnate plasti, ne poznamo pa sig.

Riss-würmski interglacial je značilen po petrološko, strukturno in kemično izraziti sigi. V tedanji kontinentalni gozdni stepi in zmernem gozdu so vladali ugodni pogoji za njeno nastajanje, tedanja klima pa je ustrezala tudi odlaganju rdeče ilovice med sigo. Rdeča ilovica odraža verjetno mindel-riško prst, ki so jo padavine že med riškim interstadialom različno intenzivno odplakovale v zakraseli apnenec oziroma v kraško podzemlje. Ob humidni klimi obravnavanega interglaciala verjetno terra rossa ni mogla nastajati na kraškem površju. Problem kronostratigrafske uvrstitve rdeče ilovnatih plasti ostaja vsekakor odprt, prav tako njen nastanek na kraškem površju, ki ni niti pedološko niti kronološko prav znan.

Würmski glacial se odraža v pestrih sedimentih v različnih jamah. V splošnem so sige omejene na interstadialne otoplitve, gruščmi na stadialne ohladitve. Najbolj izrazit je grušč iz viška glaciala okrog 20.000 let, jasen tako v notranjosti rovov kot pri jamskih vhodih. Tudi grušč iz prvega stadiala tega glaciala je kot avtohtoni ali kot paravtohtoni sediment zelo pogosten (npr. v Planinski jami). Podrobnejša analiza sedimentov würmskega

glaciala kaže na pestro sedimentacijo in s tem na številne nerešene stratigrafske probleme. Opozoriti velja na problem sočasnega nastajanja sige v notranjosti jam in grušča ob njihovih vhodih (npr. v Postojnskem jamskem sistemu), nadalje na problem različne debeline enih in drugih plasti nastalih v enakih časovnih obdobjih ter končno na vpliv alohtone sedimentacije na oblikovanje ponornih in izvirnih jam.

V würmskem glacialu je računati z različnim geomorfološkim razvojem fosilnih in aktivnih rovov, nadalje z razpadom fosilnih rovov in njihovem vplivu na zaježitev in nihanje gladine ponorne kraške vode. Zadnjo večjo poplavo v Postojnski jami dokazujejo naplavljeni ilovice do 536 m nadmorske višine, kar je 7 m nad današnjim turističnim vhodom v to jamo. Poplavno ilovico med sigami poznamo tudi v izvirni Planinski jami, v ponornih jamah ob Cerknškem polju, v bolj oddaljeni pretočni Dimnici, pa še v drugih jamah na krasu. To daje slutiti na podobne klimatske razmere v širši regiji in na določeno kronostratigrafsko vrednost ilovnatih naplavin med sigami.

Pozni glacial in holocen se v jamah odražata v različni rasti sige, v razpadanju fosilnih rovov in podiranju starejše sige ter s poplavnimi ilovicami. Študij teh speleogenetskih procesov v vodnoaktivnih rovih se navezuje že na recentna dogajanja v kraškem podzemlju.

Uporabljene geološko-radiometrične in geološko-stratigrafske metode ter primerjalne analize so privedle do zanimivih sklepov o generacijah sige v jamah klasičnega krasa. Ker se sige vedno bolj kažejo kot zanesljiv paleotemperaturni pokazatelj, je zaželeno nadalje preučevati njihovo stratigrafsko lego med alohtonimi sedimenti ter ugotavljati njihove geološke lastnosti z modernimi fizikalno-kemičnimi analitičnimi postopki. Med temi postopki imajo posebno težo paleomagnetne analize, saj jih je mogoče uporabiti tako za sige kot za klastične jamske sedimente, ki sigo največkrat obdajajo. Ko bomo uspeli izpeljati še stratigrafske povezave s paleontološkimi, paleolitiskimi in palinološkimi najdbami, bomo še mnogo več vedeli o kvartarni geologiji našega krasa kot vemo danes.

ZAHVALA

Radiometrične analize s ^{14}C metodo so opravili v Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung iz Hannovra pod vodstvom prof. dr. M. G e y h - a , vzorce zanje pa so poleg avtorja razprave nabrali še dr. H. F r a n k e iz Münchna, dr. I. G a m s iz Ljubljane in dr. F. H a b e iz Postojne. Leta 1978 so navedeni raziskovalci sestavili skupno poročilo o rezultatih analiz, ki pa ga bodo po dogovoru vsak zase posebej objavili oziroma uporabili pri svojem nadaljnjem tovrstnem preučevanju. Na tem mestu se ponovno zahvaljujem prof. dr. M. G e y h - u in dr. H. F r a n k e -ju za dragoceno pomoč in analize, prav tako tudi dr. I. G a m s u in dr. F. H a b e t u , ki sta dovolila vključiti podatke iz Predjame, Škocijanskih jam in Vilenice v skupni tabeli. Upam, da bodo zbrani podatki koristili omenjenim kolegom in vsem drugim raziskovalcem jamskih sedimentov, kvartarne geologije in klime. Na MacMaster University v Hamiltonu je R. H a r m o n analiziral sige iz Planinske jame z U/Th metodo. Leta 1978 sta dr. D. F o r d in avtor zbrala nadaljnje vzorce za tovrstne analize, ki pa, žal, še niso opravljene. Radiometrične meritve in datacije z ESR metodo je na treh vzorcih iz Pisanega rova Postojnske jame opravil tudi M. I k e y a iz Technical College, Yamaguchi University, Japonska. Tudi tem kolegom se za izkazano pomoč iskreno zahvaljujem.

Summary

SINTER GENERATIONS IN CLASSICAL KARST OF SLOVENIA

Older and recent speleological literature deals with sinter in karst caves of Slovenia from speleographic, morphological, stratigraphical, climatical, speleogenetic and other points of view (F. Hohewart 1832-34; A. Schmidl 1854; E. A. Martel 1894; A. Perko 1910; A. Šerko and I. Michler 1948; S. Brodar 1952; 1966; F. Osole 1961; I. Gams 1965; 1968; R. Gospodarič 1970; 1974, 1976, and others). In last ten years several corresponding investigations contributed new facts about relative and radiometric sinter age, thus it is even from geochronological point of view possible to survey the appearance of sinter in classical karst of NW Dinarids.

Geochronology and dating methods of Quaternary sediments are already well developed in the world. Physico-chemical methods of dating the superficial and cave sediments have contributed a lot to the knowledge of Quaternary, specially Pleistocene geology and climate (A. Cox 1969; J. Duplessy 1971; H. Cooke 1973; R. Harmon et. al. 1975; 1978; M. Ikeya 1976; 1977; 1978; T. Atkinson, R. Harmon, P. Smart 1977; A. Wattham, R. Harmon 1977; N. Populinas 1977; F. Wiegank 1977; A. Latham 1977; D. Bowen 1978; J. Fink 1978; M. Ikeya, T. Miki, R. Gospodarič 1980 and others). Regional data about the Quaternary climate and geology have been stated by palinological analyses of terrestrial sediments (A. Šercelj 1966; 1970), by paleolithic excavations and paleontological findings (S. Brodar 1952; 1966; 1970; F. Osole 1968; 1975; I. Rakovec 1975) and by investigations of clastic cave sediments (R. Gospodarič 1970; 1974; 1976) even in the region of classical karst of Slovenia. In Postojna, Planina, Zelške Caves in Predjama underground system, Vilenica and in Škocjan Caves the sinters were radiometrically dated by ^{14}C method (H. Franke and M. Geyh 1971; A. Slijepčević and J. Planinič 1974; R. Gospodarič 1976). First in Yugoslavia they were dated in Planina Cave by U/Th method and in Postojna Cave by ESR method. The data of these analyses are shown on Figures 1 and 2 where chronologically very different Holocene and Postglacial sinter growth, very expressive sinter forming period in Middle Würm and in last Interglacial as well eventual sinter from Middle Pleistocene can be seen.

We tried to complete these radiometric facts and test them by relatively dated sinters lying among clastic sediments of karst caves. From paleolithic stations from the karst, as are f. e. Betalov spodmol near Postojna, Parska golobina near Pivka, and Črni kal above Koper the sinter under Riss sediments and above them are known, as well as in the layers between Würm rubble and deposits. The study of 15 m high profile, discovered in 1979 near Postojna Cave (Figures 3-4) was very useful. In the base of these cold climate allochthonous deposits of Riss age were namely found pebbles of sinter, which could be at least Mindel-Riss age, if they are not older. As in similiary secondary position are preserved the sinters in Betalov spodmol and in Črni kal we can suppose that this is the oldest sinter generation till now known in karst caves of Slovenia. The same age have presumably the base sinters above allochthonous gravel in Križna Cave, where there are apart of it the sinters from Riss-Würm, Middle and Younger Würm (Fig. 5).

From the cave Dimnice a sinter, cone-shaped mountain, grown in fossil water channel above allochthonous flysh gravel (Fig. 6) is described. The sinter mass is composed by layers of different coloured sinters and belts of red and brown loam. We suppose that these altering layers were deposited in humid climate of Riss-Würm interglacial when the water trickles transported from the surface to the underground once more suspended, other time more chemically dissolved material. Allochthonous flysh loam indicates the appearance of high flood waters at the end of this Interglacial. Such consecutive chemical and mechanical sediments in the sinter mass would be useful to be radiometrically and paleomagnetically dated specially in order to know the climatological oscillations in Interglacial in the region of classical Karst where in any case we have little chronostratigraphically defined sinters.

The gathered data about radiometrically and relatively dated sinters and clastic sediments from important karst caves in Slovenia we combined in common table (Fig. 7) with purpose to help further studies on Quaternary geochronology in Dinaric karst and to render possible the comparative study with karst regions out of Yugoslavia.

From the table it is seen that in classical Karst several sinter generations are preserved. Presumably we can reckon with interglacial Cromerian sinter, interstadial Mindel sinter respectively and with further generation from Mindel-Riss interglacial.

All these middle Pleistocene sinters are preserved as remnants, specially in secondary position among clastic fluvial sediments. Their detailed dating is thus objectively rendered more difficult, but anyway possible by application of modern analytical methods within chronostratigraphical study of base cave sediments discovered in vaste fossil water channels.

The sinter of Riss-Würm interglacial is expressively sedimented in the interior of big karst caves, several times together with red loam. The last one is mostly deposited in the entrance parts of the caves above the allochthonous sediments. Primary position and red loam age are not yet known but we suppose that they present resedimented Mindel-Riss soil.

Würm glacial is reflected in the caves by variegated sediments. In general the sinters are limited to interstadial warm periods, while rubble and flood loams to stadial cold periods. Old Würm and Middle Würm sinter generations are morphologically specially expressed in Postojna cave system.

By radiometric datations the sinters from late glacial and Holocene are chronologically the best ranged, worse is tested their relative age in proportion to allochthonous sediments deposited near active water channels.

Radiometric analyses by ^{14}C method have been done in Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung in Hannover, led by prof. dr. M. Geyh, the samples for the analyses being collected by dr. H. Franke, dr. I. Gams and dr. F. Habel. U/Th analyses were done by dr. R. Harmon from McMaster University, Hamilton, led by dr. D. Ford. ESR analyses were mediated by M. Ikeda, Technical College, Yamaguchi University, Japan.

For done help I thank to all colleagues.

Literatura

- Atkinson, T. C., R. S. Harmon, P. L. Smart, 1977: Radiometric dating of speleothems and cavern development in the Mendip Hills, England. Proc. 7th Intern. Spel. Cong., 5–10. Sheffield.
- Bowen, D., 1978: Quaternary Geology. 1–221, Pergamon Press, Oxford.
- Brodar, M., R. Gospodarič, 1973: Medvedji rov v Križni jami in tamkajšnji ostanki jamskega medveda. Medn. mlad. raziskovalni tabori (1971–1972), 30–46. Ljubljana.
- Brodar, S., 1951: Otoška jama, paleolitska postaja. Razprave 4. razr. SAZU 1, 203–233. Ljubljana.
- Brodar, S., 1952: Prispevek k stratigrafiji kraških jam Pivške kotline, posebej Parske golobine. Geografski vestnik 24, 43–76, Ljubljana.
- Brodar, S., 1956: Ein Beitrag zum Karstpaläolithikum in Nordwesten Jugoslawiens. Actes IV. Congr. Intern. Quaternaire 2, 737–742, Roma.
- Brodar, S., 1958: Črni kal, nova paleolitska postaja v Slovenskem primorju. Razprave 4. razr. SAZU 4, 271–363. Ljubljana.
- Brodar, S., 1960: Periglacialni pojavi v sedimentih slovenskih jam. Geografski vestnik 32, 33–58. Ljubljana.
- Brodar, S., 1966: Pleistocenski sedimenti in paleolitska najdišča v Postojnski jami. Acta carsologica 4, 55–138. Ljubljana.
- Brodar, S., 1970: Paleolitske najdbe v jami Risovec pri Postojni. Acta carsologica 5, 271–295. Ljubljana.
- Cooke, H. B. S., 1973: Pleistocene Chronology: Long or Short? Quaternary Research 3, 206–220. Academic Press, New York.
- Fink, J., 1978: Stand und Aufgaben der österreichischen Quartärforschung. Innsbrucker geogr. Studien 5, 79–104. Innsbruck.
- Franke, W. H. & M. A. Geyh, 1971: ^{14}C – Datierungen von Kalksinter aus slowenischen Höhlen. Der Aufschluss 22, 7–8, 235–237. Heidelberg.
- Cox, A., 1969: Geomagnetic reversals. Science 163, 237–245.

- Duplessy, J. C., J. Labeyrie, C. Lalou, H. V. Nguyen, 1971: La Mesure des Variations Climatiques Continentales. Application à la Période Comprise entre 130.000 et 90.000 Ans. B. P. Quaternary Research 1, 162-174. Academic Press, New York.
- Gams, I., 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim in Planinskim poljem. Geografski vestnik 37, 61-101. Ljubljana.
- Gams, I., 1968: Prispevka k vprašanju starosti Postojnske jame. Naše jame 9 (1967), 32-36. Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1970: Speleološke raziskave Cerknškega jamskega sistema. Acta carsologica 6, 109-169. Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1972: Prvi podatki o absolutni starosti sige v Postojnski jami na podlagi 14 C. Naše jame 13 (1971), 91-98. Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami. Acta carsologica 6, 327-366. Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. Acta carsologica 7, 8-135. Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1977: Generacije sige v nekaterih kraških jamah Slovenije. Arhiv IZRK, 1-31. Postojna.
- Gospodarič, R., 1978: Generacije sig in jamskih sedimentov v kraških jamah Slovenije. Arhiv IZRK, 1-37. Postojna.
- Hohenwart, F., 1930-32: Wegweiser für die Wanderer in der berühmten Adelsberger und Kronprinz Ferdinands Grotte bey Adelsberg in Krain. Hf. 1-3, Wien-Laibach.
- Harmon, S. R., P. Thompson, H. P. Schwarcz, D. C. Ford, 1975: Uranium - Series Dating of Speleothems. The NSS Bulletin 37/2, 21-33, Huntsville.
- Harmon, S. R., P. Thompson, H. P. Schwarcz, D. C. Ford, 1978: Late Pleistocene Paleoclimate of North America as Inferred from Stable Isotope Studies of Speleothems. Quaternary Research 9, 54-70. Academic Press, New York.
- Ikeya, M., 1976: Natural Radiation Dose in Akiyoshi Cavern and on Karst Plateau. Health Physics Pergamon Press 31, 76-78. Ireland.
- Ikeya, M., 1977: Electron Spin resonance dating and fission track detection of Petralona Stalagmite. J. Anthropology 4, 152-166. Athene.
- Ikeya, M., T. Miki, R. Gospodarič, 1980: ESR Dating of Postojna Stalactites. Naše jame 21, v tisku. Ljubljana.
- Latham, A., 1977: A Feasibility Study of the Paleomagnetism of Stalagmite Deposits. Procc. 7th Intern. Spel. Cong., 280-282. Sheffield.
- Malez, M., D. Rukavina, 1979: Položaj naslaga spilje Vindije u sustavu članjenja kvartara šireg područja Alpa. Rad JAZU 383, 187-218. Zagreb.
- Malez, M., A. Sliepčević, D. Srdoč, 1979: Određivanje starosti metodom radioaktivnog ugljika kvartarnim naslagama na nekim lokalitetima u dinarskom kršu. Rad JAZU 383, 227-271. Zagreb.
- Martel, E. A., 1894: Les Abimes. Libr. Ch. Delgrave, 1-578, Paris.
- Perko, A., 1910: Die Adelsberger Grotte in Wort und Bild. 1-78. Druck Max Šeber, Adelsberg.
- Poulinas, N. A., 1977: New data on the stratigraphy of Petralona Cave. Procc. 7th Intern. Spel. Cong., 366-367. Sheffield.
- Rakovec, I., 1975: Razvoj kvartarne sesalske favne Slovenije. Arheološki vestnik 24 (1973), 225-270. Ljubljana.
- Schmidl, A., 1854: Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas. 1-316. Gedrückt Leop. Sommer, Wien.
- Sliepčević, A., J. Planinić, 1974: Određivanje starosti sekundarnih vapnenačkih taloga metodom radioaktivnog ugljenika. Naše jame 15 (1973), 71-75. Ljubljana.
- Šercelj, A., 1962: O kvartarni vegetaciji na Slovenskem. Geologija 7, 25-34. Ljubljana.
- Šercelj, A., 1966: Polodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov Ljubljanskega barja. Razprave 4. razr. SAZU 9/9, 431-472. Ljubljana.
- Šercelj, A., 1970: Würmska vegetacija in klima v Sloveniji. Razprave 4. razr. SAZU 13/7, 211-240. Ljubljana.
- Šerko, A., I. Michler, 1948: Postojnska jama in druge zanimivosti kraša. Tur. podj. Kraške jame Slovenije Postojna, 1-166. Ljubljana.
- Waltham, A. C., R. S. Harmon, 1977: Chronology of cave development in the Yorkshire Dales, England. Procc. 7th Intern. Spel. Cong., 423-425. Sheffield.
- Wiegand, F., 1977: Paläomagnetische Datierung und Korrelation paläoklimatischer Ereignisse des Mittel- und Jungpleistozäns. Z. geol. Wiss. 5, 705-715. Berlin.

**PORAZDELITEV NEKATERIH ELEMENTOV PRI
NASTAJANJU SIG V KRAŠKIH JAMAH**

(Z 2 SLIKAMA IN 10 TABELAMI)

**DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS DURING SINTER
FORMING IN THE KARST CAVES**

(WITH 2 FIGURES AND 10 TABLES)

JANJA KOGOVŠEK

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 29. MAJA 1980

VSEBINA

Izvleček – Abstract	114
Uvod	115
Izbira vzorcev, njihova priprava in uporabljene metode	116
Metode dela	116
Rezultati in diskusija	119
Zaključki	125
Distribution of some Elements during Sinter Forming in the Karst Caves (Summary)	126
Literatura	127

Izvleček

UDK 551.442.4 : 552.1 (497.12-14)

Kogovšek, Janja: Porazdelitev nekaterih elementov pri nastajanju sig v kraških jamah. Acta carsologica 9, 000-000, Ljubljana, lit. 10.

Analize različnih vzorcev sige iz Postojnske in Planinske jame so pokazale njihovo kemijsko sestavo in uporabnost posameznih analitičnih metod v te namene. Nehomogena porazdelitev elementov v sigi je odraz številnih spremenljivih pogojev, ki so vplivali na dolgotrajen proces izločanja sige.

Abstract

UDC 551.442.4 : 552.1 (497.12-14)

Kogovšek, Janja: Distribution of some Elements during Sinter Forming in the Karst Caves. Acta carsologica 9, 000-000, Ljubljana, Lit. 10.

The analyses of different sinter samples of Postojna and Planina Cave have shown the applicability of particular methods for chosen samples as well as their chemical composition. Heterogeneous distribution of elements in sinter reflects several changing conditions, influencing to long-lasting process of sinter deposition.

Naslov - Address:

mag. Janja Kogovšek

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU

Titov trg 2

66230 Postojna, Jugoslavija

UVOD

Pojem sige še ni enotno definiran. V literaturi srečamo različne definicije. S. Grafenauer, J. Duhovnik, A. Hinterlechner-Ravnik (1972) navajajo, da je siga prevleka, ki nastane pri kristalizaciji iz vodne raztopine karbonatov ali kremenice (aragonitna, kremenčeva, opalna, žvepova siga). Slovenska kraška terminologija (1973) jo definira kot odkladnino CaCO_3 iz nasičene jamske vode, ki se zrači, srpska kraška terminologija (1974) pa odkladnino CaCO_3 v kraškem podzemlju. Iz sige nastajajo v jamah različne oblike, ki jih v angleščini označujejo kot speleothem (grško pomeni spelaion jamo, thema pa depozit), ki zajemajo tako odkladnine iz tekoče (flowstone), kot kapljajoče (dripstone) vode.

Glavna sestavina apnenca je CaCO_3 , ki je lahko zelo čist, lahko pa vsebuje še MgCO_3 in primesi Si, Fe, Mn, Pb, U, sulfida, sulfata, fosfata ter alkalij in zemljoalkalij (R. G. Picknett, 1976). Čista voda slabo raztaplja apnenec, v naravi pa je voda zaradi vsebnosti organskih kislin, žveplove in predvsem ogljikove kisline znatno aktivnejša. Ogljikova kislina nastaja z raztapljanjem ogljikovega dioksida iz zraka in prsti v vodi. Pri prenikanju skozi zemeljske plasti lahko voda raztopi do $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol l}^{-1}$ ogljikovega dioksida in temu ustrezno količino karbonatov, da se doseže ravnotežje v sistemu voda - zrak (CO_2) - karbonati (M. M. Sweeting 1972). Ko priteče s karbonati nasičena voda iz razpok, popolnoma zapolnjenih z vođo v podzemeljski prostor, kjer je približno enak parcialni pritisk ogljikovega dioksida kot v prostem zraku, začne ogljikov dioksid iz vode prehajati v zrak, vzporedno pa ga spremlja izločanje karbonatov v obliki sige do vzpostavitve ravnotežja (R. G. Picknett 1976). Izločena siga odraža različno kemično sestavo prenikajoče vode. Ta lahko prenaša tudi mehanske delce glin, ki se vgrajujejo v sigo in vplivajo na njeno sestavo.

Sestavo sig in kamnin, skozi katere prenika padavinska voda, sta med drugimi preučevala tudi A. Eraso (1977) in Gy. Pályi (1962). A. Eraso je v kamnini in kapniku določil katione Ca, Mg, Sn, Mn, Fe in sledove Ti. Ca in Mg je določal kompleksometrično, Mg, Sr, Cu, Mn z atomsko absorpcijsko spektrometrijo, Fe in Ti pa s fotokolorimetrijo. Primerjava rezultatov nakazuje, da barva kapnikov zavisi od prisotnih kovin. Gy. Pályi je študiral odvisnost obarvanosti kapnikov od prisotnih železovih in manganovih oksidov. R. D. Stenner (1977) je meril koncentracije težkih kovin v rečnih sedimentih izbranih jam. Podobne meritve je v Planinski jami opravil L. Kosta (1978) s sodelavci. Dinamiko zakrasevanja, tako pretakanje prenikajoče vode, kot kemijsko dogajanje na njeni poti, pa je raziskoval znatno večji krog raziskovalcev.

V tem prispevku podajamo v skrajšani obliki rezultate analiz različnih sig, ilovnatih materialov, pa tudi kamnine in prenikajoče vode. Celotni podatki so zbrani v magistrskem delu »Študij porazdelitve nekaterih elementov pri nastajanju sig v kraških jamah«, ki sem ga opravila na analitskem oddelku kemijskega inštituta Boris Kidrič pod vodstvom prof. S. Gomiščka. Ob tej priložnosti se zahvaljujem prof. S. Gomiščku in njegovim sodelavcem, kot tudi dr. Hokeju z inštituta za analitsko kemijo na tehnični fakulteti na Dunaju za opravljene analize z elektronsko mikrosondo.

IZBIRA VZORCEV, NJIHOVA PRIPRAVA IN UPORABLJENE METODE

Za analizo smo izbrali vzorce kapnikov, sigastih skorij in kop, ilovnatih materialov, kamnine in prenikajoče vode v Planinski jami in Pisanem rovu Postojnske jame.

Vzorci kapnikov so bili prosojni in kompaktni ali pa manj kompaktni s koncentrično razporejenimi porami in vidnimi kristalonomičnimi ploskvami od skoraj bele do svetlo rjave, intenzivno sive in oranžne barve. Siga iz sigastih kop je bila na pogled neprosojna in heterogena.

Opis vzorcev in njihove skice (sl. 1):

Vzorec 1: kapnik (Φ 8 cm) iz Pisanega rova v Postojnski jami, svetle, skoraj bele barve (vzorec 1/1), proti robu bolj rjavkast (vzorec 1/2). Neenotna notranjost s koncentrično razporejenimi porami.

Vzorec 2: približno 15 cm visok stalagmit iz Pisanega rova s skoraj belo sigo in svetlo sivo prevleko. Notranjost je precej kompaktna.

Vzorec 3: kompakten kapnik iz Pisanega rova s svetlo rjavosivo pasovitostjo.

Vzorec 4/5: kos »razpadle« sige rjave barve (vzorec 4), oblit s sivobelo sigo (vzorec 5).

Vzorec 6: del sigaste kope pod curkom 6 v Planinski jami.

Vzorec 7: del sigaste kope pod curkom 1 v Planinski jami.

Vzorec 8: plast svetlo sive sige iz Pisanega rova, prekrite s tanko plastjo temno sive sige.

Vzorec 10: plastovit kapnik iz Pisanega rova s plastjo temnorjave gline (vzorec 10/2) in skoro bele sige (vzorec 10/1).

Vzorec 11: približno 15 cm dolg bel stalaktit iz Pisanega rova.

Vzorec 12: oranžna siga iz stene Pisanega rova.

Vzorec 18: apneno dolomitna breča nad Planinsko jamo.

Vzorec 19: apnenec nad Planinsko jamo.

Vzorec 51: sivo »blato« med skalno steno in »razpadlo« sigo na Golgoti v Planinski jami.

Vzorec 52: trda rumenorjava »razpadla« siga na steni na Golgoti v Planinski jami.

Vzorec 53: skalna stena na Golgoti v Planinski jami.

Vzorec 54: bele prirasle tvorbe ($\Phi = 1-2$ cm) na previsni steni na Golgoti v Planinski jami.

Vzorec 55: mehka rumenorjava »razpadla« siga na steni na Golgoti v Planinski jami.

Vzorci vode:

Vzorec 1: stalen vodni curek nad sigasto kopo št. 7 v Planinski jami z 90–100 % karbonatne trdote in 30–35 % magnezijeve trdote.

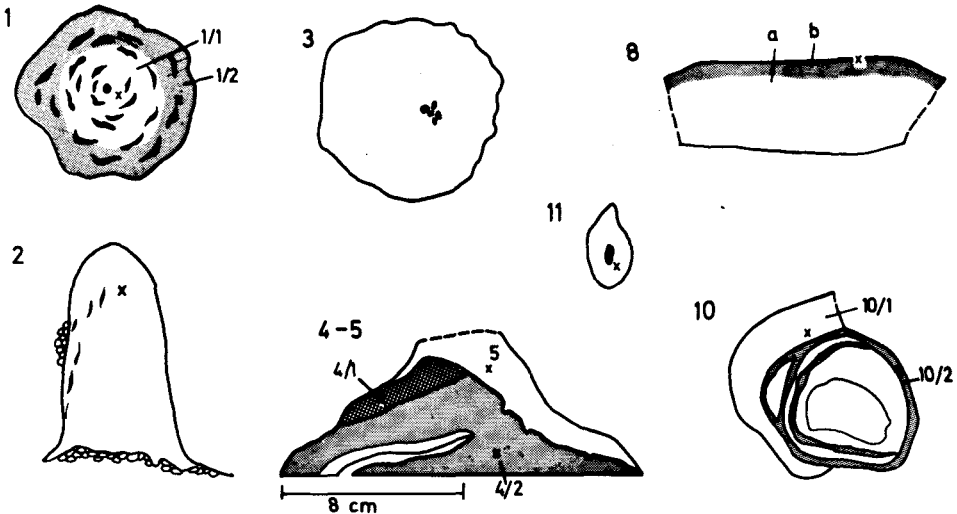
Vzorec 6: stalni vodni curek nad sigasto kopo št. 6 v Planinski jami z nad 93 % karbonatne in 2–8 % magnezijeve trdote.

Vzorec 21: kapljajoča voda v Pisanem rovu s 100–120 mg l⁻¹ karbonatov, 66–76 mg l⁻¹ kalcija in neznatnimi količinami magnezija.

Vzorec 22: delno polzeča, delno kapljajoča voda v skalni steni Pisanega rova, kjer raztaplja staro sigo. Vsebuje 60–80 mg l⁻¹ karbonatov in 40–50 mg l⁻¹ kalcija.

METODE DELA

Za preiskavo porazdelitve kovin v sigi z metodo elektronske mikroskopske analize smo narezali z diamantno žago tanke ploščice, za vse ostale analize trdnih vzorcev pa smo v laboratoriju vzorce zmleli z ahatnim krogličnim mlinom ali vidia mlinom ter osušili na 105°C.



Sl. 1 Pregled nekaterih analiziranih sig: 1 – prečno prerezan stalagmit: 1/1 – svetla, skoro bela siga, 1/2 – rjavkasta siga; 2 – vzdolžno prerezan stalagmit s skoro belo sigo; 3 – sivorjavo pasovit stalagmit; 4 – rjava, »razpadla« siga: 4/1 – porozna, 4/2 – kompaktna; 5 – sivobela siga; 6 – kos sige: a – svetlosiva siga, b – temno siva siga; 7 – plastovit kapnik: 10/1 – skoro bela siga, 10/2 – temno rjava glina; 8 – bel stalaktit: a – kanal; x – izbrana mesta vzorcev za analizo; črne ploskve označujejo pore

Fig. 1. Revision of some analysed sinters: 1 – cross cut stalagmite: 1/1 – light, almost white sinter, 1/2 – brownish sinter; 2 – longitudinal cut stalagmite of almost white sinter; 3 – grey-brown bedded stalagmite; 4 – brown »decomposed« sinter: 4/1 – porous, 4/2 – compact; 5 – grey white sinter; 6 – a piece of sinter: a – light grey sinter, b – dark grey sinter; 7 – bedded speleothem: 10/1 – almost white sinter, 10/2 – dark brown clay; 8 – white stalactite: a – channel; x – chosen sample points for analyses; black spots designating the pores

Kvalitativno analizo sledov kovin v trdnih vzorcih smo opravili po univerzalni semi- kvantitativni metodi po J. Kroonen u in D. V a d e r j u (1963). Meritve smo izvedli na spektrografu Jarrell Ash pri pogojih, ki jih kaže tabela 1.

Za kvantitativno analizo smo uporabili metodo plamenske atomske absorpcijske spektromerije. Meritve smo izvedli na spektrometru za atomsko absorpcijo firme VARIAN, model AA6 z gorilcem na $C_2H_2-N_2O$. Kot svetlobni izvor smo uporabljali žarnice z votlo katodo firme Westinghouse (Fe, Pb, Zn, Cr, Cu) in firme Varian (Al, Mn, Ni). Pogoji merjenja so v tabeli 2.

Za kvantitativno analizo vod na sledove kovin smo uporabljali elektrotermalno atomsko absorpcijsko spektrometrijo. Meritve smo opravili z grafitno cevno pečjo firme Perkin Elmer, model HGA 70, ki smo jo vgradili v spektrometer za atomsko absorpcijo firme Perkin Elmer, model 300 S z avtomatsko korekcijo ozadja. Kot svetlobni izvor smo uporabljali žarnice z votlo katodo firme Westinghouse (Cr, Cu, Pb) in Varian Techtron (Ni, Mn). Pogoji merjenja so zbrani v tabeli 3.

Linijske in točkovne analize v prečnem prerezu kapnikov smo naredili s primarno rentgensko mikroanalizo, z elektronsko mikrosondo ARL-FMX-SSM 120000. Eksperimentalni pogoji so podani v tabeli 5.

Diferencialno termične analize so bile narejene na Mettlerjevem analizatorju TA 1. Eksperimentalni pogoji so v tabeli 4. Kalcij in magnezij smo v trdnih vzorcih in vodah določali titrimetrično po standardnih postopkih. Vsebnost karbonatov v trdnih vzorcih smo

določali s tehtanjem absorbiranega ogljikovega dioksida po kislinem razkroju vzorca, s tehtanjem žarilnega ostanka in z merjenjem tlaka po kislinem razkroju vzorca, v vodah pa s standardno titracijo.

Tabela 1. Emisijska spektrografija – eksperimentalni pogoji

Spektrograf	3,4 m Ebert Jarrel Ash
Uklonska mrežica	600 zarez na mm, blaze 300 nm
Linearna recipročna disperzija v 1. redu	0,5 nm na mm
Spektralno območje	230 do 450 nm
Reža	širina 20 μ m, višina 2 mm, dvostopenjski filter prepustnosti 100 in 10%
Zunanja osvetlitev leče	trilečni sistem
Izvor	Jarrell Ash Multisource
Vzbujanje	enosmerni lok 10 A
Ekspozicija	glineni vzorci, sige : 40 sek, pepeli : 60 sek
Fotoemulzija	Kodak SA – 1
Razvijanje	razvijalec D-19 b, 3,5 min, 20 ± 1 °C
Fiksiranje	kisli fiksir Kodak F – 5
Elektrode	Ringsdorf RWO 3 in RWO 1 sige, glineni vzorci : anoda krater Φ 4 mm, globina 3 mm pepeli : anoda krater Φ 3 mm, globina 5 mm neregistrirni fotometer Jarrell Ash 21000
Fotometriranje	

Tabela 2. Plamenska atomska absorpcijska spektrometrija – eksperimentalni pogoji

Element	Valovna dolžina (nm)	Plamen	Spektralna širina mono-hromatorja (nm)	Tok žarnice (mA)	Občutljivost (μ g/ml)	Optimalno delovno območje (μ g/ml)	Limita detekcije (μ g/lm)
Al	309,3	N ₂ O–C ₂ H ₂	0,5	5	0,75	40–200	0,018
Cr	357,9	zrak–C ₂ H ₂	0,2	5	0,055	2,0–8,0	0,005
Cu	324,7	zrak–C ₂ H ₂	0,5	3	0,04	2–8	0,002
Fe	248,3	zrak–C ₂ H ₂	0,2	5	0,045	2,5–10	0,006
Mn	279,5	zrak–C ₂ H ₂	0,2	5	0,021	1,0–4,0	0,002
Na*	589,0	zrak–C ₂ H ₂	0,5	5	0,003	0,15–0,60	0,0002
Ni	232,0	zrak–C ₂ H ₂	0,2	5	0,05	3–12	0,0008
Pb	283,3	zrak–C ₂ H ₂	1,0	5	0,11	5–20	0,015
Zn	213,9	zrak–C ₂ H ₂	0,5	5	0,009	0,4–1,6	0,001

*plamenska emisijska spektrometrija

Tabela 3. Elektrotermalna atomska absorpcijska spektrometrija – eksperimentalni pogoji

Element	Valovna dolžina (nm)	Sušenje		Razkroj		Atomizacija	
		t ₁ (sek)	T ₁ (°C)	t ₂ (sek)	T ₂ (°C)	t ₃ (sek)	T ₃ (°C)
Cr	357,9	30	100	30	1100	20	2500
Cu	324,7	30	100	30	750	20	2450
Mn	279,5	30	100	30	1100	20	2450
Ni	232,0	30	100	30	1100	20	2450
Pb	282,3	30	100	30	490	20	2450

Tabela 4. Diferencialno termična analiza – eksperimentalni pogoji

Makro merilna glava TD makro in
Kombinirana TG - DTA merilna glava TD 1
Zatehta 100 mg
Platinski lončki
Atmosfera suhega zraka s hitrostjo pretoka 5 l h^{-1}
Hitrost gretja 10°C na minuto (do 990°C)

Tabela 5. Primarna rentgenska mikroanaliza – metoda z elektronsko mikrosondo – eksperimentalni pogoji

Pospeševalna napetost	25 kV in 20 kV
Premer elektronskega žarka	5000 Å
Tok vzorca	$45\ \mu\text{A}$ in $15\text{--}25\ \mu\text{A}$
Kristal	LiF (za Ni, Fe, Zn, Mn) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (za Ca, S, [Na], P, [K]) $\text{Rb}(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ (za Al, Na) SiO_2 (za Ca, Ti, K, [P])
Hitrost snemanja	$0,5\ \text{mm min}^{-1}$
Hitrost papirja	$20\ \text{mm min}^{-1}$
Časovna konstanta ojačevalca	$10\ \mu\text{s}$ in $3\ \mu\text{s}$
Standardi	Al – Al_2O_3 Fe – Fe_2O_3 K – KCl Ca – Ca_3SiO_5 , CaO.MgO.SiO_2 Si – Ca_3SiO_5 , CaO.MgO.SiO_2

REZULTATI IN DISKUSIJA

Določevanje CaO in MgO v karbonatnih kamninah je s kompleksometrično metodo hitro in dognano. Manometrično določevanje CO_2 po kislinskem razkroju je dokaj hitro, a manj natančno, točno določevanje CO_2 z merjenjem žaroizgube in tehtanjem absorbirane CO_2 po kislinskem razkroju pa je zamudno.

Iz analiz vzorcev prosojnih, kristalnatih kapnikov (tabela 6, vzorci 1, 5, kot tudi 8, 10/1, 11, 12) je razvidno, da so to karbonatne odkladnine ($43,5\text{--}44\%$ CO_2), kar potrjuje tudi nizka vsebnost SiO_2 ($0,1\text{--}0,4\%$).

Analize sigastih kop (vzorca 6 in 7) so dale približno enake rezultate, le bolj ilovnate sige vsebujejo manj karbonatov (vzorci 4, 52, 55). Kompaktnjša vzorca ilovnatih sig (vzorca 4 in 52) vsebujeta več karbonatov ($42,8\%$ in $41,3\%$), mazava ilovnata siga enake barve (vzorec 55) pa manj (30%), čeprav sta si vzorca 52 in 55 zelo podobna, saj smo ju dobili na isti steni, le da je prek vzorca 55 pršla voda. Posnetek termogravimetrične krivulje tega vzorca kaže zvezno zmanjševanje teže že od začetka segrevanja, ki pri 600°C preide v karakteristični signal razpada karbonata. Vzrok začetnega zmanjševanja teže je lahko odcepljanje vezane vode ali razpad organskih snovi.

Največ kalcija (do $55,6\%$ CaO) vsebujejo kristalnatne sige, sigaste kope do $53,8\%$ (vzorec 7), najmanj pa ilovnate sige – do $38,7\%$. Koncentracija magnezija je pod $0,2\%$ MgO, odstopa le sigasta kopa z $0,8\%$ MgO (vzorec 7), ki se izloča iz vode s kar $30\text{--}35\%$ magnezijeve trdote (tabela 7).

Analizirane sige iz Postojnske in Planinske jame so tedaj pretežno sestavljene iz CaCO_3 .

Tabela 6. Vsebnost CO₂ v kraških sedimentih (v %)

Vzorec	1	2	3
1	43,7	44,7	43,2
4	42,9	42,7	42,1
5	44,0	43,9	44,0
6	43,5		42,9
7	43,7	43,5	42,5
51	46,1		44,4
52	41,3		39,2
53	45,6		44,4
54	43,7	43,6	42,9
55	33,4	30,5	29,0

- 1 – merjenje žarozgube
 2 – tehtanje absorbiranega CO₂ po kislinskem razkroju
 3 – manometrično merjenje CO₂ po kislinskem razkroju

Tabela 7. Vsebnost CaO in MgO v kraških sedimentih (v %)

Vzorec	CaO		X	MgO		X
1	55,63	55,71	55,7	0,26	0,02	0,2
4	53,74	53,87	53,8	0,28	0,19	0,24
5	55,54	55,65	55,6	0,0	0,0	0,0
7	53,84	53,84	53,8	0,83	0,83	0,8
54	55,14	55,18	55,2	0,21	0,21	0,2
55	38,67	38,67	38,7	0,55	0,55	0,6

Kamnina, skozi katero prenika voda (vzorec 53) in mazava siva glina (vzorec 51) imata tudi karbonatno sestavo.

Prenikajoča voda (vzorci 1, 6, 21, 22) vsebuje 100–132 mg l⁻¹ CO₃²⁻, 55–74 mg l⁻¹ Ca²⁺ ter precej manj Mg²⁺ (do 2 mg l⁻¹) in Al (do 0,08 mg l⁻¹); do 1 mg l⁻¹ Cl⁻, 8 mg l⁻¹ NO₃⁻, 12 mg l⁻¹ SO₄²⁻ in 0,01 mg l⁻¹ PO₄³⁻; ker vsebuje deževnica le 4 mg l⁻¹ NO₃⁻, koncentraciji Cl⁻ in SO₄²⁻ pa sta bili v območju mej detekcije, mora priti do obogatitev vode z navedenimi sestavinami pri njenem prenikanju s površja v podzemlje. V prsti smo določili v vodi topne kloride, nitrata in fosfate.

Kvalitativna emisijska spektrografska analiza vzorcev je pokazala, da so v ilovnatih vzorcih prisotne kovine: Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Pb, Cr, Zn, Ni, Na, U, Cu, Ti, v vzorcih sig pa: Fe, Al, Mg, Pb, Cr, Zn, Ni, Na in Cu. Z atomsko absorpcijsko spektrometrijo smo zato določevali v vzorcih kapnikov, ilovnatih sig in vod Cu, Ni, Fe, Pb, Mn, Cr in Al.

Za določevanje kovin v sledovih v sigah in vodah je zelo primerna atomsko absorpcijska spektrometrija, saj je občutljiva metoda in je mogoče določevanje nizkih koncentracij. Plamenska tehnika obsega določevanje koncentracij kovin v območju ppm, elektrotermalna pa v območju ppb.

Koncentracije kovin v vzorcih sig in ilovnatih materialov so tolikšne, da jih lahko določamo s plamensko tehniko. Iz tabele 8 so razvidne za vzorca 8 in 12 poprečne vrednosti in relativni standardni odmiki (Sr), ki so pri mletih, homogeniziranih vzorcih za večino elementov pod 10%. Za zdrobljene vzorce smo izračunali opazno višje vrednosti za Sr, kar odraža nehomogeno zgradbo kapnikov, ki se kaže v njihovem prečnem prerezu kot koncentrična pasovitost ali vgrajeni vključki, ki so rezultat odlaganja sige v daljših obdobjih.

Tabela 8. Statistična obdelava meritev vzorcev 1/2 in 12 (x, s – v delcih skale, Sr v %)

Vzorec		Cu	Ni	Fe	Zn	Pb	Na	Mn	Cr	Al
1/2 zmlet	x	7,2	7,6	4,4	9,6	6,5	22,3	10,9	1,95	2,8
	S	0,53	0,64	0,24	1,3	0,37	1,14	0,5	0,16	1,03
	Sr	7,4	8,4	5,5	13,3	5,7	5,1	4,6	8,2	36,8
1/2 zdobljen	x	5,8	6,4	2,9	7,6	5,05	18,6	8,6	1,1	1,9
	S	0,98	1,13	0,53	0,9	1,01	2,46	1,7	0,3	0,5
	Sr	16,9	17,7	18,6	12,2	19,8	13,2	19,8	29	24,2
12 zmlet	x	17,2	9,6	38,7	13,3	12,8	13,8	25,75	4,6	16
	S	1,9	0,37	0,75	1,1	0,54	1,9	1,03	0,37	0,88
	Sr	11,1	3,9	2,2	8,1	4,2	13,8	4	8	5,5
12 zdobljen	x	14,8	8,95	33,5	11,6	10,2	17	21,75	3,7	12,9
	S	1,5	1,1	6,1	2,3	1,5	1,0	2,14	0,75	3,0
	Sr	10,4	12	18,2	20,1	14,7	5,8	9,8	20,3	23,3

Tabela 9. Elementi v sledovih v vzorcih sig – zmleti vzorci (v $\mu\text{g g}^{-1}$)

Vzorec	Cu	Ni	Fe	Zn	Pb	Na	Mn	Cr	Al
povprečne vrednosti									
1/2	5	20	5	3	30	100	5	8	35
	5	20	0	3	30		5	10	40
	5	20	5	3	37		5	8	40
\bar{X}	5	20	5	3	32	100	5	9	38
4	10	33	3700	22	40	170	31	16	8500
	11	33	3500	18	40		30	16	8500
	9	31	3000	19	44		29	14	7500
\bar{X}	10	33	3400	20	41	170	30	15	8200
5	6	22	35	5	40	86	7	12	100
	5	23	35	5	40		7	12	80
	5	20	35	4	30		7	11	75
\bar{X}	5	22	35	5	37	86	7	12	25
6	8	32	1560	22	46	480	43	14	4400
	7	25	1800	21	47		25	15	4460
	8	31	1800	21	45		44	14	4300
\bar{X}	8	30	1700	21	46	480	40	14	4400
7	6	31	620	19	46	215	19	11	1490
	6	34		12	46		19	11	1470
	7	27		12	46		19	11	1460
\bar{X}	6	30	620	14	46	215	19	11	1470
8	7	27	650	9	45	180	20	10	1170
	6	26		8	39		20	10	1370
	7	25		7	52		21	10	1230
\bar{X}	7	26	650	8	40	180	20	10	1250
12	6	20	220	5	40	100	9	12	290
	6	20	220	5	33		10	11	250
	6	19	210	5	34		8	11	290
\bar{X}	6	20	220	5	35	100	9	11	280

V rastju smo določili do $600 \mu\text{g g}^{-1}$ Ca in Mg, do $200 \mu\text{g g}^{-1}$ Fe in Al ter do $60 \mu\text{g g}^{-1}$ Zn in Na.

Prerikajoča voda vsebuje nizke koncentracije kovin v sledovih (do $70 \mu\text{g l}^{-1}$), razen Na, ki ga je do $800 \mu\text{g l}^{-1}$. Pri ilovnatih materialih smo ugotovili največje obogatitve Fe, Na in Al (do 0,9% Fe, 0,1% Na, 2% Al).

Kristalnate sige (tabela 9, vzorci 1/2, 5, 8, 12) vsebujejo nizke koncentracije Cu, Zn, Mn, Cr in Ni (do $20 \mu\text{g g}^{-1}$), do $40 \mu\text{g g}^{-1}$ Pb in nekoliko več Na (do $180 \mu\text{g g}^{-1}$). V vsebnosti Fe in Al se najbolj razlikujejo in vsebujejo do $650 \mu\text{g g}^{-1}$ Fe in do $1400 \mu\text{g g}^{-1}$ Al. V enakem zaporedju kot obarvanost sige (od svetle, bele sige do rahlo obarvanih sig) sta naraščali tudi koncentraciji Fe in Al in sicer v zaporedju $2 < 1/2 < 5 < 10/1 < 11 < 1/1$. Intenzivno siva in oranžna siga sta vsebovali opazno več Fe in Al kot ostale kristalnate sige. Sklepamo, da barva sige zavisi od koncentracije prisotnih kovin, vendar nismo ugotovili zveze med barvo sige in prisotnostjo določene kovine. Sigaste kope in ilovnati materiali (tabela 9) vsebujejo opazno višje koncentracije Fe in Al.

Ker sestava sige zavisi od sestave prerikajoče vode, iz katere se izloča, smo skušali ugotoviti kako se izločajo glavne komponente iz prerikajoče vode v Planinski jami (vodni vzorec 1) na sigasti kopi pod njo (vzorec 7). Voda vsebuje v 1 litru: 4,378 mekv CO_3^{2-} , 3,136 mekv Ca^{2+} , 1,48 mekv Mg^{2+} in 0,038 mekv kovin v sledovih.

Vrednosti za CO_3^{2-} , Ca^{2+} in Mg^{2+} so povprečki celoletnih meritev. Siga, ki se izloča iz te vode, pa vsebuje $19,8 \text{ mekv g}^{-1} \text{CO}_3^{2-}$, $19,2 \text{ mekv g}^{-1} \text{Ca}^{2+}$, $0,4 \text{ mekv g}^{-1} \text{Mg}^{2+}$ in $0,195 \text{ mekv g}^{-1}$ kovin v sledovih. Od kovin v sledovih smo upoštevali zaradi njihovih nizkih koncentracij le Na, Al in Fe.

Razmerja $\text{Ca}^{2+}/\text{CO}_3^{2-}$, $\text{Mg}^{2+}/\text{CO}_3^{2-}$, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ v prerikajoči vodi in sigi ter v vodi pred in po izločanju so podana v tabeli 10.

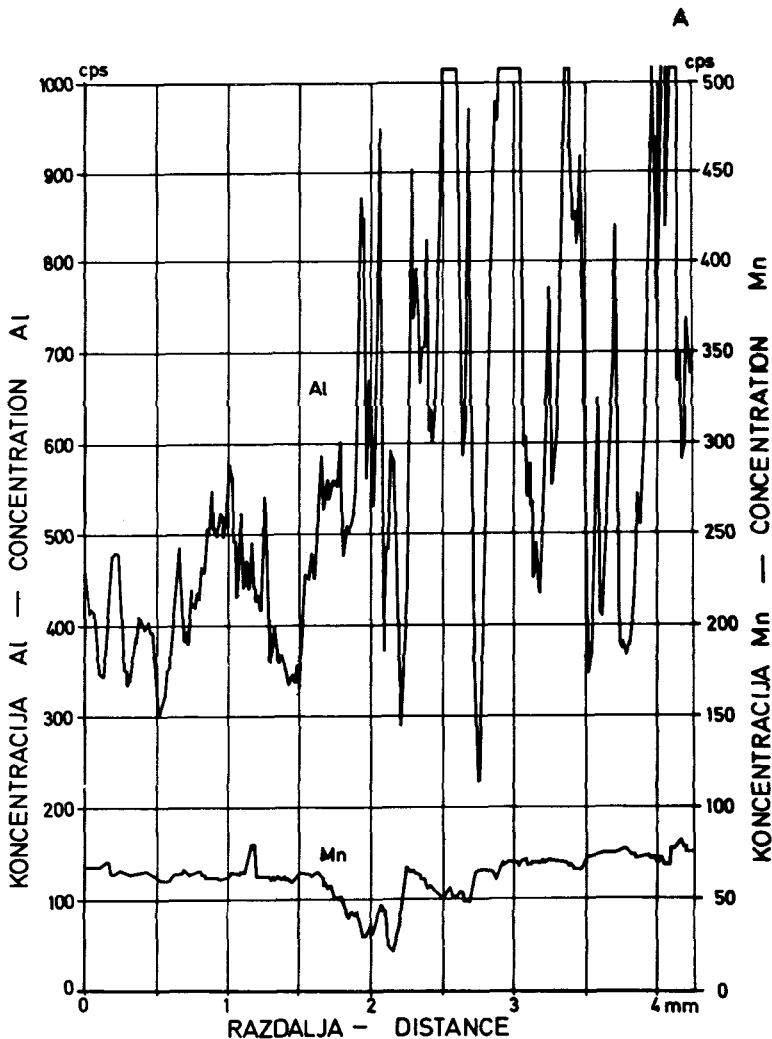
Tabela 10. Razmerja anionov – kationov v prenikujoči vodi in sigi

Razmerje	Voda	Siga	Pred izločanjem	Po izločanju
$\text{Ca}^{2+}/\text{CO}_3^{2-}$	0,716	0,97	0,746	0,694
$\text{Mg}^{2+}/\text{CO}_3^{2-}$	0,338	0,02	0,358	0,387
$\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$	0,472	0,02	0,479	0,558

Vidimo, da se iz prerikajoče vode (vodni vzorec 1) izloča predvsem CaCO_3 , medtem ko Mg^{2+} ostajajo v raztopini, kar se sklada s topnostnim produktom za CaCO_3 in MgCO_3 .

Nehomogeno zgradbo kapnikov, ki se kaže v njihovem prečnem prerezu kot pasovitost ali vgrajeni vključki, smo želeli podrobneje preučiti. Z do sedaj omenjenimi metodami nam to ni uspelo, zato smo se odločili za primarno rentgensko mikroanalizo (metoda z elektronsko mikrosondo), ki nam omogoča analizo majhnih ploskev. Zavedali smo se, da njena kvantitativna analiza ni enostavna in da luknjice v poroznih vzorcih povzročajo popačenje rezultatov, vendar nam je služila za kvantitativno in semikvantitativno analizo. Tako smo preiskali vzorce 2, 3 in 4 in sicer s točkovno in linijsko tehniko.

Točkovna mikroanaliza nam da hitro informacijo o prisotnih elementih na površini $1 \mu\text{m}^2$, linijska analiza pa podaja sestavo izbrane linije, ki jo preiskujemo. Zaradi dobre loč-



Sl. 2. Primarna rentgenska mikroanaliza: linijska analiza v prerezu vzorca 4, porazdelitev Al in Mn
 Fig. 2. Primary röntgen microanalysis: lineal analysis along sample 4 distribution of Al and Mn

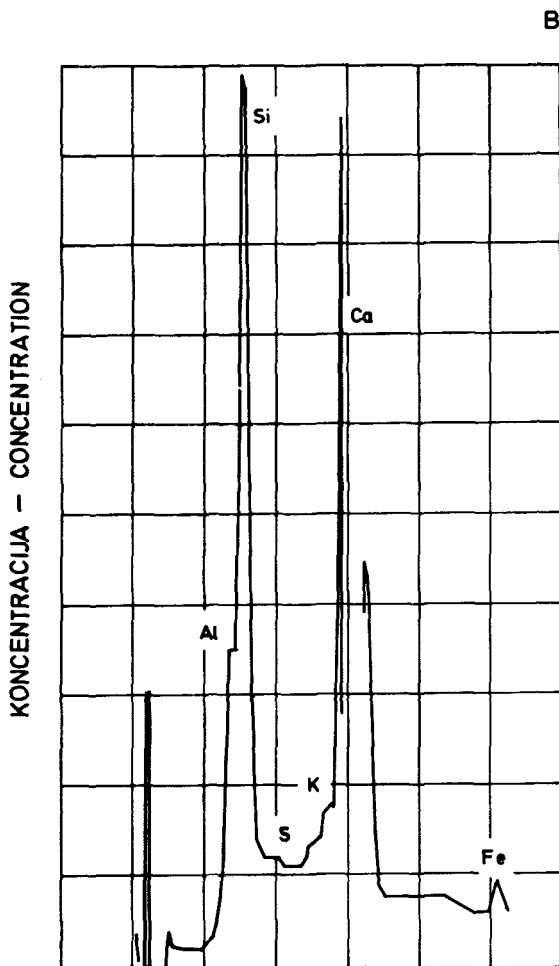
ljivosti ($\sim 1\mu\text{m}$) nam linijska analiza omogoča, da na razdalji 1 mm dosežemo teoretično 1000 analiz. Zaradi te sposobnosti je metoda primarne rentgenske mikroanalize primerna za preiskovanje sigastih materialov, saj je znano, da je rast kapnikov zelo počasna (1–2 mm v 10 letih) in se zato razlike v sestavi odražajo že na zelo majhnih razdaljah.

Linijska analiza je pokazala pri rjavi sigi, z opazno izmenjajočo pasovitostjo svetle in nekoliko temnejše rjave sige (vzorec 4), neenakomerno porazdelitev merjenih elementov po prerezu vzorca. Gobasti, porozni del vzorca je vseboval do 2% Fe, Al in Ti, medtem ko smo v kompaktnem delu vzorca določili pogostejše lokalne obogatitve Fe in Al, pa tudi Ni in Na (do 0,5%). Mn in Zn kažeta homogeno porazdelitev. Slika 2 prikazuje poraz-

delitev Mn in Al za vzorec 4. Povprečne vrednosti vsebnosti Fe in Al, ki smo ju določili v tem vzorcu z atomsko absorpcijsko spektrometrijo, sovpadajo z rezultati elektronske mikrosonde, oziroma njihovo ocenjeno povprečno vrednostjo.

Linijska analiza v radialni smeri po prečnem prerezu kompaktnega kapnika s svetlo rjavosivo koncentrično pasovitostjo (vzorec 3) je pokazala, da je Ca prisoten v visoki koncentraciji, spremlja pa ga Fe z lokalnimi obogatitvami, ki sovpadajo z rahlim upadom vsebnosti Ca. Točkovne analize so potrdile te ugotovitve, pokazale pa so tudi višjo vsebnost Si (slika 3).

Zato se bomo morali pri nadaljnem delu usmeriti tudi v določevanje teh elementov. Čeprav se stalagmit s skoro belo, enotno sigo in kompaktno notranjostjo z opaz-



Sl. 3. Primarna rentgenska mikroanaliza: točkovna analiza v prerezu vzorca 3

Fig. 3. Primary röntgen microanalysis: point analysis along sample 3 sections

nimi kristalonimičnimi ploskvami (vzorec 2) že na pogled razlikuje od že omenjenega kapnika s svetlo sivimi pasovi (vzorec 3), je njegova linijska analiza dala podoben rezultat. Poleg Ni in P, ki nastopata občasno v manjših koncentracijah, vsebuje vzorec več K in Fe, kjer izstopajo predvsem lokalne obogatitve Fe. Medtem ko smo s točkovno analizo zunanjih plasti kapnika določali predvsem Ca, pa so v jedru prisotne še večje koncentracije Si in Al ter nekoliko manjše koncentracije K in Fe.

Linijske in točkovne mikroanalize so potrdile neenakomerno porazdelitev elementov v sigi, ki se je izločala v daljših obdobjih, ko se je zaradi različnih vzrokov spreminjala sestava prenikajoče vode.

Za mlajšo sigo, ki se je izločala v bližnji preteklosti, za katero so nam pogoji in dogajanja v naravi dokaj dobro poznani, bi nam ta metoda omogočala spoznati njuno medsebojno odvisnost.

ZAKLJUČKI

Z nekaterimi sodobnimi analiznimi metodami smo analizirali izbrane vzorce sig, ilovnatih materialov in prenikajoče vode iz Planinske in Postojnske jame (Pisani rov). Ugotovili smo njihovo kemijsko sestavo in ocenili primernost uporabljenih metod.

Določevanje CaO in MgO v karbonatnih kamninah s kompleksometrično metodo je dognano in hitro. Točno določevanje CO₂ je zamudno, hitro pa je manj natančno. Atomska absorpcijska spektrometrija je občutljiva metoda in primerna za določevanje nizkih koncentracij kovin. Primarno rentgensko mikroanalizo (metoda z elektronsko mikrosondo) smo uporabili za kvalitativno in semikvantitativno analizo. Zaradi njene dobre ločljivosti je primerna za preiskovanje vzorcev sig, ki rastejo zelo počasi in se zato razlike v sestavi odražajo že na majhnih razdaljah. Tako s to metodo lahko preiskujemo drobno pasovitost in razne vključke.

Sige iz Pisanega rova Postojnske jame in Planinske jame sestavljajo predvsem karbonati (SiO₂ smo določili le 0,7%). Določili smo visoko vsebnost kalcija, kar potrjuje domneve, da je osnovna sestavina sig CaCO₃. Ker je topnostni produkt za MgCO₃ znatno večji kot za CaCO₃, nastopa magnezij v sigah le kot spremljajoči element (do 0,8%). Od elementov v sledovih je v kapnikih največ železa (do 650 μg g⁻¹) in aluminija (do 1400 μg g⁻¹), ki običajno nastopata vzporedno in verjetno vplivata na njihovo obarvanost. Sigaste kope in ilovnati materiali vsebujejo opazno višje koncentracije železa in aluminija. Sige sestavljajo v manjših količinah tudi spojitive žvepla, klora, dušika in fosforja, kar nakazuje prisotnost sulfatov, kloridov, nitratov in fosfatov v prenikajoči vodi in prsti. Prisotnost žvepla in klora v sigah so potrdile točkovne analize z elektronsko mikrosondo.

Rezultati analiz različno vzorčenih sig (v koščkih in zmlutih) so pokazali neenakomerno porazdelitev elementov v sigah. To so potrdile tudi linijske analize z elektronsko mikrosondo po prerezu kapnikov in sicer že na razdalji 50 μm.

Do sedaj smo naredili že nekaj analiz rastja, prsti in kamnine nad Planinsko jamo, vendar bo potrebno še obširno delo, da bi bolje spoznali proces raztapljanja posameznih komponent in njihove vire, kot tudi kemizem izločanja številnih komponent iz prenikle vode.

Sestava sig zavisi od intenzivnosti izločanja snovi, ki se v vodi raztapljajo pri prenikanju deževnice skozi plasti prsti in dalje kamninsko osnovo jamskega stropa. Pri tem moramo upoštevati tudi možnost, da se na kapniku ob izločanju karbonatov lahko zacementirajo manjši mehanski delci, ki jih prinese prenikajoča voda.

Sklepamo, da je moralo priti do nehomogene porazdelitve elementov po prerezu kapnikov v dolgotrajnem procesu izločanja, ko se je lahko spreminjal izvor in klima na površju in v jamah, ki je verjetno bistveno vplivala na pogoje raztapljanja in izločanja.

Summary

DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS DURING SINTER FORMING IN THE KARST CAVES

With some modern methods we analysed the chosen sinter samples, loam materials, and percolating waters from Planina and Postojna (Pisani rov) Caves. The applicability of used methods was estimated and chemical composition of chosen samples was stated.

The complexo-metrical method, defining CaO and MgO in carbonate rocks in precise and quick. The precise definition of CO₂ requires much time, while the quick one is less exact. Atomic absorption spectrometry is very sensible method ad convenable for definition of ore concentrations. Primary röntgen microanalysis (method of electronic microsonde) was used for qualitative and semiquantitative analyses. Because of exact divisibility it is convenable for sinter, growing very slowly and where the differences in structure are reflected in small distances already. Thus the method is suitable for investigations of thin layers and different inlet pieces in sinter samples.

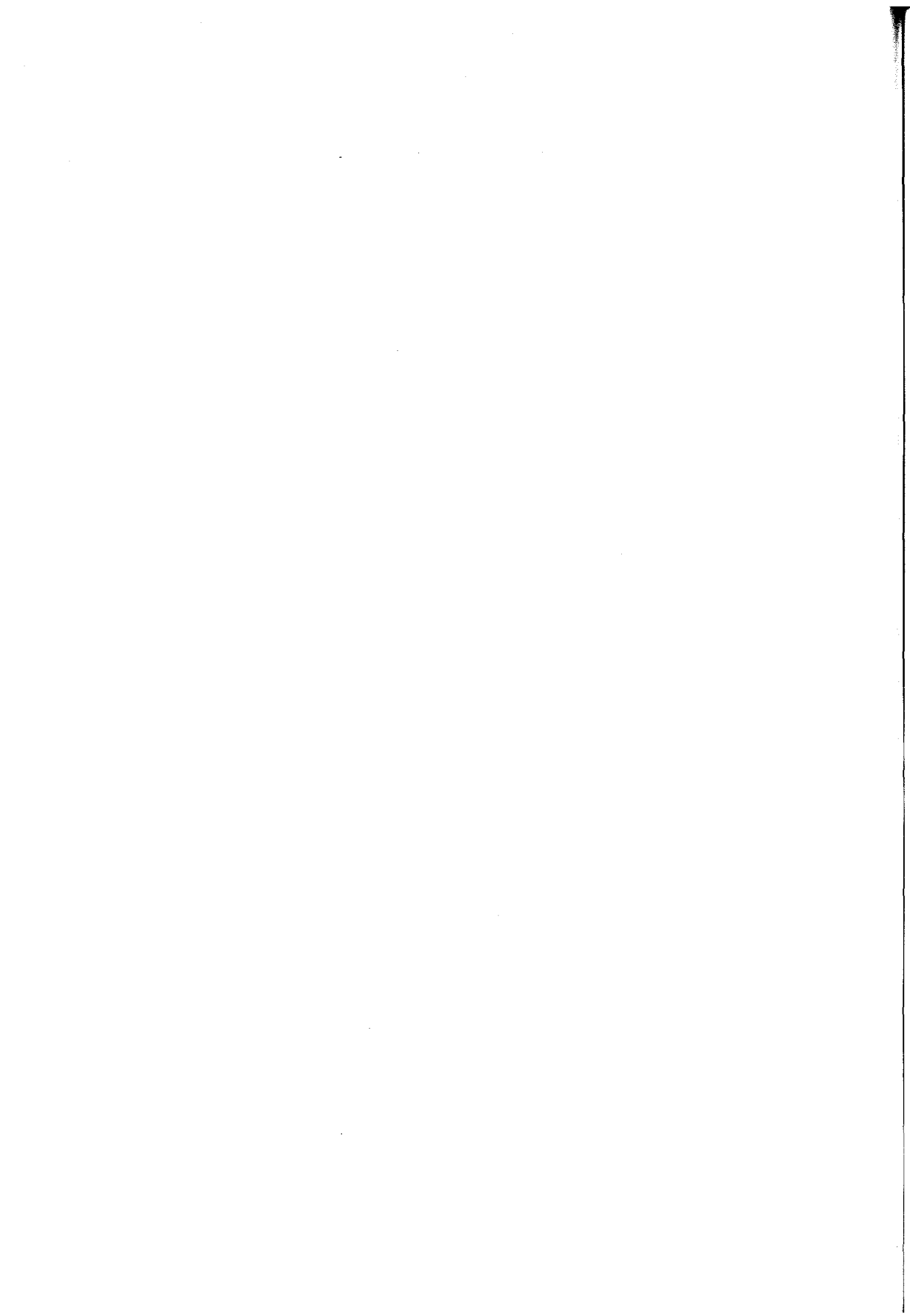
The complexo-metrical method, defining CaO and MgO in carbonate rocks is precise and quick. carbonates (SiO₂ was defined up to 0,7% only). The high content of calcium confirms the supposition that the basic composition of sinter is CaCO₃. As the solubility product is essentially greater for MgCO₃ than for CaCO₃, magnesium occurs in sinter only as accompanying element (up to 0,8%). Regarding the element in traces there are the most of iron (up to 650 $\mu\text{g g}^{-1}$) and aluminium (up to 1400 $\mu\text{g g}^{-1}$) in speleothems occurring usually parallel and possibly influencing to sinter colour. Evidently sinter cones and loam materials contain higher iron and aluminium concentrations. In small quantities the sinter is probably composed by sulphur, chlor, nitrogene, phosphor too, being proved by presence of sulphates, chlorides, nitrates and phosphates in percolating water and in soil. The presence of sulphur and chlor in sinter is confirmed by point analyses by electronic microsonde. The analyses results of differently sampled sinters (in particles and grinded) showed non-equal distribution of elements in sinter; the same was confirmed by lineal analyses of electroic microsonde after speleothems section in the distance of 50 μm already. Up to now done analyses of vegetation, soil and rocks above Planina Cave give the idea about dissolving process of particular components and about their origin as well as about the precipitation chemism of several components in percolated water.

The sinter composition depends on intensity of substances precipitation dissolved in water during the rain-water percolation through soil layers and further on through rocks of the cave roof. We have to consider the possibility that on the speleothem, during the carbonates precipitations small mechanical particles could be cemented, brought in by percolating water.

We conclude that the non-homogeneous elements distribution on speleothem sections occurred during long-lasting precipitating process when the origin and climate on the surface and in the caves could possibly change and essentially influence to dissolving and precipitating conditions.

Literatura

- Eraso, A., 1977: About ionic migrations in karstic environment. Proceedings of the 7th International Speleological Congress, 170–175. Sheffield.
- Gavrilović, D., 1974: Srpska kraška terminologija. Kraška terminologija jugoslovenskih naroda, knj. II, 1–73. Savez geografskih institucija Jugoslavije, Beograd.
- Grafenauer, S. et al., 1972: Mineraloško izrazoslovje. 1–275. Ljubljana.
- Kosta, L. et al., 1978: Mikroelementi v morskih in rečnih sedimentih kot indikatorji kontaminacije slovenskega vodnega sistema. Vestnik slov. kemijskega društva 25/4, 463. Ljubljana.
- Kronnen, J., D. Vader, 1963: Line interference in emission spectrographic analysis.
- Pályi, Gy., 1962: Study on coloured stalactites and coatings, some geochemical and karsthydrological aspects of the formation of colourations in caves. Karszt-és Barlangkutató 2 (1960), 137–143. Budapest.
- Picknett, R. G., 1976: The chemistry of cave waters. Iz: The Science of Speleology, 1–593. Academic Press, London.
- Slovenska kraška terminologija. (Urednik: I. G a m s), 1973: Kraška terminologija jugoslovanskih narodov. Knj. I, 1–76. Zveza geografskih institucij Jugoslavije, Ljubljana.
- Stenner, R. D., 1977: The concentration of some heavy metals in sediments in some Mendip caves and an assesment of the significance of un-natural contamination. Proceedings of the 7th International Speleological Congress, 383–384. Sheffield.
- Sweeting M. M., 1972: Karst landforms. 1–362, London.



**PREUČEVANJE VERTIKALNEGA PRENIKANJA
VODE NA PRIMERIH PLANINSKE IN POSTOJNSKE
JAME**

(Z 10 SLIKAMI IN 4 TABELAMI)

**THE STUDY OF VERTICAL WATER PERCOLATION IN THE
CASE OF PLANINA AND POSTOJNA CAVES**

(WITH 10 FIGURES AND 4 TABLES)

JANJA KOGOVŠEK, PETER HABIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 29. MAJA 1980

VSEBINA

1. UVOD	133
2. PREGLED PROBLEMATIKE	133
3. OBSEG OPRAVLJENEGA DELA	134
4. IZBIRA VZORCEV IN OPIS VZORČNIH MEST	134
5. METODE DELA	134
6. REZULTATI IN DISKUSIJA	136
6.1. Način vertikalnega prenikanje vode	136
6.2. Kemijsko učinkovanje pri vertikalnem prenikanju vode	137
6.3. Vodni val	140
6.4. Razmerje med trdoto in pretokom	142
6.5. Letne količine pretekle vode in odnešenih karbonatov	143
6.6. Razmerje karbonatna trdota – električna upornost	144
6.7. Izločanje karbonatov	145
7. SKLEPI	145
The Study of Vertical Water Percolation in the Case of Postojna and Planina Caves (Summary)	146
Literatura	147

UDK 551.444 (497.12-14)

Kogovšek Janja in Peter Habič: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. Acta carsologica 9, 000-000, Ljubljana, 1980, lit. 31.

Prenikanje vode skozi 100 m debel jamski strop je bilo merjeno v letih 1977 do 1979. Ugotovljeno je razmerje med padavinami in pretoki curkov v jamah, analizirane so trdote in temperature, prevodnost in druge kemijske lastnosti vode. Z barvanjem je spremljan potek prenikanja ter hitrost in razporeditev vode. Izračunane so raztopljene in odnešene količine karbonatov v teku leta, posebej pa je analiziran vpliv močnega naliva na pretok ter mehanično in kemično denudacijo.

UDC 551.444 (497.12-14)

Kogovšek Janja and Peter Habič: The Study of Vertical Water Percolation in the Case of Postojna and Planina Caves. Acta carsologica 9, 000-000, Ljubljana, 1980. Lit. 31.

The water percolating through 100 m thick roof was measured in the years 1977 to 1979. The rate between the precipitations and trickle discharges in the caves was stated, hardness and temperature were analysed as well as conductivity and other chemical properties of the water. By water tracing the course of percolating, velocity and water distribution were controlled. During the year dissolved and transported carbonate quantities were calculated, specially the influence of shower to discharge and mechanical and chemical denudation was analysed.

Naslov - Address:

mag. Janja Kogovšek
dr. Peter Habič

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna, Jugoslavija

1. UVOD

V okviru teme »preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame«, ki sta jo finansirala Raziskovalna skupnost Slovenije in Zveza vodnih skupnosti Slovenije, smo preučevali dinamiko vertikalno prenikajoče vode in kemijska dogajanja na njeni poti pri izbiranih curkih v obeh jamah. Ugotavljali smo tudi porazdelitev nekaterih elementov v sigah, kamnini in prenikajoči vodi, kar je posebej opisano v prispevku J. Kogovšek »Porazdelitev nekaterih elementov pri nastajanju sig v kraških jamah«.

Voda v naravi neprestano kroži, v ta ponavljajoči se proces je vključen tudi človek kot njen porabnik. Rezultat vsestranske uporabe vode so odpadne vode, ki jih narava danes že ne zmore več sama čistiti. Ta problem je najbolj pereč na kraškem svetu, kjer ima voda v prepustnih kamninah praktično neomejeno pot in onesnaženje lahko prodre do podtalnice in prek neznanih kanalov do izvirov, tako da se uničujejo osnovni viri pitne vode.

Še vedno pa le malo poznamo dinamiko prenikanja padavinske vode v krasu, poti, po katerih se pretaka od površja skozi kamninske sklade, njeno zadrževanje v podzemlju ter vpliv številnih faktorjev pri kemijskem učinkovanju ob stiku z različnimi snovmi na njeni poti.

2. PREGLED PROBLEMATIKE

Kemične in hidrološke lastnosti prenikajoče vode so v jamah preučevali Smith in Mead (1960), Raušer, Štelcl, Vlček (1965), Stenner (1966), Pitty (1966), Drew (1968; 1969), Mangin (1975), Gemiti, Merlak (1976) Gams (1967; 1972; 1976), Bakalowicz (1977), Nicod (1977), Bray (1977) in drugi.

Večinoma so merili temperaturo, pretok in pH vode, določevali trdoto vode, prosti CO₂ ter nekatere druge elemente. Z raziskovanjem kemijskega ravnotežja v sistemu voda-zrak (CO₂) – karbonat so se ukvarjali predvsem Roques (1962; 1964; 1969; 1972; 1973), Thraillkill (1976), Miserez (1973; 1975) in Picknett (1976).

Na območju Postojnske jame je I. Gams z meritvami kemijskih in hidroloških lastnosti skušal osvetliti dinamiko in faktorje korozijske intenzitete, kot tudi izločanje apnenca v jami. Na osnovi njegovih zaključkov in naših prvih orientacijskih meritev smo sklepali, da morajo na intenzivnost korozije vplivati številni faktorji: količina, oblika in intenziteta padavin, hitrost in način prenikanja, ki se odražajo v pretoku curkov oziroma kapljanju, vegetacija, debelina prsti in količina CO₂ v njej ter kamninska zgradba jamskega stropa. Ti faktorji se med seboj prepletajo, tako da imamo opraviti s kompleksnim sistemom dogajanja.

Zato je smiselno postopno spoznavanje zapletenega sistema na čim bolj enostavnih primerih, kjer lahko spoznamo in uvrednotimo osnovne zakonitosti vertikalnega prenikanja in kemijskega dogajanja v krasu.

3. OBSEG OPRAVLJENEGA DELA

V letu 1976 smo začeli z mesečnimi meritvami pretoka, temperature, pH, proste ogljikove kisline in trdot prenikajoče vode v Planinski jami. V letu 1977 smo med curki izbrali le tri značilne in tedensko merili zgoraj omenjene količine. Pretok in temperaturo vode curka 1 smo beležili zvezno, kot tudi padavine in temperaturo zraka in tal v globini 30 cm na površju nad Planinsko jamo. Vzporedno smo v Postojnski jami merili pretok in temperaturo kapnice in curkov ter določevali pH in trdote vode. Te meritve smo nadaljevali še v letu 1978 in 1979, tako da smo zaključili dva celoletna ciklusa opazovanj.

V obeh jamah smo začeli tudi z meritvami odlaganja karbonatov. Z merjenjem specifične upornosti vzorcev in karbonatne trdote pa smo skušali ugotoviti njuno medsebojno razmerje. Na površju nad Planinsko jamo smo preučili sestavo rastja in zemljin, reliefne oblike in geološko zgradbo v območju opazovanih curkov.

Način in hitrost prenikanja ter povezavo vodnih poti v jamskem stropu smo skušali bolje spoznati s sledilnim poskusom z uraninom ob suši z umetnim dodajanjem vode ter v naravno namočenih razmerah z injiciranjem uranina in rhodamima FB, prvega v vrtačo in drugega na površju nad curkom 1.

Ker so nam mesečne in kasneje tedenske meritve podale le sezonska nihanja temperature in trdot vode, ne pa tudi nihanja ob naraščanju in upadanju pretoka, smo se odločili za opazovanje vodnega vala. Vodni val smo imenovali reakcijo curka na vsakokratni naliv in obsega naraščanja pretoka do maksimalne vrednosti ter upadanje s približevanjem začasnemu pretoku pred padavinami. Tak vodni val smo analizirali pri curku 1 v Planinski jami.

4. IZBIRA VZORCEV IN OPIS VZORČNIH MEST

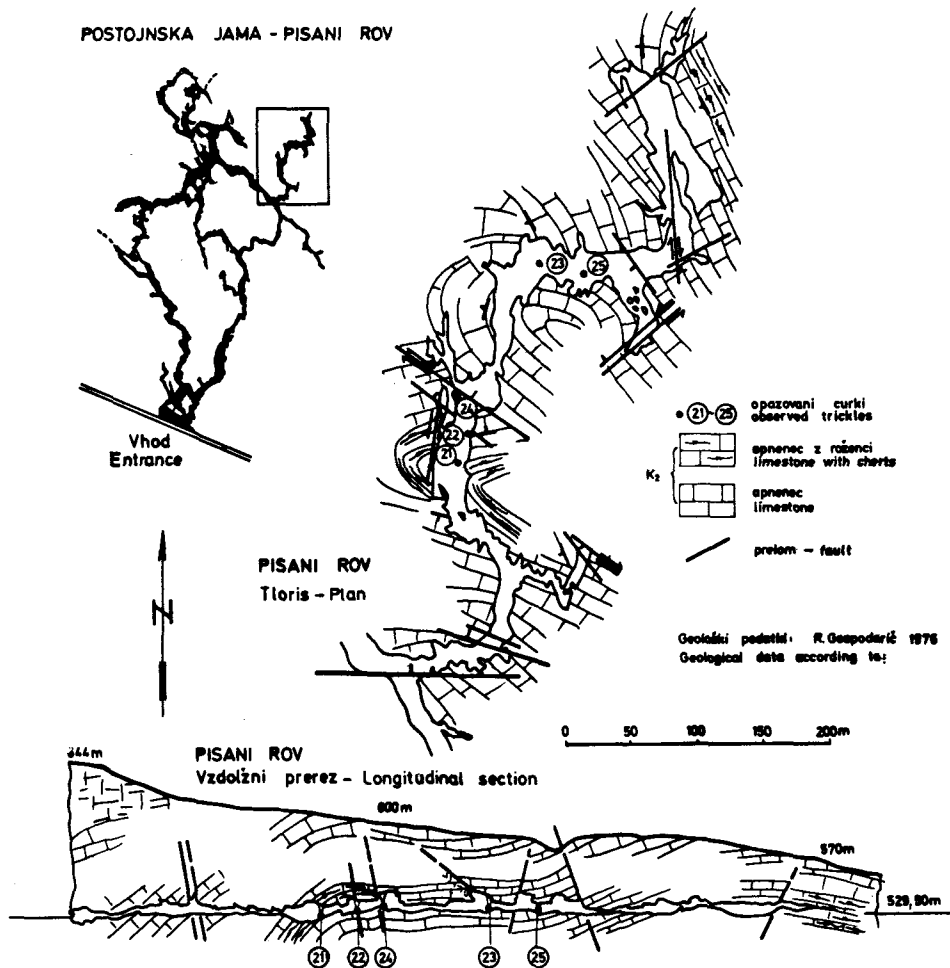
V Planinski jami smo v deževnem obdobju pregledali položaj stalnih in občasni curkov, ki jih podaja slika 1. Temeljiteje pa smo preučili curek 1 blizu vhoda. Na stropu rova je ob prečnem prelomu neizrazit čokast stalaktit, skozi katerega teče voda v curku na sigast podstavek. Odtok vode lahko spremljamo še 10 m do struge Unice. Neposredno nad curkom 1 je 10 m debel skalnat strop. Površje je pokrito z do 50 cm debelo plastjo rjavordeče prsti in tanko plastjo humusa ter poraslo z mešanim gozdom bukve (*Fagus*) in jelke (*Abies*). Neposredno nad jamo je več vrtač, ki so večinoma razporejene ob prelomih. Vhodni del Planinske jame je izoblikovan v spodnje krednih skladovitih apnencih, med katerimi je vložek apnenodolomitne breče. Le-ta je tik nad curkom 1 na površju, nato pa njene plasti vpadajo pod kotom proti SW, tako da jo zasledimo v jami med Sotočjem in Golgoti pri curkih 6, 7 in 8.

Nad Pisanim rovom Postojnske jame je 70–90 m debel strop. Voda priteka v curek 22 ob vzhodni steni po ozkem kaminu ob prelomu. Prelom seka teme antiklinale, ki jo tvorijo turonijski ploščati apnenci z roženci, nad katerimi so neskladoviti in skladoviti radiolitni apnenci (R. Gospodarič 1976). Curek 23 je globlje v rovu. Tam voda kaplja na stalagmit in odlaga sigo po dnu rova. Površje nad Pisanim rovom je pokrito s tanko plastjo rdečerjave kraške ilovice in obraslo z mešanim gozdom. Neposredno nad rovom ni vrtač, Pisani rov pa se odlikuje po kapniškem bogastvu različnih oblik in generacij sige. (sl. 2.).

5. METODE DE LA

Na površju nad Planinsko jamo smo s pluviografom zvezno merili količino padavin, s termografom pa temperaturo zraka in prsti v globini 30 cm. Pretok curkov v jami smo

POSTOJNSKA JAMA - PISANI ROV



Sl. 2. Postojnska jama, Pisani rov, položaj opazovanih curkov

Fig. 2. Postojna Cave, Pisani rov, the situation of experimental trickles

merili z menzuro in štoparico. Le pri curkih 1 in 6 v Planinski jami smo kasneje zvezno merili pretok, temperaturo vode in zraka. Temperaturo vode smo sicer določali s termometrom na desetinko stopinje natančno.

Vodnim vzorcem smo v laboratoriju določevali:

- pH elektrometrično s pH-metrom,
- električno upornost elektrometrično s konduktometrom,
- karbonatno, kalcijevo in magnezijevo trdoto titrimetrično po standardnih postopkih.

Izločanje karbonatov iz kaplajoče vode in curkov smo ugotavljali z razlikami v karbonatni trdoti in električni upornosti vode med dvema ali več zaporedno ležečimi vzorčnimi mesti. Vzorcem zemljin s površja nad vhodnim delom Planinske jame smo določevali vsebnost: vlage, organskih snovi, karbonatov, v vodi topnih nitratov, kloridov, fosfatov in sulfatov ter pH, barvo in zrnavost.

Preden smo izvedli sledilna poskusa v Planinski jami, smo preučili površje in geološko zgradbo nad curkom 1 ter skušali oceniti območje, od koder se voda steka v ta curek. Pri prvem sledilnem poskusu v sušnem obdobju smo zvrtili v ilovnatem dnu izbrane vrtače nad curkom 1 več vrtin. V najglobljo med njimi (3,5) smo vtili koncentrirano raztopino uranina (1,78 kg v 50 l vode) in jo zalili s 14 m³ vode (2 krat po 7 m³ v 90 minutah). Vzorčevali smo curek 1 in druge curke v bližini.

Drugi sledilni poskus z uraninom in rhodaminom FB smo izvedli v naravnih pogojih v deževnem obdobju. V že omenjeno vrtačo smo vtili raztopino uranina (315 g v 20 l vode), po površju nad samim curkom pa raztopino rhodamina FB (260 g v 30 l vode). Takoj po vlitju barve smo začeli z rednim vzorčevanjem in merjenjem pretokov curkov v neposredni bližini curka 1, kot pri prvem sledilnem poskusu ter opazovali izvir X v strugi Unice. Fluorescenco zajetih vzorcev so nam določali na ZVS, Hidrologija (ing. M. Zupan) v Ljubljani s spektrofluorimetrom Perkin Elmer 204. Uporabljeni barvili se pri določevanju med seboj ne motita (H. Behrens, M. Zupan, Martina Zupan 1976).

Ob opazovanju vodnega vala smo v jami zvezno beležili pretok curka 1 in zajetim vzorcem vsako uro določevali v laboratoriju po že omenjenih postopkih karbonatno trdoto, električno upornost, pH ter količino suspendiranih snovi s tehtanjem osušenega (105°C) suspenza. Količina vode, ki je v času vodnega vala pritekla skozi curek 1 smo določali planimetrično iz zvezne krivulje pretoka. Na enak način smo določili celoletno količino vode, ki je pritekla v jamo skozi curek 1.

6. REZULTATI IN DISKUSIJA

6.1. NAČIN VERTIKALNEGA PRENIKANJA VODE

Prenikanje vode skozi 100 m debel jamski strop je zelo različno. Na mnogih mestih kapljajo s stropa le posamezne kapljice in pretok se v teku leta malo spreminja. Tako kapljanje lepo ponazarjajo stalagmiti in stalaktiti v Pisanem rovu Postojnske jame. V aktivni vodni Planinski jami je takih oblik manj, pogostejši pa so izdatnejši vodni curki, ki bolj nihajo v pretoku in jih označujejo večje sigaste kope ali bolj izprana tla. Navezani so na izrazitejše razpoke in prelome. Pri stalnih curkih smo med minimalnim in maksimalnim pretokom opazili precejšnje razlike. Pretok manjših curkov manj niha, večjih pa znatno bolj, kar je razvidno iz tabele 1:

Tabela 1 - Table 1

Curek	23	22	8	1	6	
Q min	0,05	0,03	0,5	1,8	12	1 h ⁻¹
Q max	6	55	60 ¹	1350(12000) ²	1620(15000) ²	1 h ⁻¹

¹ celotnega pretoka ni mogoče meriti

² registrirani maksimalni pretoki

Poleg stalnih curkov pa imamo tudi občasne, ki so aktivni ob dežju, ali pa presahneje šele pod daljšem sušnem obdobju.

Prve občasne meritve pretoka curkov v Planinski jami in zvezne registracije padavin na površju so pokazale le grobo medsebojno odvisnost. Kasnejša zvezna registracija pretoka curka pa je podala točno sliko nihanja pretoka in omogočila izračun hitrosti reagiranja pretoka v jami na padavine. Curki ne reagirajo vedno enako na padavine, kar je odvisno od vremenskih razmer, temperature zraka in prsti, količine, intenzivnosti in oblike padavin ter vegetacijskih razmer. Pri curku 1 je vplivalo na spremembo pretoka v namočenem obdobju že 5 mm padavin, po daljšem sušnem obdobju pa je pretok narasel šele, ko je skupna vsota občasnih padavin preseгла 70 mm.

Dvoletni potek padavin in pretoka podajata sliki 3 in 4. Padavine se po letih znatno razlikujejo po razporeditvi in količini. V obdobju 1977/78 je padlo 1889 mm, v obdobju 1978/79 pa 2237 mm padavin. Podobne razlike se kažejo tudi v letnem poteku pretokov.

Največje spremembe v pretokih so v času vodnih valov. Izgleda, da vpliva na oblikovanje minimalnega vodnega vala različna količina in intenzivnost padavin, odvisno od začetnega pretoka curka v jami, oziroma zapoljenosti neznanega »rezervoarja« v stropu jame. Posebne razmere v pretokih curkov vladajo v zimskem obdobju, ko na površju leži sneg in občasno nastopajo zmrzali in odjuge.

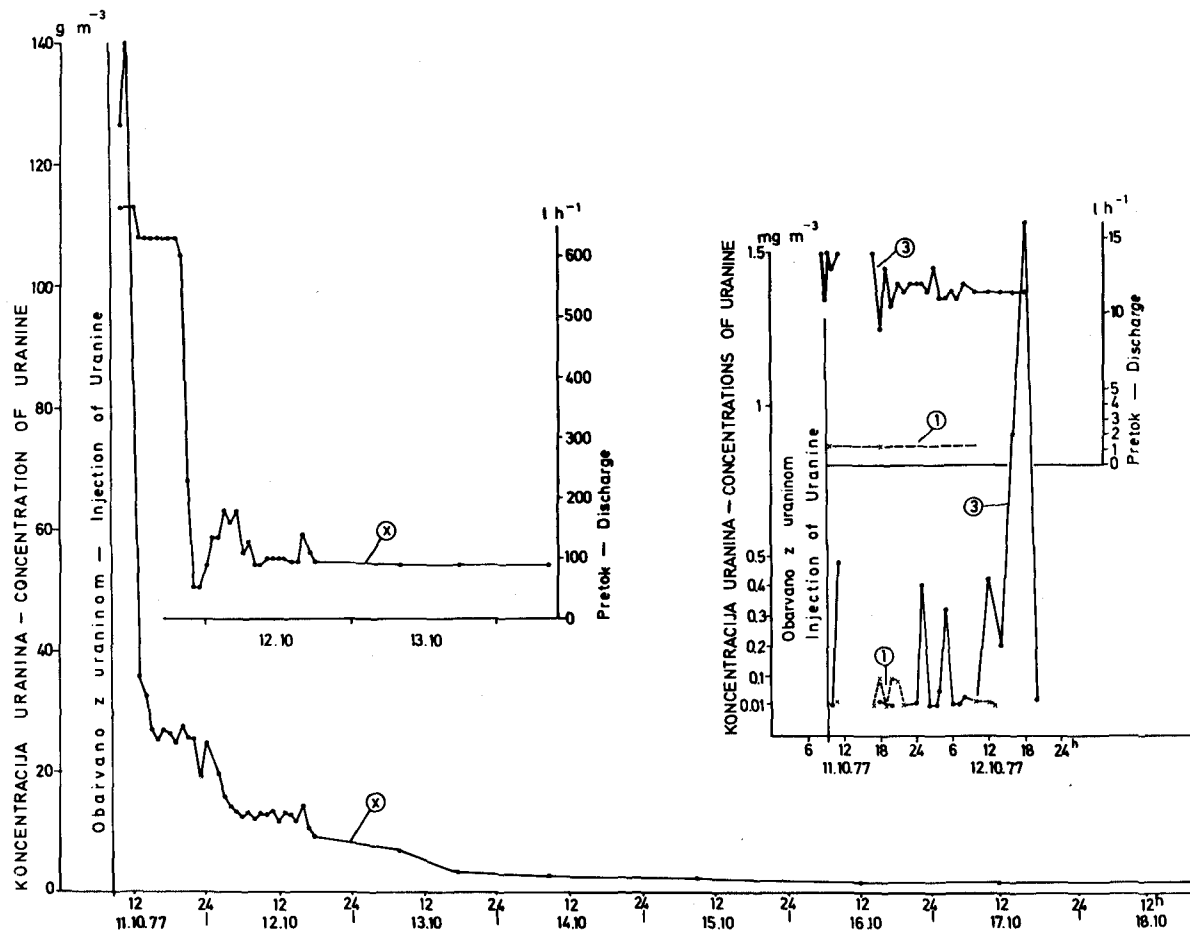
Ker opazovanja in meritve curkov niso dale dovolj podrobnega vpogleda v način in hitrost prenikanja vode skozi jamski strop Planinske jame, smo izvedli dva sledilna poskusa. Pri prvem sledenju se je pojavil uranin v izviru X ob strugi Unice, približno dve uri po vlitju uranina in prve cisterne vode, kar da slutiti, da gre za dokaj direktno povezavo vrtače s tem izviro. Vodna pot pa je verjetno še vedno sestavljena iz številnih med seboj povezanih vodnikov, ki na različne načine napajajo izvir X. To dokazujejo počasen odtok vlite vode (dobre 3 dni), sekundarni impulzi koncentracije barvila in pretoka izvira X ter pojav barve v curkih 1 in 3 (sl. 5).

Drugo sledenje v naravno namočenih razmerah je potrdilo ugotovitve prvega poskusa. Čeprav dva dni po vlitju uranina ni bilo dežja, se je izvir X obarval že 9 ur po vlitju barve, kar nakazuje znatno počasnejše pretakanje v sušnem obdobju kot v namočenem. Curek 3 se je obarval že dobro uro po začetku dežja, ko je padlo ~ 10 mm padavin, to je skoraj 2 dni po vlitju barve. To kratkotrajno obarvanje se je ponovilo še po končanem vodnem valu. Sklepamo, da je prišlo zaradi povečanja pretoka do močne razredčitve in je koncentracija uranina padla pod mejo detekcije. Pri curku 1 je naraščanje in nato upadanje pretoka curka oblikovalo vodni val, medtem ko barve nismo zaznali, kar je verjetno vzrok v majhni količini vlitega uranina in veliki količini pretekle vode skozi ta curek. Ker pri prvem sledilnem poskusu pri curkih 1 in 3 ni prišlo do povečanja pretoka, zaznali pa smo obarvanje, sklepamo, da obstaja povezava med vrtačo in curki, vendar pa mora odtekati voda v tej smeri v zelo majhni količini. Torej se curka 1 in 3 v pretežni meri napajata izven območja vrtače (sl. 6).

Rhodamin FB smo določili v izviru X in curku D, vendar se je pojavil le kratek čas in blizu meje detekcije, tako da ne moremo napraviti kakršnihkoli zaključkov.

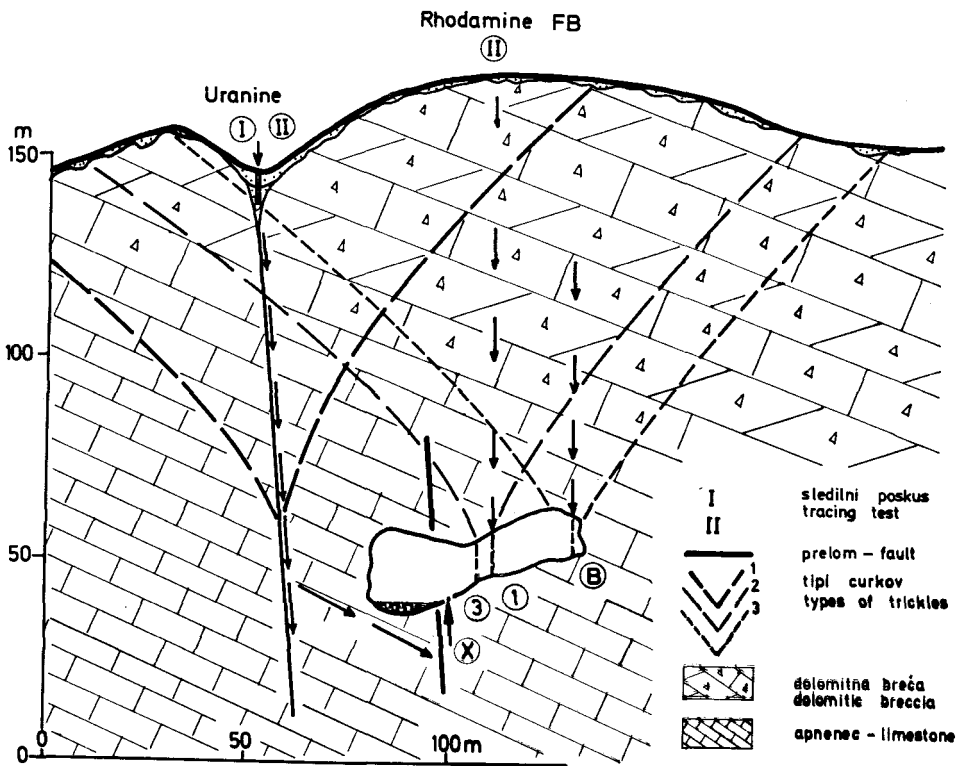
6.2. KEMIJSKO UČINKOVANJE PRI VERTIKALNEM PRENIKANJU VODE

Analiza deževnice, ki je v okviru natančnosti titrimetrične določitve brez trdote, je pokazala, da vsebuje $1 \text{ mg l}^{-1} \text{ Cl}^{-}$ in $4,3 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^{-}$, koncentraciji SO_4^{2-} in PO_4^{3-} pa sta bili pod mejo detekcije. Deževnica prenika skozi plast zemljin, ki jo sestavljajo: tanka plast humusa, rjava prst, rumena glina, rdečkasta glina in razpadla skala s primesmi gline s površine kamninske osnove. Te plasti vsebujejo do 0,03 % kloridov, pod 0,005 % nitratov in pod 0,0001 % fosfatov. Humus in rjava prst vsebujeta približno 50 % nekarbonatnega peska, gli-



Sl. 5. Rezultati sledenja vertikalnega prenikanja pri curku 1 v Planinski jami 1977

Fig. 5. The results of vertical percolation tracing at trickle 1 in Planina Cave in 1977



Sl. 6. Tipi curkov v prečnem prerezu Planinske jame

Fig. 6. Trickle types in cross-section of Planina Cave

ne, predvsem melj, le vzorec razpadajoče skale vsebuje 72% karbonatov. Verjetno ta material v znatni meri prispeva k dvigu vrednosti karbonatov v prenikajoči vodi. Od površja v notranjost pH narašča; humusu smo določili pH = 5,5, rdečkasti glini pa pH = 7,7.

Kemijska sestava prenikajoče vode zavisi od načina prenikanja ter od številnih snovi, s katerimi pride na svoji poti v stik in jih lahko raztaplja. Na hitrost raztapljanja apnenca vpliva tudi njegova tekstura. Drobnozrnati se v splošnem hitreje raztaplja kot grobozrnati. Tekstura vpliva na pozornost, ta pa je sorazmerna topnosti apnenca (M. M. Sweeting 1976).

Vsi opazovani curki imajo pretežno karbonatno in kalcijevo trdoto in le do 8% magnezijeve trdote, razen vode curka 1 v Planinski jami, ki vsebuje do 35% magnezijeve trdote. Ta voda prenika najprej skozi debelejšo plast apnene dolomitne breče, ki v notranjost tako vpada, da voda drugih curkov v jami prenika predvsem skozi debelo-skladoviti apnenec, zato vsebuje njihova voda nizko magnezijevo trdoto. Topnostni produkt za $MgCO_3$ je znatno večji ($2,6 \cdot 10^{-5}$ pri $12^\circ C$) kot za $CaCO_3$ ($0,99 \cdot 10^{-8}$ pri $15^\circ C$), kar tudi pojasnjuje večjo koncentracijo Mg v vodi curka 1.

Vrednosti tedenskih meritev pH nihajo preko leta do 0,5 enote in nismo mogli ugotoviti nobenih odvisnosti s trdoto vode (sl. 7 in 8 v prilogi, enako kot sl. 4).

Primerjava celoletnega poteka temperatur zraka na površju, tal v globini 30 cm ter zraka in prenikle vode v Planinski jami je pokazala zmanjševanje amplitud nihanja temperature od površja proti notranjosti jame. Tako vidimo, da se padavinska voda pri prenikanju s površja proti notranjosti jame v topli polovici leta ohlaja, v mrzlem obdobju pa segreva. Tedenske, kot tudi mesečne meritve temperatur in trdot vode curkov v Planinski jami dokazujejo njihovo sezonsko nihanje, le da trdote zaostajajo za temperaturami za dober mesec (sl. 7 in 8). Količina raztopljenih karbonatov zavisi od načina pretakanja vode po razpoložljivih poteh in količine CO₂, ki ga raztaplja predvsem na svoji poti skozi zemljine. Koncentracija CO₂ v le-teh je odvisna od razvoja vegetacije oziroma temperatur na površju.

Del organskih snovi v tleh se hitro mineralizira, del pa se humificira in razpade šele v teku let ali desetletij. Mineralizacijo pospešujejo tudi pogoste navlažitve in osušitve tal. Laboratorijski poskusi mineralizacije so pokazali, da navlaženju sledi relativno močno razvijanje CO₂. Po treh mesecih pa se koncentracija CO₂ ustali na določeni značilni vrednosti za posamezne vrste tal (P. Schachtschabel, H. P. Blume, K. H. Hartge, U. Schwertmann 1976).

Najvišje trdote smo zabeležili septembra, oktobra in novembra, ko se končuje obdobje rasti, kot tudi daljše sušno obdobje z minimalnim spiranjem skozi jamski strop. S časom, ki je potreben za mineralizacijo odmrle vegetacije in za učinkovanje nastalega CO₂ s padavinsko vodo in kamninami v jamskem stropu, bi lahko nekako pojasnili zakasnitev porasta in upada trdot za porastom in upadom temperatur. Pri tem pa moramo upoštevati še možnost zadrževanja prenikajoče vode v »rezervoarju« jamskega stropa.

V letih opazovanja (1977/78 in 1978/79) smo zabeležili razlike med minimalnimi in maksimalnimi temperaturami in trdotami vode curka 1, kot tudi razlike v letnem poteku temperature oziroma trdot, kar je verjetno posledica drugačnih vremenskih razmer v obeh letih (tabela 2 in sl. 7 in 8).

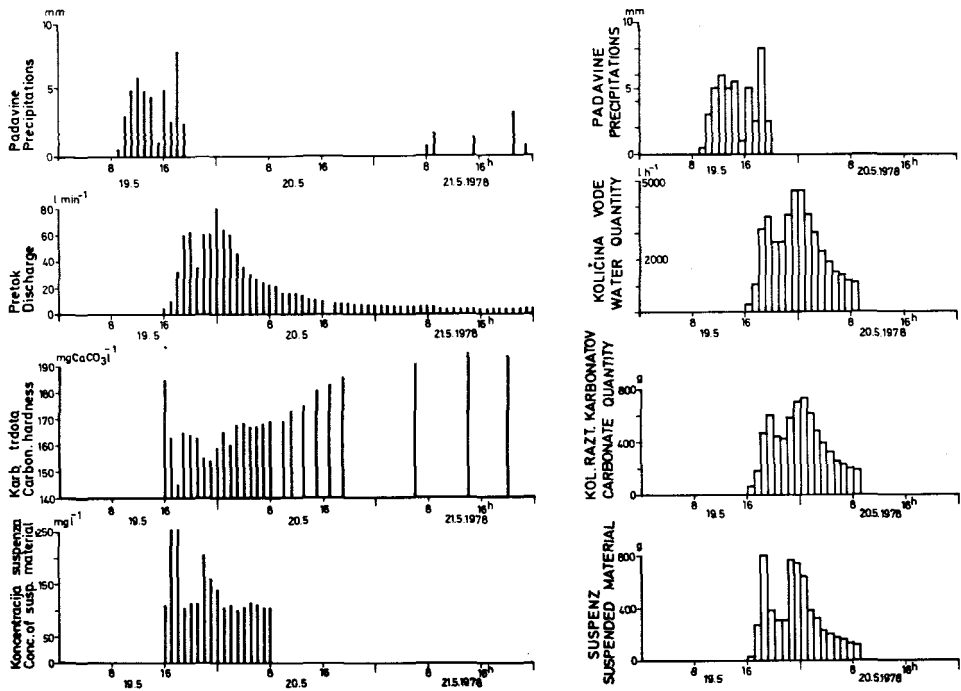
Tabela - Table 2

	T min	T max	Karbonatna trdota min	trdota max	Celokupna trdota min	trdota max
1977/78	6,1	12,6	170	259	185	263
1978/79	7,4	12,0	160	240	170	265
	°C		mg CaCO ₃ l ⁻¹			

Temperature curkov 21 in 23 v Pisanem rovu so skoraj stalne (7,9–8,3°C), kot tudi karbonatne trdote (165–200 mg CaCO₃ l⁻¹), ki za razliko od curkov v Planinski jami ne kažejo sezonskih nihanj. Vzrok je verjetno v načinu pretakanja. V Planinski jami pogojujejo precej direkten odtok prelomi in razpoke, v Pisanem rovu pa gre verjetno za močno dušenje pretoka skozi manj razpokane kamnine.

6.3. Vodni val

Iz slike 9 je razvidno, da je neenakomeren naliv, ko je v 10 urah padlo 45 mm padavin, sprožil s 6-urno zakasnitvijo pri curku 1 v jami vodni val. Ta je po 4 urah dosegel svoj prvi višek (63 l min⁻¹). Pojemanju padavin je sledilo zmanjšanje pretoka, ponovnemu intenzivnejšemu dežju pa drugi višek (80 l min⁻¹). Potek prvega viška je dokaj skladen s pretokom padavin, kar pa ne velja za drugi višek. To si razlagamo kot postopno zapolnjevanje in zadrževanje vode v »rezervoarju« jamskega stropa, ki je verjetno odvisno od narave posameznih, zelo različnih elementov celotnega spleta povezav dovodnih poti curka 1.



Sl. 9. Podatki o vodnem valu

Fig. 9. Data about the water pulse

Tudi enakomeren upad vodnega vala, ko so padavine že prenehale, in zakasnitev reakcije pretoka na padavine si lahko razložimo s prisotnostjo »rezervoarja«.

Ob začetnem naraščanju pretoka je karbonatna trdota upadala in ob upadanju vodnega vala naraščala (od 145 do 195 mg CaCO₃ l⁻¹). V vmesnem delu vodnega vala pa smo opazili odklon od tega poteka, ki verjetno odraža nihanje pretoka in mešanja vode v že omenjeni zgradbi »rezervoarja«.

Pri poskusu smo ugotovili, da voda curka 1 prenaša tudi suspendiran material, ki pri običajnem tedenskem vzorčevanju ni bil skoraj nikoli viden, vzorci so bili le občasno motni. Zato smo sklepali, da voda prenaša zelo majhne količine suspenzije. Vsakournna merjenja suspenzije, ki ga voda prinaša v jamo, pa kažejo naraščanje koncentracije suspenzije (do 255 mg l⁻¹) ob naraščanju pretoka, ko ima voda večjo erozijsko moč. Slika 9 prikazuje tudi urne količine prenikle vode, raztopljenih karbonatov in suspenzije. Na količino odnešenih karbonatov vpliva predvsem količina vode, medtem ko je vpliv karbonatne trdote manjši. Časovni potek odnešenih karbonatov je skladen s pretoki vodnega vala. Za transport suspenzije pa je odločilnega pomena koncentracija suspenzije kot pa količina vode.

V srednjem delu vodnega vala, ki obsega 17 ur, je preteklo skozi curek 1 42 m³ vode, 6,8 kg raztopljenih karbonatov in 5,9 suspendiranega materiala. V vodnem valu sta torej korozija in erozija približno enakovredni.

6.4. RAZMERJE MED TRDOTO IN PRETOKOM

Odvisnost karbonatne trdote in količine odnešenih karbonatov od pretoka prikazuje slika 10.

Urni podatki v vodnem valu curka 1 podajajo dvojno odvisnost karbonatne trdote od pretoka. Ob naraščanju pretoka nismo mogli določiti natančnejše matematične odvisnosti zaradi premajhnega števila podatkov. Razmerje med trdoto in pretokom ob upadanju vodnega vala pa podaja enačba:

$$H = k \frac{1}{Q_v} + H_0 \quad \text{oz.} \quad H = 214,8 \frac{1}{Q_v} + 158,7 \quad (r = 0,9997) \quad 2$$

H – karbonatna trdota (v mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$)

k – koeficient upadanja (mg min^{-1})

Q_v – pretok (l min^{-1})

H_0 – začetna trdota – trdotni prag (v mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$)

r – koeficient korelacije

Razmerje med karbonatno trdoto in pretokom ob upadanju pretoka curka 1 v vodnih valih po tedenskih meritvah v teku leta pa podaja funkcija:

$$H = 25,838 \frac{1}{Q_v} + 192,0 \quad (r = 0,998) \quad 1$$

Enako smo izračunali tudi za curek 6:

$$H = 28,44 \frac{1}{Q_v} + 126,2 \quad (r = 0,9915)$$

Obe funkciji (za curek 1 in 6) imata podoben potek, razlikujeta se le v začetni trdoti. Funkcija 1 združuje neko povprečno dogajanje ob upadanju pretoka na osnovi tedenskih meritev prek leta.

Funkcija 2 podaja potek dogajanja ob upadanju vala, dogajanje ob naraščanju pretoka pa bo potrebno še podrobneje preučiti. Pri opazovanem vodnem valu oblikujeta krivulji ob naraščanju in upadanju pretoka histerezno zanko.

Količine odnešenih karbonatov v času, ki smo jih izračunali na osnovi karbonatnih trdot in pretoka, so linearno odvisne od pretoka. Ob upadanju vodnega vala jih lahko izrazimo s funkcijo:

$$Q_m = k \cdot Q_v + Q_{m0} \quad \text{oz.} \quad Q_m = 0,1587 Q_v + 0,2148 \quad (r = 0,9997) \quad 3$$

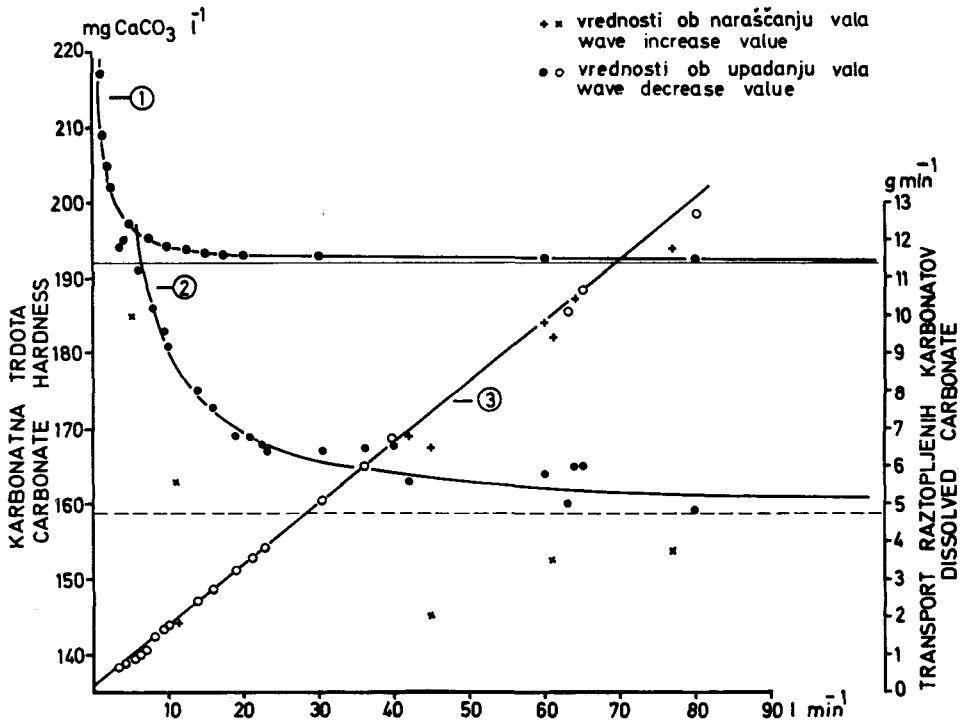
Q_m – pretok raztopljenih karbonatov (g min^{-1})

Q_v – volumski pretok (l min^{-1})

k – sorazmernostni koeficient (g l^{-1})

Q_{m0} – konstanta (g min^{-1})

Ob naraščanju pretoka je opaziti manjše odklone od tega linearnega poteka.



Sl. 10. Razmerje med pretokom in trdoto vode ter raztopljenimi karbonati

Fig. 10. The rate between discharge and water hardness and dissolved carbonates

6.5. LETNE KOLIČINE PRETEKLE VODE IN ODNEŠENIH KARBONATOV

Za curek 1, 6, 22 in 23 smo za obdobje 1977/78 izračunali celoletne količine prenikle vode in raztopljenih karbonatov na osnovi tedenskih meritev pretoka in trdot (tabela 3).

Tabela 3 - Table 3

Curek	1	6	22	23	
Količina vode	1500	1600	57	13	m ³
Količina karbonatov	310	232	6	2	kg

Ker so bile te meritve pretežno ob nizkih in srednje velikih pretokih, sklepamo, da so dobljene vrednosti prenizke. Te meritve namreč niso zajele višjih pretokov vodnih valov. Natančnejše količine smo izračunali za curek 1, kjer smo zvezno beležili pretok. Tako izmerjena letna količina vode znaša 1900 m³. Na podlagi te količine vode in njene poprečne letne karbonatne trdote smo izračunali količino odnešenih karbonatov, ki jih voda raztopi pri prenikanju skozi jamski strop.

Tabela 4 podaja letne količine za leti 1977/78 in 1978/79.

Tabela 4 - Table 4

Leto	Količina vode	Količina raztopljenih karbonatov	Padavine
1977/78	1900 m ³	380 kg	1890 mm
1987/79	2000 m ³	430 kg	2240 mm

Iz teh vrednosti smo ocenili zbirno območje vode, ki se steka v ta curek, na okrog 1000 m². Povprečna letna korozijska intenziteta znaša tedaj 148 m³ km⁻² in je več kot enkrat višja od poprečne vrednosti za Slovenijo (I. G a m s 1972).

Povprečno trdoto smo določili z upoštevanjem tedenskih meritev in vpliva vodnih valov. Če pa bi upoštevali kar tedenske ali celo mesečne vrednosti trdot, bi bile izračunane vrednosti odnešenih karbonatov do 8% višje. V primeru, da bi imeli merjene le tedenske vrednosti pretoka in karbonatne trdote, pa bi bila letna količina odnešenih karbonatov kar za 18% manjša.

6.6. RAZMERJE KARBONATNA TRDOTA - ELEKTRIČNA UPORNOST

Hem (1970), Corbel (1969), Doroschewski in Rodier (1966), Richard in Nguyen Van Lu (1961), ki jih navaja Bakalowicz (1974), govore o linearni odvisnosti med mineralizacijo in električno prevodnostjo. Bakalowicz (1974) je pri povprečni mineralizaciji upošteval ione: HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ in ugotovil, da njeno razmerje z električno prevodnostjo ni enako za vse kraške vode, ampak da vsak sistem določuje njegova geokemična sestava.

Naše vode vsebujejo pretežno karbonatno trdoto, nekaj Cl⁻ (1 mg l⁻¹) in SO₄²⁻ (do 10 mg l⁻¹), od kationov pretežno Ca²⁺, nekaj Mg²⁺ (do 3 mg l⁻¹), razen curka 1 in mikrokoličine Na⁺ (< 1000 ppm) in drugih kovin (Fe, Al...).

Študirali smo razmerje karbonatna trdota - električna upornost. Ker karbonatna trdota ne zajema celotne mineralizacije vode, nista popolnoma primerljivi, vendar je njuna razlika sorazmerno konstantna. Predpostavili smo različne funkcije odvisnosti in z metodo najmanjših kvadratov preizkušali njihovo ustreznost. Izkazalo se je, da za manjše število točk najbolj ustreza logaritmična porazdelitev.

$$\ln H = - 1,063 \ln R + 4,45 \quad r^2 = 0,952$$

H - karbonatna trdota (mg CaCO₃ l⁻¹) - območje 100 - 220 mg CaCO₃ l⁻¹
R - električna upornost (KΩ)

Za vse meritve od 10/4-1978 dalje pa smo dobili:

$$\ln H = - 0,951 \ln R + 4,511 \quad r^2 = 0,902$$

Tudi linearna funkcija se precej dobro približuje razporeditvi naših točk, vendar slabše kot logaritmična. Za omejeno število točk smo dobili:

$$H = - 244,9 R + 298,3 \quad r^2 = 0,919$$

6.7. IZLOČANJE KARBONATOV

Izločanje karbonatov smo merili v Pisanem rovu in Planinski jami.

V Pisanem rovu je temperatura kapnice praktično konstantna ($\sim 8^\circ\text{C}$) in se tudi pri polzenju po zasigani poti ne spreminja – torej temperatura tu ne vpliva na izločanje karbonatov. Opazili pa smo vpliv pretoka vode. Višji pretoki zmanjšujejo izločanje, vendar nismo ugotovili njunega odnosa. Verjetno pa tu nastopajo še drugi vplivi (višina koncentracije karbonatov v vodi itd.), ki jih do sedaj še nismo uspeli določiti. V Pisanem rovu se je izločalo iz vode do $75\text{ mg CaCO}_3\text{ l}^{-1}$.

V Planinski jami so razmere bolj zapletene. Kapnica curka 1 se je na svoji poti po jamskem dnu, kjer smo merili izločanje, od novembra do aprila ohlajala (do 4°C). Ker topnost CaCO_3 z naraščajočo temperaturo, pri konst. P CO_2 , pada (P i c k n e t t 1976), ohlajanje vode v našem primeru zavira izločanje karbonatov. Višjim temperaturam kapnice sledijo z manjšo zakasnitvijo (~ 1 mesec) tudi karbonatne trdote (od avgusta do decembra), ko smo opazili večje izločanje. Hkrati pa se kaže vpliv padavin, ki se odraža v večjih pretokih in zelo skromnem izločanju. Voda opazovanega curka vsebuje do 35 % magnezijeve trdote, vendar smo ugotovili, da se iz vode izloča predvsem CaCO_3 , magnezij pa le neznatno, kar je vzrok v večjem topnostnem produktu MgCO_3 v primerjavi s CaCO_3 .

7. SKLEPI

Prenikanje vode skozi jamski strop je zelo različno. V Pisanem rovu večinoma enakomerno kapljajo s stropa le posamezne kapljice, ki gradijo kapniške oblike, v Planinski jami pa imamo izdatnejše vodne curke, ki močno nihajo v pretoku in so navezani na izrazitejšo razpoke in prelome. Minimalni in maksimalni pretoki različnih curkov so lahko v razmerju 1 : 100 do 1 : 1000 ali celo 1 : 5000.

Pretok curkov je odvisen od razpokanosti in zakrasedlosti kamnin, obsega drenažnega sistema ter intenzivnosti in količine padavin. Sistem povezav vodnikov padavinske vode, ki napajajo curek, nam je še vedno le malo znan in iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da je drenažni sistem curka sestavljen iz številnih, različno prepustnih vodnikov oziroma »rezervoarja«, kjer se voda lahko tudi zadržuje. Drenažni sistemi pa se med seboj še prepletajo. Na letno izdatnost curka pa vpliva tudi obseg drenažnega sistema, zato so letne količine vode različnih curkov lahko celo v razmerju 1 : 100. V tem vidimo bistvo razčlenjevanja kraškega površja.

Temperatura prenikle vode in njene trdote pri curkih z večjo oscilacijo pretoka prek leta sezonsko nihajo, le da trdote zaostajajo za temperaturami za dober mesec. Od leta do leta pa so opazne razlike v tem poteku, kar je odraz drugačnih vremenskih razmer. V Pisanem rovu so nihanja trdot znatno manjša. Na raztapljanje karbonatnih kamnin vpliva CO_2 v prsti, kjer ga padavinska voda raztaplja.

Sele zvezna opazovanja in podrobno spremljanje vodnega vala pa je podalo pravo sliko dogajanja, ki je osnovni element dogajanj tekom leta. Tu smo opazili, da prinaša voda v jamo poleg kemično raztopljenega tudi suspendiran material in da imamo tako na površju in stropu jame dva različna doprinosa k zakrasedanju.

Korozija in erozija sta predvsem odvisni od količine prenikajoče vode. Količina padavin in razlike v prepustnosti kamnin zato bistveno vplivajo na razčlenjevanje kraškega površja. Tako je npr. nad Planinsko jamo kraška denudacija znatno učinkovitejša v območju drenažnega sistema vrtač kot pa v predelu med vrtačami.

Opazovani vodni val je pokazal, da sta erozija in korozija ob nalivih enako učinkoviti. Takrat je 42 m^3 vode v 17 urah raztopilo skoraj 7 kg karbonatov in prineslo v jamo 6 kg suspenza. Celoletni izračun za ta curek pa znaša $\sim 2000\text{ m}^3$ prenikle vode in 400 kg raz-

topljenih karbonatov. Ocena površine, s katere se steka ta voda, pa je okoli 1000 m². Količina odnešenih karbonatov (masni pretok) je linearno odvisna od volumenskega pretoka.

Razmerje med pretokom in karbonatno trdoto podaja ob upadanju pretoka hiperbolična funkcija.

Razmerje med karbonatno trdoto in električno upornostjo je za vsak sistem specifično in ga bolje podaja logaritmčna funkcija kot linearna.

Izločanje karbonatov je v veliki meri odvisno od režima in pretoka, poleg tega pa so pomembni še drugi vplivi, ki jih še nismo uspeli podrobneje opredeliti. V posameznih curkih je delež karbonatov, ki se izločajo, zelo različen. Pri nekaterih curkih v opazovanem obdobju sploh nismo ugotovili izločanja, pri drugih le občasno, pri nekaterih pa se karbonati izločajo vse leto. Pri teh se je že na kratki razdalji v jami izločalo od 0 do 40 % karbonatov, predvsem CaCO₃, medtem ko se MgCO₃ izloča v precej manjši meri. Temu je vzrok večji topnostni produkt za MgCO₃ v primerjavi s CaCO₃.

Trdote kraških izvirov so potemtakem rezultat zelo različno intenzivnega raztapljanja in izločanja karbonatov, pretoki pa seštevke mnogih zelo različnih curkov prenikajoče vode.

Summary

THE STUDY OF VERTICAL WATER PERCOLATION IN THE CASE OF POSTOJNA AND PLANINA CAVES

Three years we studied on the chosen experimental area of Planina and Postojna (Pisani rov) Caves the vertical water percolation of precipitations and chemical events on its way from the surface through karstified limestone in the underground.

On the surface the air and soil temperatures and precipitations were continuously registered; in the cave we have monthly, later weekly, while at trickle 1 continuously registered water temperature and discharge. In the laboratory pH and hardnesses were defined. Two water tracings with fluorescent dyes were done, water pulse was observed, geological structure of the cave roof and of the surface above the cave were studied.

From obtained results we can conclude that the drainage system of the observed trickle 1 is composed by several, differently pervious conductors, 'storages' respectively, where the water could be retained. The drainage systems of neighbour trickles are mixed with the others.

Minimal and maximal discharges of different trickles occur in the rate 1:100 up to 1:1000 or even 1:5000. The extent of drainage system influences to annual trickle capacity therefore the annual water quantities of different trickles can occur in the rate 1:100. This seems to be the essential property of karst surface dissection.

In the Planina Cave the temperatures of percolating water and its hardnesses seasonally oscillate and the lapse of their curves changes from year to year; in Pisani rov the hardness oscillations are considerably smaller being possibly the effect of different percolating manners. Continuous registration and detailed observations of water pulse have shown that the water pulse presents the basic process during the vertical water percolation. We saw that the water transports into the cave chemically dissolved and suspended material. In observed water pulse at trickle 1 the corrosion and erosion were equally efficient, as 42 m³ of water dissolved almost 7 kg of carbonates and transported into the cave almost 6 kg of suspended load. The annual quantity for the period 1977/78 amounts for trickle 1 to 1900 m³ of percolating water and 380 kg of dissolved carbonates; the surface being estimated to 1000 m², giving annual corrosion intensity of 148 m³km⁻².

On the base of calculated rate between carbonate hardness and discharge during discharge decrease in the water pulse and in all registered water pulses during the year we got the hyperbolic function dependency.

$$H = k \frac{1}{Q_v} + H_0$$

By the same way was calculated that the quantity of transported carbonates presents linear function of volume discharge

$$Q_m = k \cdot Q_v + Q_{mo}$$

Thus there are two different processes influencing to karstification: chemical solution and mechanical transport, both extremely depending on quantity of percolating water.

The rate between carbonate hardness and electrical resistivity is specific for each system and is better presented by logarithmical than by linear function.

The carbonate precipitation extremely depend on régime and discharge, but there are still other influences which are not yet defined in detail.

Consequently the karst sources hardnesses result from different intensive solution and carbonate precipitation, while the discharges present the sum of several, sharply different trickles of percolating water.

Literatura

- Bakalowicz, M., 1974: Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Relation entre minéralisation et conductivité. *Annales de Spéléologie* 29/2, 167-173. Paris.
- Bakalowicz, M., 1977: Relation entre la dynamique des eaux du karst et les procès de karstification. *Proc. of the 7th International Congress of Speleology*, 10-12. Sheffield.
- Behrens, H., Martina Zupan, M. Zupan, 1976: Methodik und Ergebnisse der Direktmessung der Fluoreszenztracer. *Steirische Beiträge zur Hydrogeologie*, 125-149. Graz.
- Bray, L.G., 1977: The role of organic matter in limestone solution in the Ogoff Ffynnon Ddu Streamway. *Proc. of the 7th International Congress of Speleology*, 65-68. Sheffield.
- Drew, D.P., 1968: Tracing percolation waters in karst area. *Transactions of the CRG* 10(2), 107-114.
- Gams, I., 1967: Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kamninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. *Geografski vestnik* 38, 11-68. Ljubljana.
- Gams, I., 1972: Effect of runoff on corrosion intensity in the northwestern Dinaric karst. *Transactions of CRG* 14(2), 78-83.
- Gams, I., 1976: Variations of total hardness of karst waters in relation to discharge. *Karst processes and relevant landforms*, ISU, 41-59. Ljubljana.
- Germitti, F., E. Merlak, 1976: The influence of the surface ground on the chemical characteristics of the percolating water in karst soils. *Karst processes and relevant landforms*, ISU, 61-70. Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. *Acta carsologica* 7, 5-139. Ljubljana.
- Mangin, A., 1974, 1975: Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Annales de Spéléologie*, 1974, 29/3, 283-332; 29/4, 495-601; 1975, 30/1, 21-124. Paris.
- Miserez, J.J., 1973: Géochimie des eaux du karst jurassien. Contribution physico-chimique à l'étude des altérations. Thèse, 1-313. Université, Neuchâtel.
- Nicod, J., 1976: Variation du CO₂ dans les sols. *Karst processes and relevant landforms*, ISU, 27-30. Ljubljana.
- Picknett, R. G., 1973: Saturated calcite solutions from 10-40°C. *Transactions of CRG* 15(2), 67.
- Picknett, R. G., 1976: The chemistry of cave waters. *Iz: The Science of Speleology*, 1-593(213). Academic Press, London.
- Picknett, R. G., 1977: Rejuvenation of aggressiveness in calcium carbonate solutions by means of magnesium carbonate. *Proc. of the 7th International Congress of Speleology*, 346. Sheffield.
- Picknett, R. G., 1977: Foreign substances and calcite solubility in carbonated waters. *Proc. of the 7th International Congress of Speleology*, 348. Sheffield.
- Pitty, A. F., 1966: An approach to the study of karst water. *Univ. Hull Occ. Paper in Geogr.* 5.

- Raušer, J., O. Štelcl, V. Vlček, 1965: Principal characteristics of karst water in central European area according to the results from Moravian Karst. Problems of the speleological research 1, 85-105. Praga.
- Roques, H., 1962: Considération théoriques sur la chimie des carbonates. Annales de Spéléologie 17/1, 2, 12 in 241. Paris.
- Roques, H., 1964: Contribution à l'étude statique et cinétique des système gaz carbonique - eau - carbonate. Annales de Spéléologie 19/2, 255. Paris.
- Roques, H., 1969: Problemes de trasfert de masse posés par l'évolution des eaux souterraines. Annales de Spéléologie 24, 455. Paris.
- Roques, H., 1972: Sur une nouvelle méthode graphique d'étude des eaux naturelles. Annales de Spéléologie 27/1, 79. Paris.
- Roques, H., 1972: Etude expérimentale de la cinétique de précipitation de carbonates de calcium. Annales de Spéléologie 27/2, 273. Paris.
- Roques, H., A. Girou, 1972: Influence de l'agitation du milieu sur les vitesses de précipitation de calcium. Annales de Spéléologie 27/3, 577. Paris.
- Roques, H., C. Ek, 1973: Etude expérimentale de la dissolution des calcaires par une eau chargée de CO₂. Annales de Spéléologie 28/4, 549. Paris.
- Schachtschabel, P., et al., 1976: Lehrbuch der Bodenkunde, 59. Stuttgart.
- Smith, D. J., G. Mead, 1962: The solution of limestone. Proc. of the Spel. Soc., 2, 9. Univ. of Bristol, Bristol.
- Stenner, R. D., 1966: The variation of temperature and hardness in St. Guthbert's Swallet, a progress report. Belfry Bull. 21(1), 117-121.
- Sweeting, M. M., 1976: Present problem in the karst denudation research in the world. Karst processes and relevant landforms, ISU 7-15. Ljubljana.
- Thraillkill, J., 1976: Karbonatna ravnoteža u kraškim vodama. Hidrologija i vodno bogatstvo krša. 1-692 (595). Sarajevo.

**PRISPEVEK K POZNAVANJU RAZPOREDITVE
FAVNE V VELIKIH ROVIH**

(Z 10 SLJKAMI IN 9 TABELAMI)

**CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF THE
ACROSS-PASSAGE DISTRIBUTION OF FAUNA**

(WITH 10 FIGURES AND 9 TABLES)

**TONE NOVAK, VALIKA KUŠTOR,
ANDREJ KRANJC, NACE SIVEC**

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 29. MAJA 1980

VSEBINA

Izvleček – Abstract	152
Uvod	153
Izbira objekta za poskus	153
Raziskave	154
Metode in rezultati	154
Interpretacija rezultatov in razpravljanje	171
Povzetek	174
Zaključki	174
Summary	175
Literatura	178

Izveček

UDC 591.9(24) (497.12-14)

Novak, T., V. Kuštor, A. Kranjc, N. Sivec: Prispevek k poznavanju razporeditve favne v velikih rovih. Acta carsologica 9, 000-000, Ljubljana, lit. 25.

Avtorji podajajo rezultate interdisciplinarnih raziskav v Predjamskem jamskem sistemu. Ugotavljali so predvsem fizične faktorje, ki so pomembni za značilno prečno razporeditev favne v velikih rovih Stare jame obravnavanega jamskega sistema.

Abstract

UDC 591.9(24) (497.12-14)

Novak, T., V. Kuštor, A. Kranjc, N. Sivec: Contribution to the Knowledge of the Across-passage Distribution of Fauna. Acta carsologica 9, 000-000, Ljubljana, Lit. 25.

The present paper gives the results of the interdisciplinary investigations in the Predjama cave system with the aim of finding mainly physical factors that influence the across-passage distribution of the inhabiting fauna.

Naslov - Address:

Tone Novak
Valika Kuštor
mag. Andrej Kranjc

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna, Jugoslavija

Nace Sivec

Inštitut za biologijo, Univerza
Aškerčeva 12
61000 Ljubljana, Jugoslavija

UVOD

V svetu posvečajo speleobiologi vse večjo pozornost podrobnejšemu proučevanju zvez med razporeditvijo podzemeljske favne in fizičnimi lastnostmi habitatov. Pri tem so v ospredju geomorfološke analize in med njimi v zadnjem času zlasti granulometrične analize sedimentov (v perspektivi). Takšno usmeritev raziskav so narekovale ugotovitve, da je razporeditev podzemeljskega živalstva in v manjši meri prisotnost posameznih vrst večinoma v močni korelaciji s posameznimi tipi habitatov. Nekateri avtorji se pri ugotavljanju korelacij zadovoljujejo z ugotovitvami, ki niso podprte s podrobnimi rezultati (Turquin et coll. 1974; Reygrobellet et coll. 1975; Turquin et Bouvet 1977, etc.). Drugi podrobneje študirajo posamezne fizične faktorje in njihov vpliv na favno (ekofiziologija; Juberthie 1969; Delay 1974; Pearce 1975, etc.). Bourne (1977 a et b) kombinira merske in opisne metode in je pri zaključkih izredno racionalen. Šele v zadnjem času je izšlo delo B. Delaya (1978), ki skuša podrobneje in kompleksneje analizirati fizične faktorje posameznih habitatov. Zaradi specifičnega pristopa k problematiki pa se ne spušča podrobneje v geomorfološke analize.

Na splošno je treba poudariti, da so meritve ali celo le cenitve nekaterih parametrov v ekologiji podzemlja še vedno v veliki meri odvisne od intuicije posameznih raziskovalcev, saj metodika še ni dodelana in še manj ustaljena.

V okvir proučevanja zvez med distribucijo kopenske podzemeljske favne in fizičnimi lastnostmi habitatov sodi tudi študij prečne razporeditve favne v velikih podzemeljskih rovih.

IZBIRA OBJEKTA ZA POSKUS

Za predvideni poskus smo morali pretehtati pri izbiri podzemeljskega objekta naslednje značilnosti:

- velikost rogov - premer vsaj 10 m zaradi večjih gradientnih razlik od roba proti sredini
- enostavnost rogov - brez stranskih rogov, kaminov in večjih špranj in z bolj ali manj enakimi dimenzijami
- homogenost tal - čimbolj enoten substrat mora obenem tudi onemogočati favni, da se zaleze vanj, saj zaradi nepoznavanja vertikalnih migracij živali v substratu rezultatov ne bi mogli primerno interpretirati (grušč je neprimeren)
- primerne ekološke razmere za življenje podzemeljskih živali vse leto
- številčnost favne v jami - najugodnejše fizične razmere, potrebne za izvedbo poskusa, so obenem najneugodnejše za življenje

Po primerjavi več objektov smo se odločili za Staro jamo Jame pod Predjamskim gradom (sl. 1) v zgornjekrednih apnencih. Raziskave so potekale v letih 1975-79. Obetali smo si odgovore na več vprašanj:

- ali obstaja razlika v razporeditvi favne prečno čez rov in kakšna je
- kateri faktorji bi lahko bili vzrok za ugotovljeno razporeditev.

V zvezi z izbrano delovno metodiko pa nas je zanimalo tudi:

- kakšna je razlika v učinkovitosti različnih atraktantov v talnih pasteh na lov favne
- kakšen je efekt različne razporeditve talnih pasti na ulov.

V pričujočem prispevku obravnavamo le prvi dve vprašanji. Zadnji dve sta zajeti v drugem članku (Novak et coll., 1981), iz katerega povzemamo le zaključke, ki so pomembni za razumevanje tega sestavka:

- ulov živali je bil največji v pasteh z usmrajenim mesom in monoetilenglikolom
- statistično je bil ulov v pasti, razporejene v črti oz. krogu, popolnoma enak
- ulov je bil največji v pasteh ob robu rova in najmanjši v njegovi sredini.

RAZISKAVE

1. Speleomorfološke: morfologija rova (stene, strop, tla).
2. Sedimentološke: tekstura, količina por, vodoprepustnost, barva, kalcimetrija, žarozguba (~ količina organskih snovi), reakcija (pH), dušične spojine.
3. Meteorološke: temperatura ter vlažnost zraka in tal, smer in jakost vetra.
4. Favniščne: lov favne v talne pasti.

Poroznost in vodoprepustnost vzorcev so določili pod vodstvom ing. Demšarja na Zavodu za raziskavo materiala, Ljubljana, vsebnost celokupnega dušika in nitratov pa pod vodstvom mag. Hudnikove na Kemijskem inštitutu Boris Kidrič, Ljubljana. Vsem se najlepše zahvaljujemo!

Vse ostale analize smo opravili na Inštitutu za raziskovanje krasa SAZU v Postojni.*

METODE IN REZULTATI

Za raziskave v letih 1975-78 smo izbrali pet vzorčnih profilov (sl. 1), kjer smo opravili tudi vse navedene meritve in cenitve.

1. Speleomorfologija

1.1. Osnovne morfološke značilnosti rova pri posameznih vzorčnih profilih (širina 7-16 m, višina 3,5-8m) kaže sl. 2.

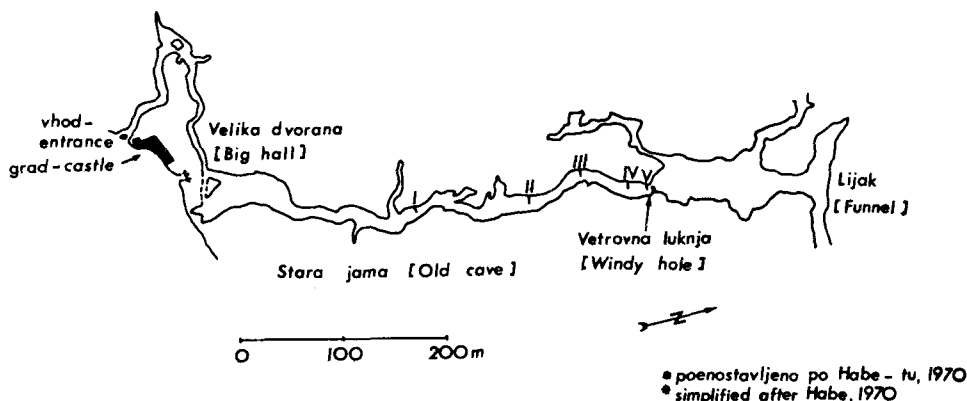
1.2. Razpokanost sten in stropa smo ocenjevali 10 m pred profilom in 10 m za njim. Špranje nastopajo neenakomerno v stenah in stropu. Široke so 2-100 mm, ocenili smo jih 5-20 m na profil.

1.3. V tleh so se pojavile špranje 2 (do 3) m od stene pri I., II. in III. profilu, 1 m pri IV. in 2 m od stene pri V. profilu. Špranje so bile do 40 mm široke, do 100 mm globoke, njihova skupna dolžina je znašala po oceni 5 m (izrazita poligonalna tla; sl. 3) -30 m/m².

2. Sedimentologija

2.1 Granulometrične analize smo delali s pomočjo suhega sejanja (sita znamke ILM Labor) za pesek in s pomočjo kombinirane metode mokrega sejanja in pipetiranja za glinasto-meljnate vzorce.

*Raziskave je podprla Raziskovalna skupnost Slovenije.



Sl. 1. -Vzorčni profili v Predjamskem jamskem sistemu, 1975-78

Fig. 1. Sampling sections in Predjama cave system, 1975-78

V teksturnem trikotniku (Tommerup 1934) je 94 % vseh obdelanih vzorcev zbranih v pasu od meljnate glinice in meljnato-glinaste ilovice preko glinaste ilovice in ilovice do peščene ilovice (sl. 4). Delež glinice obsega 9-46 %, melja 19-69 % in peska 18-73 %. Mediana nastopa v vrednostih 0,0035-0,08 mm (sl. 5).

Teksturno je sediment precej homogen in kaže, da ga je v jamo nanesla tekoča voda.

2.2. Za analizo poroznosti in

2.3. vodoprepustnosti smo izbrali vzorce tako, da smo pokrili granulometrijsko raznolikost sedimentov (tab. 1; sl. 6, 7, 8). Vzorce smo vzeli do globine 10 cm.

2.4. Barvo smo določali po Munsell-ovih tabelah (1975). Prevladujejo rjave barve z razmeroma močno primesjo rumene (10 YR = 75 %, 2,5 Y = 19,4 %, 7,5 YR = 5,6 %). Rumenkasta barva je v veliki meri odraz flišnega zaledja, od koder je sediment nanešen. Pri podrobnejšem pregledu prerezanih sedimentov, predvsem poligonalnih tal, je marsikje opazna jasna pasovitost. Pogosto se menjavata rdeče rjava in olivno siva barva - prva kaže bolj na oksidacijsko, druga pa na redukcijsko okolje odlaganja oziroma, da je bil sediment naplavljen v jamo iz ustreznega okolja.

2.5. Karbonate v tleh smo določali s Scheiblerjevimi kalcimetrom. Vzorce smo pobrali na površini tal in do globine 10 cm. Količina karbonatov se precej spreminja (0,3-26,4 %), v splošnem pa je za jamske razmere precej velika (tab. 2). Kalcijev karbonat izvira pretežno iz kapnice, ki pronica skozi zelo debel apniški strop. Vrednosti so nekoliko višje ob robovih rova.

2.6. Žarozgubo smo določali z žarjenjem vzorcev eno uro pri 450°C (tab. 3).

2.7. Reakcijo tal smo merili z aparaturo Orion-Analyser 407 A, pH elektrodo 91-02 in pufrom ARP-003 Zavoda za avtomatizacijo, Ljubljana (tab. 4).

2.8. Nitrati so bili poskusno določeni v dveh vzorcih: III/1 = 0,005 %, III/2 = 0,004 %.

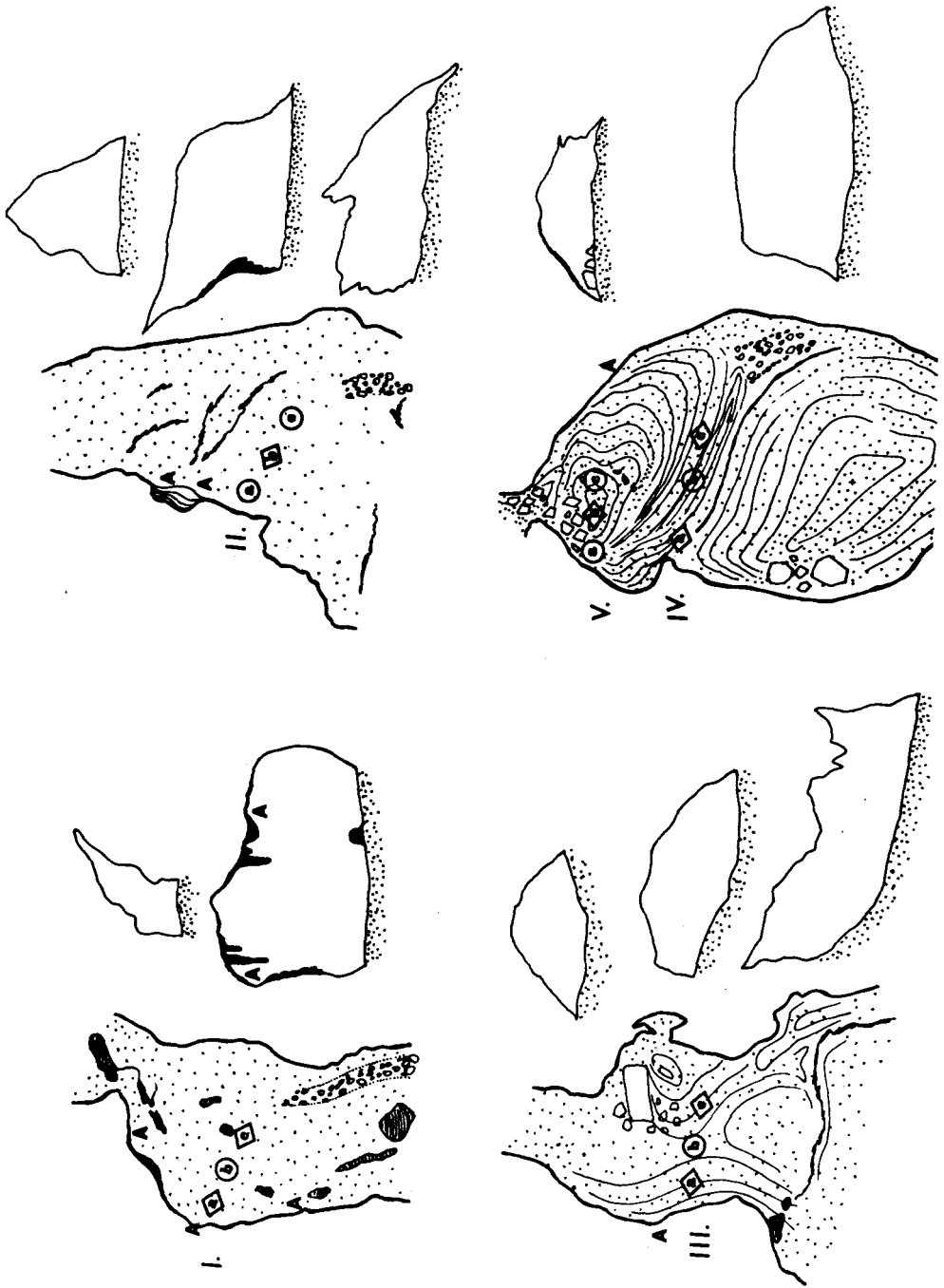
Zaradi nizkih vrednosti nitratov v tleh (meja občutljivosti analitske metode) smo se odločili za analizo celokupnega dušika (tab. 5). Na vzorčnih mestih smo postrgali z 1 m² površine okrog 1 mm debelo plast tal. Po zračnem sušenju smo vzorce uprašili in dobro premešali (cf. Stewart et coll. 1974).

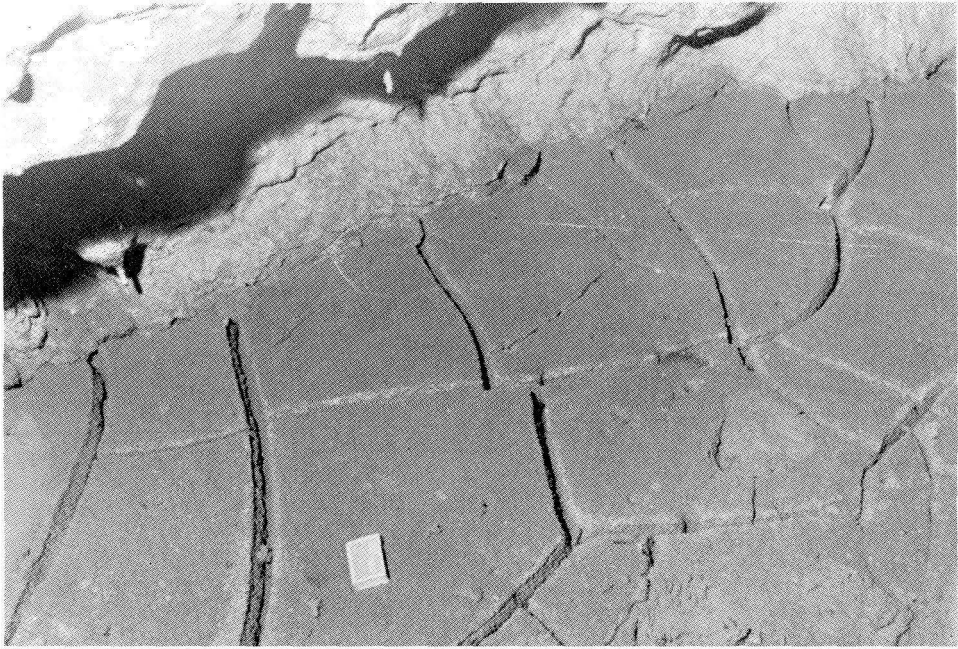
Tabela 1. Poroznost in vodoprepustnost
Table 1. Porosity and waterpassability

Vzorec Sample	Oddaljenost od stene Distance from wall	Opis vzorca Description of sample	Obremen. stopnja Burdening degree	Koefficient por Coefficient of pores		Koefficient vodoprepustnosti Coefficient of waterpassability
				zečetek start	konec end	
	(m)		(kp/cm ²)			(cm/sec)
I/5	8,0	meljna glina silty clay	0,25	1,449	1,392	$3,09 \times 10^{-6}$
II/1	0,2	meljna glina silty clay	0,25	1,328	1,277	$8,24 \times 10^{-8}$
II/3	4,0	meljna glina silty clay	0,25	1,123	1,095	$1,02 \times 10^{-7}$
II/5	8,0	meljna glina silty clay	0,25	1,235	1,144	$8,91 \times 10^{-8}$
III/6	9,5	meljna glavina silty clay	0,25	1,252	1,212	$1,03 \times 10^{-7}$
IV/1	0,2	grobi melj z malo gline coarse silt with a little clay	0,25	0,864	0,823	$1,49 \times 10^{-4}$
IV/7	12,0	grobi melj z malo gline coarse silt with a little clay	0,25	0,979	0,938	$1,37 \times 10^{-5}$
V/7	12,0	meljna glina silty clay	0,25	0,896	0,872	$1,50 \times 10^{-8}$
Lijak 1	-	meljna glina silty clay	0,25	1,449	1,392	$3,09 \times 10^{-6}$
Lijak 2	-	meljna glina silty clay	0,25	1,602	1,481	$1,15 \times 10^{-6}$
Lijak 3	-	meljna glina silty clay	0,25	1,273	1,229	$1,59 \times 10^{-6}$

Sl. 2. Izbrani profili, kjer smo nastavljali pasti v letih 1975-78 in kjer smo merili abiotske parametre
a: skupina pasti pri robu rova
b: skupina pasti v sredini serije
c: skupina pasti v sredini rova
romb: pasti, razporejene v črti
krog: pasti, razporejene v krogu
A: večje lise *Actinomyces*

Fig. 2. The sections chosen for the trapping in the years 1975-78. The samples for determining abiotic parameters were taken from the same sections
a: group of the traps at the side of the passage
b: group of the traps in the middle of the series
c: group of the traps in the middle of the passage
rhomboid: traps arranged in line
circle: traps arranged in circle
A: areas covered with *Actinomyces*





Sl. 3. Poligonalna tla, II. profil

Fig. 3. Polygonal ground, IInd section

Tabela 2. Karbonati tal [%]

Table 2. Carbonates in sediments [%]

Površinski sloj (1 mm)

Surface layer (1 mm)

Profil Section	Vzorčno mesto* Sampling place*								
	/1	/2	/3	/4	/5	/6	/7	/8	/9
I	17,10	7,34	7,29	8,64	8,29	7,00	23,58	-	-
II	5,67	8,54	9,70	9,11	6,69	8,51	5,66	-	-
III	13,28	10,98	9,50	10,15	10,98	9,06	-	-	-
IV	16,01	10,25	11,76	13,86	12,64	15,81	15,09	10,56	15,46
V	7,99	8,71	25,60	13,21	14,68	12,79	8,80	-	-

Globlje plasti (5-10 cm)

Deeper layers (5-10 cm)

I	3,2	1,9	2,1	2,6	0,3	1,0	3,5	-	-
II	6,1	1,6	4,5	4,8	4,3	3,7	1,5	-	-
III	2,6	3,7	5,4	3,5	2,7	2,1	-	-	-
IV	17,4	6,0	9,5	7,4	5,2	7,6	6,5	7,8	5,1
V	3,0	4,3	21,3	3,4	11,9	26,4	7,7	-	-

*Vzorčno mesto.../1 je tik ob levi steni, vsi naslednji so v razmakih 2m

*Sampling place.../1 is situated just at the left side of the passage and the following are 2 m distant one from the another

Tabela 3. Žaroizguba materiala tal [%]
Table3. Ground ignition weight loss [%]

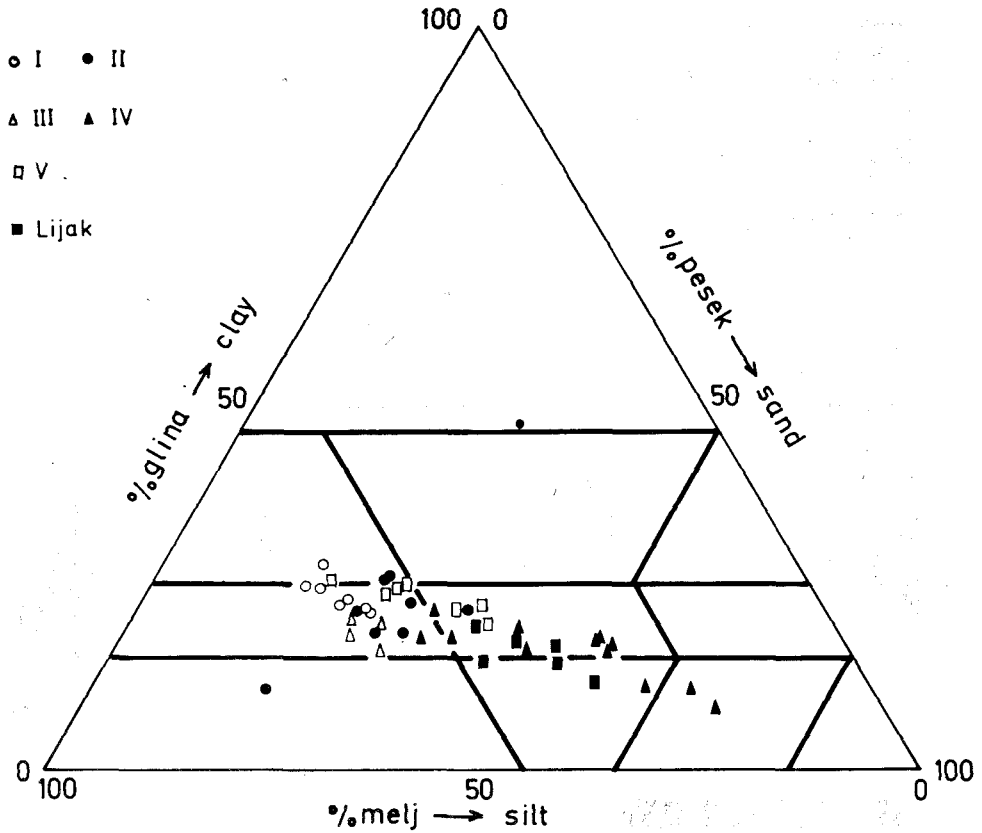
Profil	Globina	Levi rob	Sredina serije	Sredina rova	Profil	Levi rob	Sredina serije	Sredina rova	Profil	Levi rob	Sredina serije	Sredina rova		
Section	Depth	Left side of the passage	Middle of the series	Middle of the passage	Section	Left side of the passage	Middle of the series	Middle of the passage	Section	Left side of the passage	Middle of the series	Middle of the passage		
I.	-1mm	5,55	5,49	6,42	II.	6,40	6,09	6,48	III.	6,53	6,75	6,19		
	-5mm	5,41	4,36	5,08		4,92	5,07	6,14		5,80	6,90	4,94		
	-10 mm	4,24	4,11	4,24		4,21	5,52	5,86		5,77	6,50	5,80		
	-20 mm	5,06	5,03	4,67		4,86	5,01	6,78		5,10	6,18	4,87		
	-50 mm	4,43	4,75	5,15		4,38	5,39	6,35		4,74	6,56	5,20		
	-100 mm	5,24	4,72	5,66		4,10	5,58	6,95		5,12	7,67	7,68		
IV.	-1 mm	4,31	3,46	4,05	V.	6,03	5,56	3,70	Lijak 1	8,70	Lijak 2	7,89	Lijak 3	7,95
	-5 mm	4,19	3,93	4,24		5,02	5,81	4,94		8,13		7,06		5,27
	-10 mm	3,53	3,27	5,23		4,98	6,13	4,04		6,86		5,83		5,70
	-20 mm	3,71	3,03	4,33		4,52	5,06	4,64		5,56		5,10		4,49
	-50 mm	3,12	3,21	2,53		3,79	4,71	3,82		6,09		4,96		5,00
	-100 mm	3,32	2,13	3,47		3,64	4,96	2,89		5,66		5,00		4,66

Tabela 4. *pH tal**
Table 4. *pH of the ground material**

Profil	Globina	Levi rob	Sredina serije	Sredina rova	Profil	Levi rob	Sredina serije	Sredina rova	Levi	Sredina rob	Sredina serije	rova
Section	Depth	Left side of the passage	Middle of the series	Middle of the passage	Section	Left side of the passage	Middle of the series	Middle of the passage	Section	Left side of the passage	Middle of the series	Middle of the passage
I.	-1 mm	8,40	8,42	8,17	II.	8,32	8,24	8,39	III.	8,41	8,30	8,30
	-5 mm	8,44	8,40	8,19		8,35	8,40	8,31		8,50	8,32	8,37
	-10 mm	8,30	8,30	8,10		8,39	8,40	8,21		8,46	8,28	8,31
	-20 mm	8,03	8,23	7,98		8,40	8,28	8,19		8,50	8,21	8,27
	-50 mm	8,09	8,27	8,12		8,43	8,30	8,14		8,51	8,28	8,21
	-100 mm	8,08	8,12	8,03		8,32	8,31	8,30		8,38	8,15	8,23
IV.	-1 mm	8,35	8,51	8,33	V.	8,50	8,50	8,41	Lijak 1	8,01	Lijak 2	7,87
	-5 mm	8,33	8,40	8,59		8,55	8,54	8,50		8,11		7,99
	-10 mm	8,31	8,49	8,60		8,54	8,43	8,49		8,20		8,21
	-20 mm	8,30	8,41	8,54		8,52	8,34	8,44		8,32		8,12
	-50 mm	8,40	8,41	8,60		8,55	8,47	8,51		8,30		8,30
	-100 mm	8,40	8,40	8,30		8,40	8,56	8,33		8,35		8,27
Lijak 3	-1 mm	8,11	Lijak 4	7,83	Ekskrementi	8,18			Ekskrementi	7,88		
	-5 mm	8,13		8,02	oligohetov				- Titanethes			
	-10 mm	8,13		7,98	(pri Lijaku)				(pri Lijaku)			
	-20 mm	8,34		7,99	Excrements of Oligochaeta				Excrements of Titanethes			
	-50 mm	8,36		7,91								
	-100 mm	8,35		8,19								

*Stotinke so ocenjene!

*The 1/100 values are estimated!

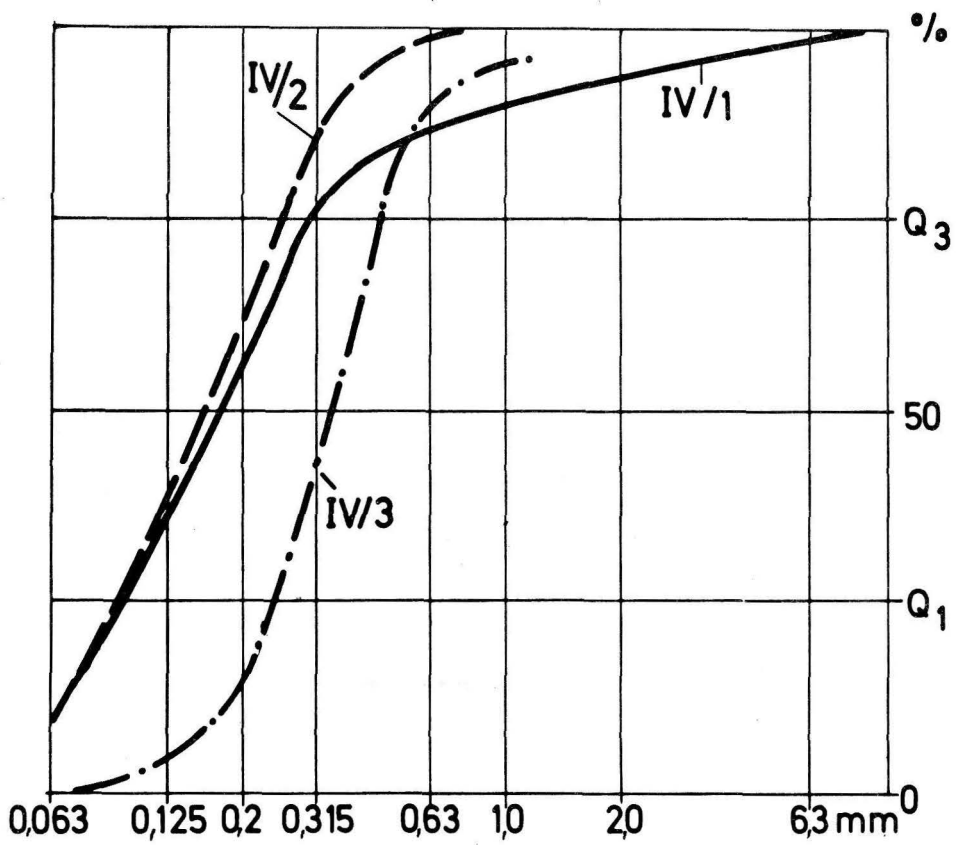


Sl. 4. Tekstura sedimentov, I do V so profili

Fig. 4. Texture of sediments, I till V are profiles

Tabela 5. Celokupni dušik v tleh [%]
Table 5. Crude nitrogen in the ground [%]

Profil – Section Mesto – Place	I.	II.	III.	IV.	V.	Lijak
Levi rob – Left edge	0,22	0,28	0,29	0,23	0,27	0,08
Sredina serije – Middle of the series	0,25	0,26	0,27	0,22	0,25	0,31
Sredina rova – Middle of the passage	0,27	0,30	0,21	0,26	0,21	0,21

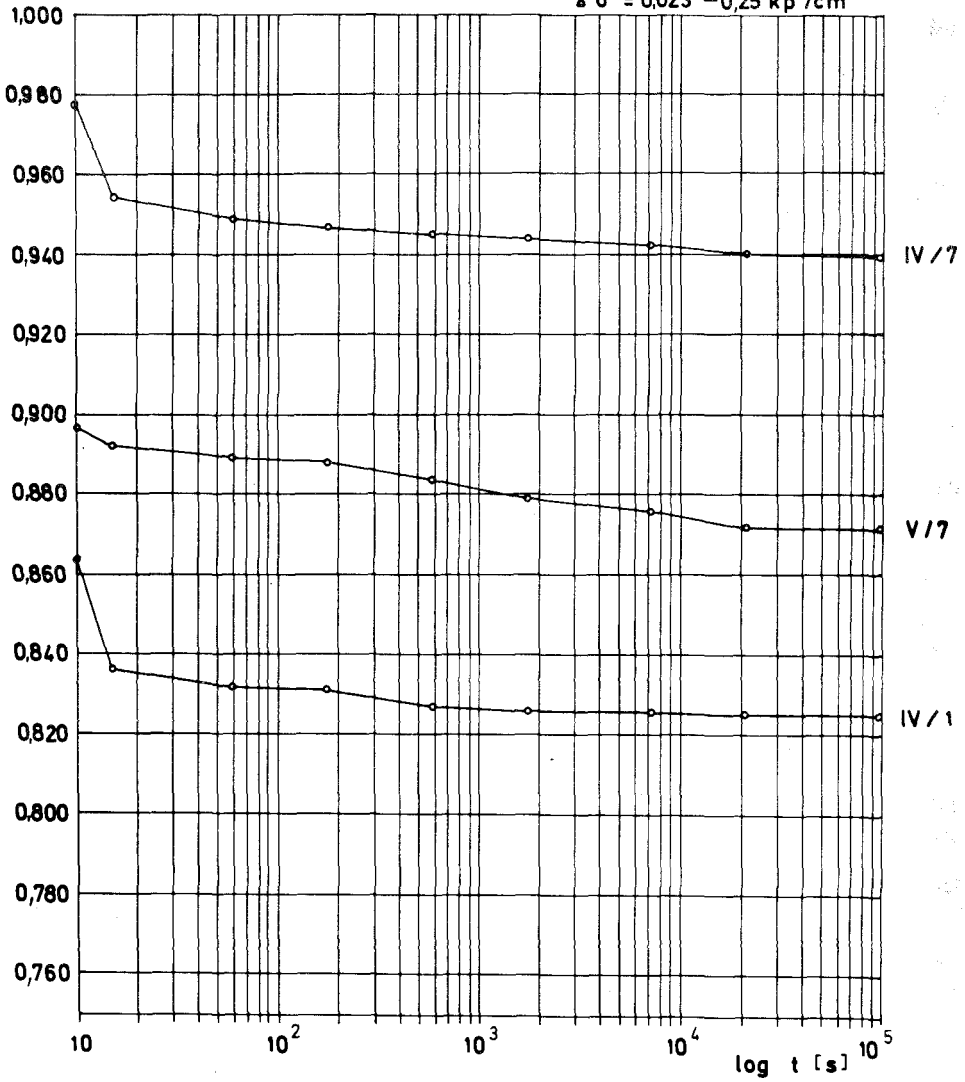


Sl. 5. Kumulativne krivulje peska

Fig. 5. Cumulative curves of sand

količnik
por (e) - pore quotient (e)

$\Delta \delta = 0,023 - 0,25 \text{ kp/cm}$

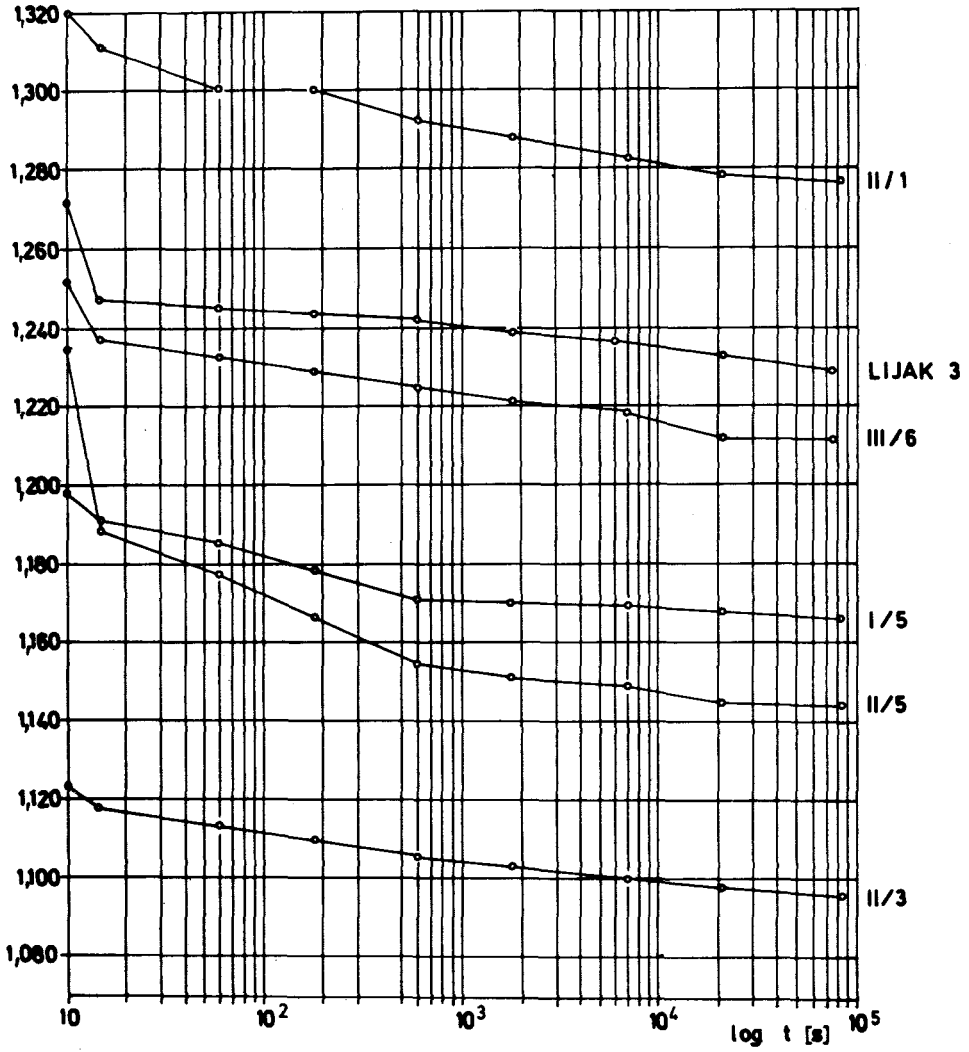


Sl. 6. Časovni potek konsolidacije

Fig. 6. Time course of consolidation

količnik
por (e) — pore quotient (e)

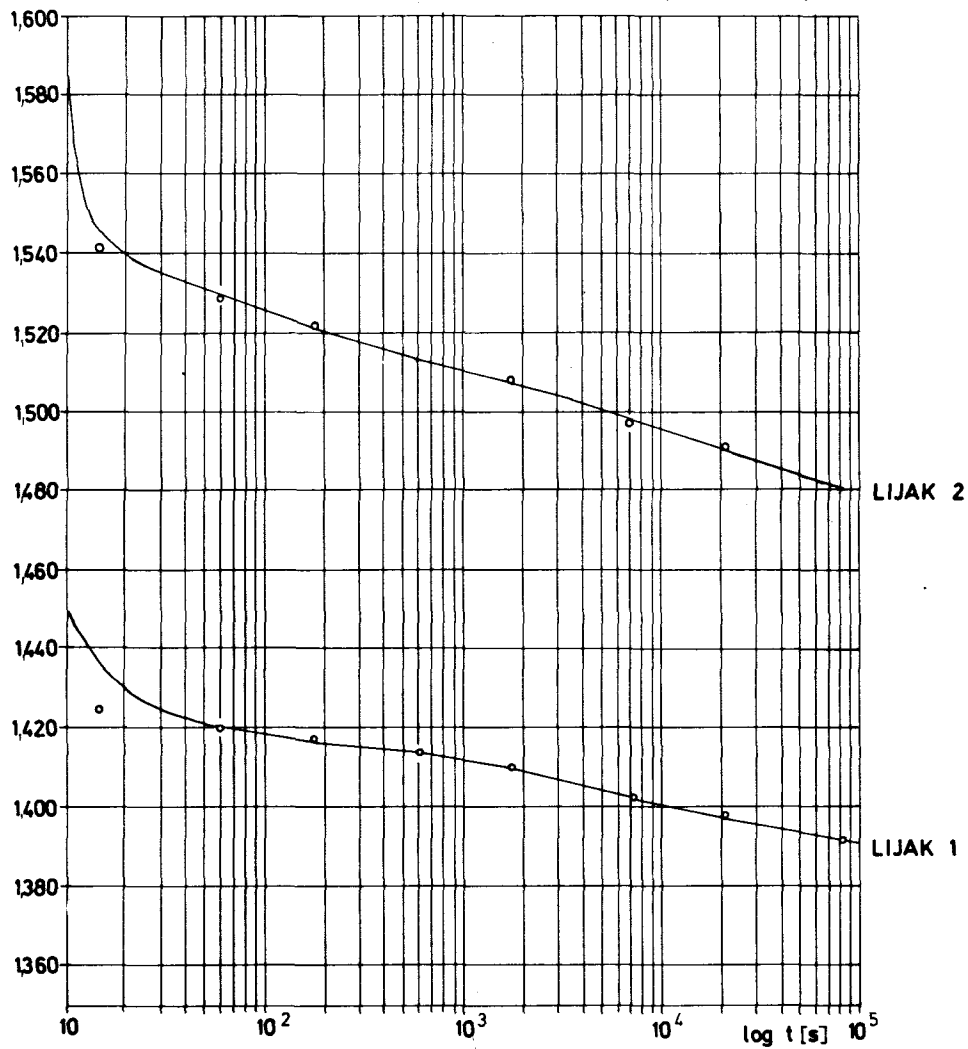
$$\Delta \sigma = 0023 - 025 \text{ kp/cm}^2$$



Sl. 7. Časovni potek konsolidacije
Fig. 7. Time course of consolidation

količnik
por (e) - pore quotient (e)

$\Delta \sigma = 0,023 - 0,25 \text{ kp/cm}^2$



Sl. 8. Časovni potek konsolidacije

Fig. 8. Time course of consolidation

3. Meteorologija

3.1. Temperaturo tal smo ob vzorčnih profilih izmerili v globini 2 cm z decimalnimi termometri 22. 12. 1977 in 21. 6. 1978 (tab. 6).

Tabela 6. *Temperatura tal 22. 12. 1977 (prva vrsta) in 21. 6. 1978 (druga vrsta) v globini 2 cm*
Table 6. *Ground temperature on 22nd Dec. 1977 (first row) and on 21st June 1978 (second row) in the depth od 2 cm*

Profil Section	Vzorčno mesto* Sampling place*								
	/1	/2	/3	/4	/5	/6	/7	/8	/9
I.	4,10	4,20	4,10	4,20	4,15	4,10	4,20	–	–
	6,75	6,75	6,85	6,85	6,90	7,15	6,90	–	–
II.	5,20	5,30	5,30	5,30	5,20	5,05	5,20	–	–
	7,30	7,35	7,35	7,20	7,20	7,10	7,05	–	–
III.	5,65	5,25	5,40	5,20	5,20	5,35	–	–	–
	7,50	7,60	7,65	7,50	7,40	7,45	–	–	–
IV.	5,70	5,65	5,65	5,80	5,70	5,40	5,60	5,70	5,85
	7,45	7,20	7,60	7,50	7,55	7,50	7,50	7,70	7,65
V.	6,10	5,90	5,80	5,65	5,80	5,80	5,90	6,00	–
	7,40	7,60	7,55	7,80	7,75	7,75	7,70	7,65	–

*Glej opombo pod tab. 2

*See the remark under Tab. 2

3.2. Vzorce za določitev vlažnosti tal smo nabrali istočasno z meritvami temperature na istih mestih (tab. 7). Sušili smo jih na 105 °C zaradi lažjega primerjanja s pF vrednostmi (cf. V a n n i e r 1970).

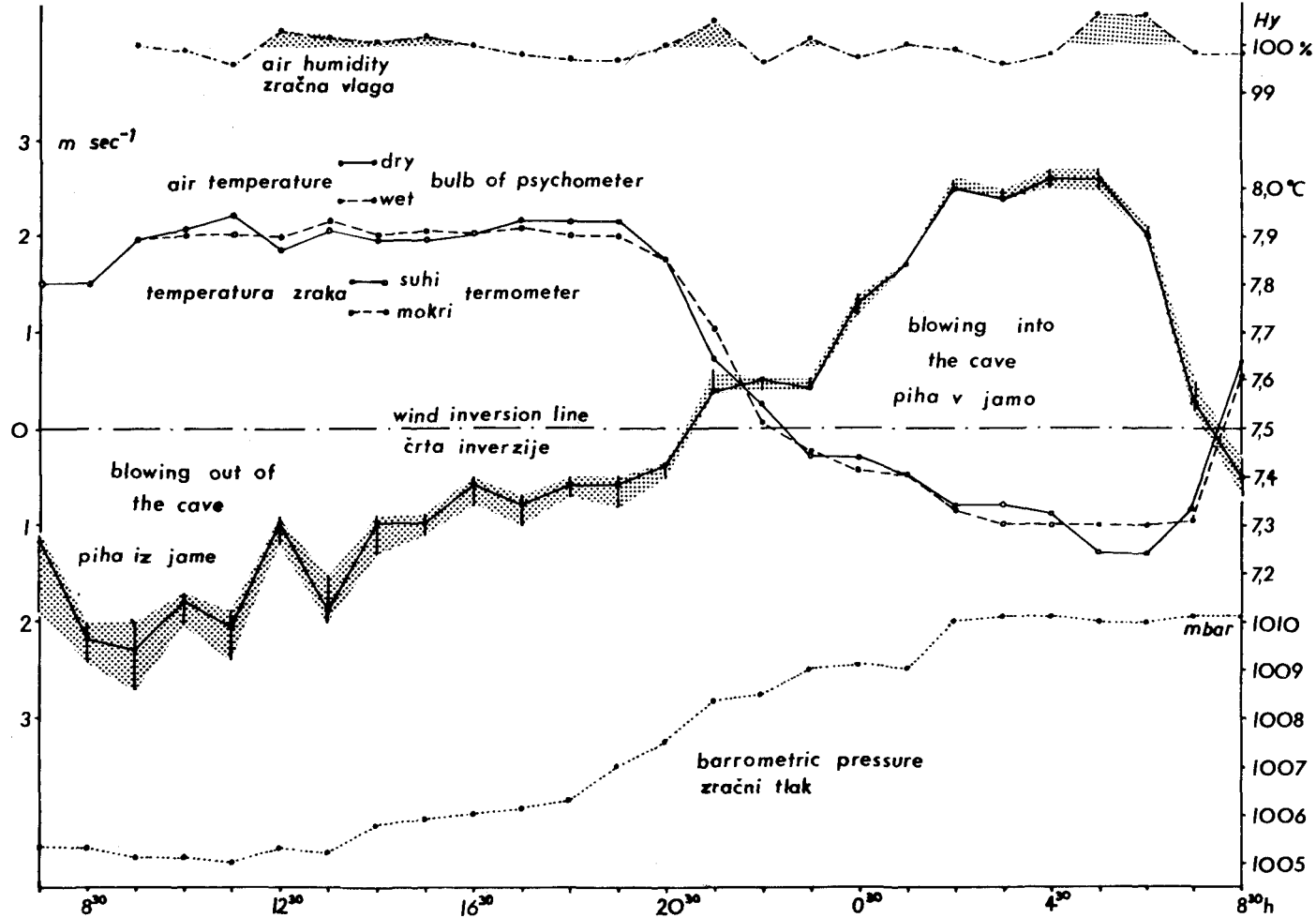
Tabela 7. *Vlažnost tal 22. 12. 1977 (prva vrsta) in 21. 6. 1978 (druga vrsta) [%]*

Table 7. *Ground humidity on 22nd Dec. 1977 (first row) and on 21st June 1978 (second row) [%]*

Profil Section	Vzorčno mesto* Sampling place*								
	/1	/2	/3	/4	/5	/6	/7	/8	/9
I.	35,8	39,2	36,1	39,9	35,8	31,9	34,5	–	–
	40,3	34,2	36,0	33,9	34,4	31,2	32,8	–	–
II.	37,5	36,0	32,1	32,6	37,0	36,1	35,7	–	–
	32,0	28,6	25,4	30,3	26,0	30,0	31,4	–	–
III.	33,6	31,2	30,9	30,7	31,3	33,7	–	–	–
	30,4	28,3	26,8	25,8	26,9	28,8	–	–	–
IV.	29,9	25,4	31,3	30,2	30,6	31,6	29,9	24,8	33,2
	26,0	24,0	27,2	24,3	25,6	26,2	25,3	23,1	29,9
V.	35,9	34,5	25,7	33,7	33,8	29,2	33,4	–	–
	32,7	28,3	33,3	30,9	34,9	34,6	30,5	–	–

*Glej opombo pod tab. 2.

*See the remark under Tab. 2.



Sl. 9. Meteorološke razmere v Vetrovni luknji 28. do 29. junija 1978

Fig. 9. Meteorological conditions at Vetrovna luknja, June, 28 to 29, 1979

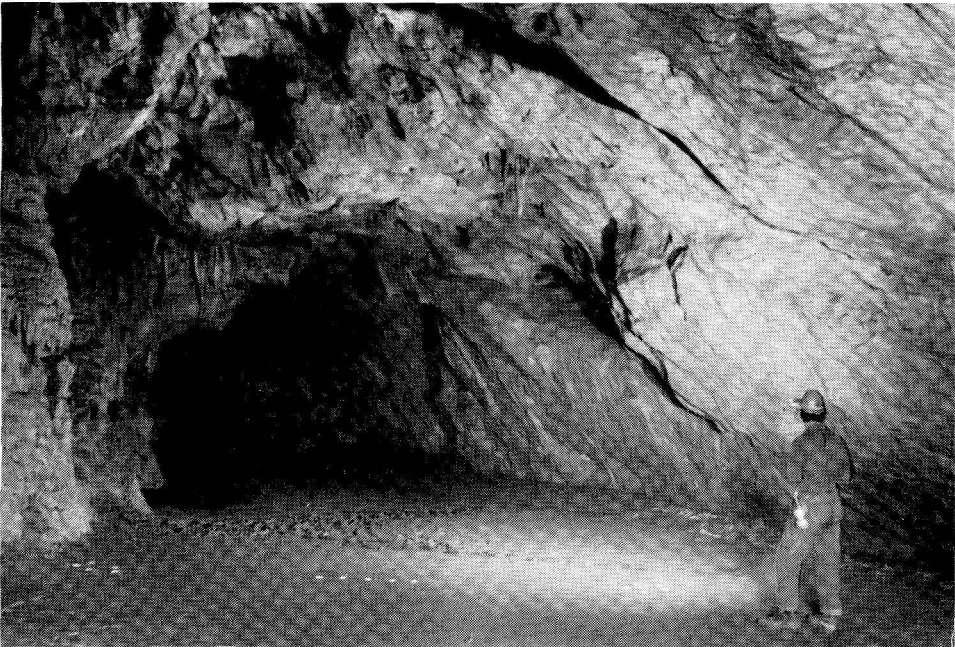
3.3. *Vetra ob profilih nismo mogli registrirati z anemometrom, zato smo njegovo usmerjenost in jakost ugotavljali po smeri premikanja dima ob zažigu magnezijevega traku. V času, ko piha veter iz notranjosti proti vходу, nastopajo pri V. profilu močnejše turbulence. Zato je smer vetra v tem delu v predelu nastavljenih pasti (primerjaj sl. 2) ne glede na inverzije vedno enaka (piha v notranjost), pri ostalih profilih pa ustreza smeri prepaha v rovu.*

3.4. 28.–29.6. 1978 smo podrobneje registrirali meteorološke spremembe pri Vetrovni luknji (anemometer, aneroid, improviziran Avgustov psihometer; sl. 9).

4. Favna

10.11. 1975 smo pri izbranih petih profilih (sl. 1, 2) vzeli 0,5 m² velike vzorce tal 3 mm v globino in jih presušili na Tullgrenovih lijakih. Zaradi majhnega števila živali (I. profil: 2 Collembola, V.: 1 Collembola, ostali: 0) smo v letih 1975–78 na izbranih profilih šestkrat vzorčili favno le s talnimi pastmi. Vse meritve abiotskih faktorjev se nanašajo na te profile.

V vsakem profilu smo nastavili serijo treh skupin pasti: prvo ob levi strani, tretjo v sredini rova in drugo vmes (vzorčenje prek polovic profilov!). V posamezni skupini je bilo pet pasti z različnimi atraktanti. V seriji so bile pasti razporejene izmenično v črti oz. krogu (sl. 10; podrobnosti v: N o v a k et coll., 1980). Za poskus 13.–15.2. 1979 pa smo uporabili



Sl. 10. Druga serija pasti (drugi vzorčni profil), 1975–78. Pasti so bile razporejene v treh skupinah

Fig. 10 The second series of the traps (the second sampling section) in the years 1975–78. The traps were arranged in three groups

le najučinkovitejšo vabo – razpadajoče meso z etilenglikolom – in nastavili po pet pasti vzdolž sedemindvajsetih profilov (vzorčenje prek celotnih profilov!; tab. 8, 9). Vzorčni profili so bili med seboj vsaj 5 m narazen in na mestih, ki so bila vsaj 10 m oddaljena od kaminov, stranskih rovov ipd.

V pasti v Stari jami so se ujeli le členonožci, večinoma žuželke.

Oniscoidea

Titanethes albus Schiödt

Pseudoscorpiones

Chthonius spelaeophilus Hađži

Palpigrada

cf. *Eukoenia austriaca Hansen*

Acarina

Glyciphagus sp.

Acarina indet.

Diplopoda

Brachydesmus subterraneus Heller

Atherosoma sp.

Insecta

Collembola:

Arrhopalites longicornis Cassagnó et Delamare-Deboutville

Onychiuridae indet.

Saltatoria:

Troglophilus neglectus Krauss

Psocoptera indet.

Coleoptera:

Anophthalmus hirtus severi Ganglbauer

Leptodirus hohenwarti F. Schmidt

Ptenidium cf. *coecum Joseph*

Lathridiidae indet.

Diptera:

Psychoda sp.

Trichocera sp.

Speolepta leptogaster W innerz

Diploneurini indet. (Phoridae)

Lycoriidae = Sciaridae indet.

Helomyzidae indet.

Tabela 8. *Skupni ulov v pasti 13.–15. 2. 1979 (oštevilčenost profilov od vhoda proti notranjosti)*
 Table 8. *Joint capture in the traps on 13th to 15th Feb. 1979 (the sections enumerated from the entrance part on)*

Profil Section	Levi rob Left side of the passage	Sredina rova Middle of the passage	Desni rob Right side of the passage	Σ		
1	0	0	0	1		
2	1	0	0	4		
3	0	0	1	1		
4	0	0	0	0		
5	0	0	1	1		
6	2	0	1	3		
7	0	0	3	3		
8	1	0	0	5		
9*	1	0	0	4		
10	1	0	1	3		
11	1	0	1	3		
12	0	0	0	0		
13	0	1	0	1		
14	4	0	0	9		
15	3	0	2	9		
16	22	1	2	26		
17*	128	1	3	136		
18	3	0	1	4		
19*	29	3	2	39		
20	1	0	1	3		
21	2	3	0	11		
22	0	4	1	9		
23	0	2	1	12		
24*	11	5	3	20		
25	3	3	0	9		
26	1	2	0	12		
27*	0	1	2	13		
Σ	214	26	19	30	52	341

*Petim izbranim profilom v letih 1975–78 ustrezajo naslednji profili v poskusu leta 1979, nastavljeni na istih mestih:

*In the year 1979 the identical section to those chosen for the experiments in the years 1975–78 were following:

1975–78	1	2	3	4	5
1979	9	17	19	24	27

Tabela 9. *Ulov posameznih vrst 13.–15. 2. 1979 v pasti skupno za vse profile. Navedene so vrste, od katerih se je ujelo vsaj 10 osebkov.*

Table 9. *The capture of some species in the experiment from 13th to 15th Feb. 1979. Mentioned are only these that were caught in numbers bigger than 10.*

Vrsta Species	Levi rob Left side of the passage	Sredina rova Middle of the passage	Desni rob Right side of the passage		
<i>Arrhopalites longicornis</i>	39	15	9	15	35
<i>Brachydesmus subterraneus</i>	21	4	2	7	4
<i>Glyciphagus sp.</i>	136	1	0	0	0
<i>Leptodirus hohenwarti</i>	4	1	4	6	0
<i>Titanethes albus</i>	8	2	1	0	6

Favna v podzemlju ni enakomerno razporejena, saj se lahko posamezni habitati tod med seboj precej razlikujejo. Majhno število vrst, ki smo jih našli v Stari jami (primerjaj: Wolf 1934–38), priča, da gre za relativno reven habitat, ki ga večina vrst najbrž ne poseljuje stalno (primerjaj tab. 9). Vsekakor so habitati z rahlejšim substratom in večjimi količinami organskega materiala za favno veliko ugodnejši. Tako nastopata pri Lijaku masovno *Anophthalmus schmidti* in *Bathyscimorphus byssinus*, ki ju v Stari jami nismo našli, prav tako pa *Lumbricidae* indet. in *Oligochaeta* indet. V špranjah in izkopanih rovih v tleh pa najdejo zatočišče tudi *Collembola*, *Lycoriidae*, *Phoridae*, itd. *Typhlotrechus bilimecki* je pogost v Veliki dvorani med gručem in preperelim lesom pod prehodom v Fiženco, ličinke *Speolepta leptogaster* pa žive v velikih množinah le na koncu Konjskega hleva na vlažnih, z aktinomiceti poraslih stanah itd. Tudi v samem poskusu v Stari jami smo zasledili primer izrazite neenakomerne razporeditve favne: nimfe *Glyciphagus* sp. so (množično) nastopile le v dveh (od skupno 135) pasteh, kar deloma moti jasnejšo sliko o razporeditvi favne prečno čez rov.

Ulavljanje v pasti, z vabo ali brez, je v večini primerov aktiven proces, odvisen od posamezne vrste (Kuštor et Novak 1980). Za večji del naših podzemeljskih vrst ni mogoče interpretirati rezultatov ulova le na osnovi teorije talnih pasti (pit – fall traps), če sledimo etimološkemu pomenu angleškega izraza (Novak et coll., 1980). Vsekakor pa so še nejasni mehanizmi ulavljanja nekaterih izrazito predatorskih vrst iz skupin, ki jih praktično nikoli ne najdemo v pasteh, kot npr. palpigrada evkenenije (2 osebk) v Stari jami ali pajka *Porrhomma egeria*, *Linyphiidae* v severovzhodni Sloveniji (Novak et Kuštor, neobjavljano).

Zlasti pri kvantitativnem vrednotenju rezultatov ulova v pasti velja biti torej skrajno previden pri zaključevanju, medtem ko so favnistični (kvalitativni) podatki ulova iz podzemlja običajno bogatejši od rezultatov drugih (posameznih) metod.

Podatke ulova v pasti z mesom in etilenglikolom vzdolž 27 profilov smo po transformiranju v log (x + 1) vrednosti obdelali z analizo variance (Winer 1970) po modelu:

$$Y = m + P + T + E,$$

Kjer je

m = srednja vrednost

P = profili

T = rob – sredina serije – sredina rova

E = napaka

Razlike v ulovu favne prek rova so se izkazale statistično značilne na 0,05-em nivoju značilnosti; $F = 2,9^*$. Ulov v posamezne pare pasti smo primerjali s sistematskim poskusnim postopkom po Newman – Keulsu. Na 0,05-em nivoju značilnosti smo ugotovili razliko (6,85*) le v primeru 1/3 (tab. 8), torej med pastmi ob levem robu in v sredini rova, verjetno na račun množičnega ulova *Glyciphagus* sp. v prvo past 17. profila.

INTERPRETACIJA REZULTATOV IN RAZPRAVLJANJE

Poskus je bil zastavljen kompleksno, saj »... das Tier steht in der Höhle nicht unter dem Einfluss einzelner Faktoren, sondern unter der Einwirkung eines Faktorenkomplexes un seiner korrelierten Schwankungen.« (Dudich 1932/33, 60).

Posamezne faktorje smo interpretirali posamično, za razumevanje problematike pa je nujno kompleksno gledanje na njihov vpliv.

Pet izbranih profilov (poskusi v letih 1975–78) se morfološko precej razlikuje med seboj. Po obliki je najidealnejši tretji, vendar je sorazmerno zelo ozek in nizek. V poskusu februarja 1979 smo z večjim številom profilov (27) precej omilili vpliv njihove heterogene morfologije in nastopanja špranj na rezultate. Špranje matične kamnine so pomembni habitati, v katerih živi primarno verjetno večina podzemeljskih živali (Racovitz 1907, etc.). Če predpostavimo, da so špranje (statistično) enakomerno razporejene v kamnini, je število špranj, odprtih v rov, v tlorisni projekciji rova največje na obeh robovih, ob stenah. Pasti so zajele tlorisne preseke rova, zato je povečanje števila ujetih osebkov možno na račun večje tlorisne gostote v rov odprtih špranj ob stenah. Pri tem je potrebno upoštevati predvsem gravitacijski in vodni vektor sensu Bouvet et Turquin (1976). Za to govori tudi nekoliko višji odstotek karbonatov avtohtonega izvora ob robovih.

Špranje v tleh so gotovo tudi zelo pomembne za favno. Večina opazovanih osebkov v Stari jami je lezla po njihovem dnu. V Lijaku npr. je anoftalne težko najti na površini ilovice, zelo številni pa so v izsušitvenih in drugih špranjah. To je v skladu z domnevo (Kuštoret Novak, 1980), da sta tako *Anophtalmus schmidti* kot *Leptodirus hochenwarti* stenostereofilna. V Stari jami nastopajo špranje le ob stenah, kar je lahko deloma sekundarno (shojena tla v sredini rova). Vsekakor je tudi razporeditev špranj v tleh prečno v rovu takšna, da pogojuje večje število osebkov ob stenah.

Sediment Stare jame je alohtonega izvora. Za razliko od tipičnih jamskih (avtohtonih) glin vsebuje veliko več peska in melja ter ima znatno več karbonatov. Najbolj niha delež peska in sicer ga je približno 20–70 %, melja je 20–60 %, gline pa 10–30 %. Torej so razlike v sedimentu pogojene predvsem s količino peska, ki jo vsebuje, oz. kolikšen delež glin je izpran.

Granulometrijske analize so pokazale enega osnovnih vzrokov za opisano prečno razporeditev špranj v tleh. Tekstura sedimenta prečno čez rov je povsem v skladu s hidrodinamičnimi zakonitostmi: vodna matica je nosila večje delce (prod, pesek), proti robovoma rova, kjer je bil vodni tok vedno počasnejši, pa so sedimentirali vse bolj fini delci (melj, glina). Prav slednja frakcija se je zaradi svoje koloidne narave ob sušenju zelo krčila in razpokala. Tako so se razvila ponekod tik ob stenah poligonalna tla, proti sredini rova pa so špranje vedno manj izrazite. Prerezi sedimentov ob špranjah kažejo (pasovitost), da je večina špranj starih, ožje pa se odpirajo na novo.

Analizo količnika por in vodopropustnosti sedimentov smo izbrali, ker poleg granulometrijskih ipd. analiz najboljše predstavita lastnosti substrata, pomembnih za favno, ki si deloma sama koplje oz. razširja špranje in rove v substratu, kjer živi. Oba količnika sta značilna za meljnato in ilovnatost frakcijo. V ilovnatem substratu *Anophtalmus schmidti* in *Leptodirus hochenwarti* npr. zelo težko kopljeta skrivališča (Novak et Kuštoret, neobjavljeno), zato je podzemeljska favna v predelih takšnega sedimenta najbrž v veliki meri vezana na naravna skrivališča. V meljnato-peščenih sedimentih pa se lahko obe vrsti relativno hitro zakopljeta vanj (v 1–2 minutah pri IV. profilu).

V Stari jami prevladujejo rjavi barvni odtenki. Barva je indikator mnogih procesov v sedimentu in kaže na njegovo kemično in mineraloško sestavo. V primeru Stare jame razkriva razmeroma enotne razmere v substratu. Skoraj gotovo nima neposrednega vpliva na razporeditev favne.

Količina karbonatov v vzorcih močno niha. Marsikdaj predstavljajo velik delež sedimenta. Menimo, da karbonati ne vplivajo neposredno na razporeditev favne, izjemoma na mehkužce ob pomanjkanju (cf. Novak et Sivec 1977), važna pa je oblika, v kateri nastopajo, zaradi fizičnih lastnosti tal. Za primer navedimo, da sestoji siga iz ca 100 % karbonatov, skoraj enak odstotek pa vsebuje tudi apnena moka, torej sipek material, v vhodnih delih nekaterih jam. Po drugi strani pa lahko predstavlja s CaCO_3 inkrustiran sediment neprehodno skorjo za živali kljub relativno nizki vrednosti karbonatov (10–15 %).

Žaroizguba, ki približno ponazori količino organskega materiala, je pokazala, da ga je največ v površinski plasti tal, prečno čez rov pa ni značilnih razlik. Predvidevamo, da je kakovost organskega materiala v rovu približno enaka, zato ni verjetno, da bi razlike v količini v konkretnih razmerah opazno vplivale na prečno razporeditev favne v rovu.

Reakcija tal je bazična, pH vrednosti pa so na splošno nekoliko višje kot je značilno za ilovnata tla jam severovzhodne Slovenije (Novak et al., neobjavljeno). Do globine 10 cm se pH ne spreminja, enako velja za vzorce prečno čez rov; vrednosti pa naraščajo od vhoda proti notranjosti. Menimo, da v našem primeru pH ne vpliva na razporeditev favne prečno v rovu.

Nitrati so anorganski produkt razpadanja žive materije in se koncentrirajo v podzemskih vodah predvsem zaradi odsotnosti zelenih rastlin (Skett et coll. 1977). Od analiz prečno čez rov smo si obetali potrditev rezultatov, ki smo jih dobili ob ulovu: pričakovali smo višje odstotke pri stenah rova. Poskusna določitev nitratov v dveh vzorcih je premalo, da bi lahko karkoli sklepali. Izredno nizke vrednosti pa so nas napotile v analizo celokupnega dušika. Količina prečno čez rov je praktično konstantna in verjetno ni merodajen odraz razporeditve favne (?).

Vlažnost tal, ki smo jo izmerili dvakrat za orientacijo, precej niha prek profilov, vendar ob robovih ni bila bistveno različna kot v sredini rova. Poleti je bila na splošno nekaj nižja kot pozimi. Velika večina mikroartropodov ni občutljiva na spreminjanje vlažnosti tal, dokler le-ta ne pade pod točko venenja ($pF = 4,2$), kar ustreza 18 % vlažnosti v ilovnati prsti (Vannier 1970). V našem primeru so vrednosti vseskozi višje, zato verjetno ne moremo pripisovati vlagi pomembnejšega vpliva na razporeditev favne prečno čez rov. Možna pa se zdi zveza med nihanjem števila osebkov in vlažnostjo tal prek celega leta.

Temperatura tal na izbranih profilih niha med letom za 3°C ali več, prečno čez rov pa razlike niso tolikšne, da bi lahko sklepali na neposreden vpliv temperature tal na razporeditev favne. Verjetno pa je nizka ali nekonstantna temperatura ali oboje v zimskem času eden omejujočih faktorjev za večino ujetih vrst v začetnem delu Stare jame (primerjaj tab. 8).

Osnovne meteorološke razmere (temperatura, vlažnost, prepah) so pri izbranih profilih precej kompleksne. Temperatura zraka lahko niha v času, ko se pojavlja inverzija, 1 m nad tlemi vsaj za 0,5°C v teku 24 ur in vlažnost od 99,5 % do prenasičenosti (pri Vetrovni luknji). Relativna hitrost in usmerjenost vetra, ki sta nas zanimali, sta med drugim odvisni od velikosti profila, njegove morfologije, morfologije rova pred izbranim profilom, itd. Medtem ko kaže, da nekatere živali niso (?) občutljive na prepah (*Titanethes*, *Brachydesmus*), smo našli druge na površini le v času inverzije vetra – stagnacija (*Leptodirus*, *Anophthalmus*). Občutljivost na prepah je jasno registriral Jurbert (1969) za neke francoske karabide.

Favno smo lovili v talne pasti z vabami. Količina organskega materiala (~ hrane) je prečno čez rov precej enaka, zato menimo, da so atraktanti v pasteh približno enakovredno privlačili favno prečno čez rov.

POVZETEK

Prečna razporeditev favne v rovih Stare jame kaže odvisnost od nekaterih fizičnih lastnosti posameznih habitatov. Kot najpomembnejši faktorji so se izkazali morfologija rova (gravitacijski in vodni vektor sensu Bouvet et Turquin 1976), razpokanost sten in tal ter vetrovne razmere. Ostali dejavniki kot temperatura, vlaga, organski material itd. nimajo dozdevno nobene neposredne zveze s prečno razporeditvijo favne v Stari jami in to verjetno zaradi majhnega razpona nihanja v posameznem profilu.

V podzemeljskih habitatih predstavljata konstantno visoka zračna vlaga in relativno konstantna temperatura večinoma precej ustaljena faktorja, zato ni verjetno, da bi imela na splošno večji vpliv na razporeditev favne. Globoko v podzemlju so omejujoči drugi faktorji, med katerimi navajajo različni avtorji kot najbolj jasno izražene sedimentološke značilnosti, količino in kakovost hrane in gibanje zraka, ki se lahko od habitata do habitata tudi močno razlikujejo.

Vsekakor bi bilo za podrobnejšo interpretacijo rezultatov nujno poznati biologijo posameznih vrst (cf. Jequier 1964; Novak et. coll. 1980), saj se različne vrste vedejo različno. Naj zadostuje primer, da za predatorje splošno velja, da jih je več tam, kjer je več plena, bodisi da je plen neposredno ali posredno omejujoči faktor.

Interpretacija rezultatov pa je prav tako odvisna od izbrane delovne metodike. Vzročnje podzemeljske favne za ekološke študije je večinoma še daleč od želja raziskovalcev, pri čemer velja biti posebno previden zlasti pri zaključevanju na podlagi ulova favne v pasti (Kuštör et Novak 1980). V primeru Stare jame govore našim tezam v prid podatki za *Arrhopalites longicornis*, za ostale taksone pa je na voljo premalo podatkov, da bi jih lahko ustrezno vrednotili.

ZAKLJUČKI

1. Favna je razporejena v rovih Stare jame prečno čez rov neenakomerno; jasno je izražen trend večjega števila osebkov ob robovih (ob stenah) napram sredini rova.

2. Fizični faktorji, ki pridejo v našem primeru v poštev kot vzrok za takšno razporeditev, so morfologija rova (zlasti gravitacijski in vodni vektor sensu Bouvet et Turquin 1976), granulometrijske značilnosti substrata in verjetno usmerjenost in jakost vetrov.

Interpretacija rezultatov je odvisna od poznavanja biologije posameznih vrst in od vrednotenja delovne metodike. Biologije najdenih taksonov skorajda ne poznamo, pri zaključevanju na osnovi podatkov ulova v talne pasti pa velja biti skrajno previden. Menimo, da veljajo zaenkrat gornji zaključki dovolj gotovo le za *Arrhopalites longicornis*.

Summary

CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF ACROSS - PASSAGE DISTRIBUTION OF FAUNA

In the years 1975-79 complex experiments were conducted in the Stara jama passage of the Jama pod Predjamskim gradom (big passages, homogenous sediment, no side passages and chimneys, etc.) near Postojna - YU with a notion of finding out:

- eventual differences in the distribution of fauna across the passage
- the reasonable factors influencing the distribution
- differences in the attractivity of the different attractants used in the traps as baits
- the effect of the different arrangement of the traps on the capture.

First two questions only are discussed in the presented paper, the other are treated in the separate article (Novak et coll., 1980). From there we summarise the conclusions important for the understanding of the presented article:

- most efficient in the capture were the traps with decomposing meat and monoethyleneglycole
- between the capture in the traps arranged in lines and in circles, resp. there occurred no statistical differences
- the capture was at the sides of the passage higher than in the middle of it.

Investigations

1. Speleomorphology: morphology of the passage (walls, ceiling, ground)
2. Sedimentology: texture, pore coefficient, water passability, colour, carbonate content, ignition weight loss (~ quantity of organic matter), pH, crude nitrogen
3. Meteorology: air and ground temperature and humidity, wind directions and intensities
4. Fauna: trapping in the baited traps

1. Speleomorphology

The sections chosen for the trapping experiments through the years 1975-78 (Fig. 1, 2) were sampled for the determination of the abiotic parameters.

The fissures and cracks 10 m before and behind the sections were registered in the walls and ceiling (broadness 2-100 mm, length 5-20 m) and in the sediments (to 2-3 m apart of the walls; broadness up to 40 mm, deepness up to 100 mm, length 5 (polygonal ground, Fig. 3) - 30 m/m²).

2. Sedimentology

Granulometric analyses were carried out by the methods of dry and wet sieving and pipetting, resp. The majority of the samples had characteristics of silty to sandy clay (Fig. 4).

The clay fraction presented 9-46%, the silt 19-69% and the sand 18-73%. The median value was 0.0035-0.08 mm (Fig. 5). The texture of the sediment was quite homogenous, characteristic for the water sediment.

Porosity and water passability were measured at Zavod za raziskavo materiala, Ljubljana. The samples were taken down to 10 cm (Tab. 1, Fig. 6-8).

The light brown colour predominated (10 YR = 75%, 2.5 Y = 19.4%, 7.5 Y = 5.6%). The layers of the different coloured sediments could be mostly recognised into the depth.

The carbonate amounts were 0.3–26.4%, relatively high for the cave sediments (Tab. 2).

The ignition weight loss and pH are presented in Tab. 3 and 4.

Crude nitrogen amounts were determined at Kemijski inštitut Boris Kidrič, Ljubljana. The samples were taken from the surface layer (1 mm) of the sediments (Tab. 5).

3. Meteorology

The ground temperature and humidity are presented in Tab. 6 and 7.

In the sampling half of the Vth section (cf. Fig. 2) the wind turbulences caused the same wind directions (blowing into the inner parts) irrespective of the wind inversions. In the other sections the wind movements followed the main current of the air.

4. Fauna

The installation of the baited traps in the years 1975–78 is shown on Fig. 1, 2 and 10 (sampling across the halves of the sections!). The most effective bait (decomposing meat + monoethyleneglycole) was used in the traps for the experiment in the year 1979 in 27 sections (sampling across the whole sections!; Tab. 8, 9). The species trapped were: Oniscoidea: *Titanethes albus Schiöde*; Pseudoscorpiones: *Chthonius spelaeophilus* Hadži; Palpigrada: cf. *Eukoenia austriaca* Hansen; Acarina: *Glyciphagus* sp., Acarina indet.; Diplopoda: *Brachydesmus subterraneus* Heller, *Acherosoma* sp.; Insecta: Collembola: *Arrhopalites longicornis* Cassagnó et Delamare-Deboutville, *Onychiuridae* indet., *Collembola* indet.; Saltatoria: *Troglophilus neglectus* Krauss; Psocoptera indet.; Coleoptera: *Anophthalmus hirtus severi* Ganglbauer, *Leptodirus hohenwarti* F. Schmidt, *Ptenidium* cf. *coecum* Joseph, Lathridiidae indet.; Diptera: *Psychoda* sp., *Trichocera* sp., *Speoptea leptogaster* Winerz, *Diploneurini* indet. (Phoridae), Lycoriidae = Sciaridae indet., Helomyzidae indet..

The presented list of the caught taxa is relatively poor (cf. Wolf 1934–38: Luegger Höhle). The majority of the species probably do not live in Stara jama permanently. The light substrate habitats with higher amounts of organic matter are preferred by many species. At Lijak, e. g., *Anophthalmus schmidti* and *Bathyscimorphus byssinus* occurred in mass, and *Typhlotrechus bilimecki* frequented between gravel and rotten wood at Velika dvorana. In the trapping experiment in the year 1979 the nymphae of *Glyciphagus* sp. occurred (in mass) only in 2 from 135 traps, etc.

The trapping in the traps (baited or not) is the active process for most species, depending on them (Kuštör et Novak 1980). The capture of most hypogean slovenian species can not be interpreted only by the pit – fall trapping – theoretical statements (Novak et coll., 1980).

It is not clear, yet, what are the mechanisms of the capturing of *Eukoenia austriaca*, caught at Stara jama (2 ex.) and *Porrhomma egeria*, Linyphiidae in the northeastern Slovenia (Novak et Kuštör, unpublished), the expressive predators belonging to the taxonomical groups that usually do not trap themselves.

Big circumspection must be taken into account when quantitative trapping data are to be interpreted.

The following model of the analysis of the variance (Winer 1970) was used to evaluate the experiment, conducted in the year 1979 (the capture data transformed into log (x + 1) values):

$$Y = m + P + T + E, \text{ where}$$

m = mean value

P = sections

T = the edge – the middle of the series – the middle of the passage

E = error

The differences in the capture across the passage turned out to be statistically significant on the 0.05 – level; $F = 2.9$.* The systematic probing procedure after Newman–Keuls was used to compare the capture between the pairs of the traps. In the case 1/3 – between the traps at the left edge and in the middle of the passage – only, the significant difference could be stated (6.85*), probably because of the mass capture of *Glyciphagus* sp. in the 1st trap of the 17th section (cf. Tab. 8).

Fissures are very important habitats in which probably live most of the hypogean species (Racovitz 1907, etc.). In the ground – plan projection there is the biggest number of fissures opening into the passage at its sides. Considering the gravity and water-vector sensu Bouvet et Turquin (1976) the number of the specimens of the fauna can be higher at the walls for this reason. The fissures in the ground at Stara jama were evidenced only to 2–3 m distant from the side walls and represent important habitats for the fauna (cf. Kuštor et Novak 1981). The primary reason for the specific distribution of the fissures is the specific texture of the sediments, that follows the hydrodynamic lawfulness: more gravel and sand were sedimented in the middle of the passage and more silt and clay by the sides. In the clay there appear fissures due to its colloidal nature.

The pore and water passability coefficients are characteristic for the silt and clay fractions. In the latter the fauna scarcely dig out hiding places and mainly have to find natural ones. But into silt and sand substrats they can dig themselves in some minutes.

The colour of the sediments shows that they are relatively very homogenous.

The carbonate content in the sediments has probably no influence upon the distribution of the fauna across the passage (it effects only the occurrence of malacofauna; cf. Novak et Sivec 1977) as do not even the organic matter and pH.

Nitrates concentrate in the underground waters because green plants are lacking (Skeet et coll. 1977). But the crude nitrogen amounts across the passage do not support the catching results of the fauna.

The majority of microarthropods are not susceptible to the ground humidity until it falls under the point of withering – $pF = 4.2$; for the loamy soil it is obtained at 18% Hy (Vannier 1970). In our case the humidity probably did not influence the distribution of the fauna across the passage and the same is believed for the temperature. But both could cause the different annual distribution along the passage.

High susceptibility to the air movements has been stated for some hypogean species (Juberthie 1969) and it is probably the case for *Arrhopalites*, *Leptodirus* and *Anophthalmus*, while *Titanethes* and *Brachydesmus* could be found in bigger number at the places with the air current of 1–2 m/sec.

The biology of the captured species is badly known and there are many difficulties when the trapping results are to be interpreted. Only the results of *Arrhopalites longicornis* can be taken into account at the time because of the sufficient number of the animals caught.

Literatura

- Bourne, J. D., 1977 a: Mise en évidence de groupements temporaires de la faune pariétale dans un tunnel artificiel en fonction de l'humidité et des mouvements d'air. *Rev Suisse Zool.* 84, 527-539.
- Bourne, J. D., 1977 b: Contribution à l'étude du genre *Porrhomma* (Araneae, Linyphiidae). Caractères morphologiques, biométrie et écologie au niveau des populations de *P. convexum* (Westring) et *P. myops* (Simon). *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* 50, 153-165.
- Bouvet, Y. et M.-J. Turquin, 1976: Influence des modules d'ouverture du karst vers l'extérieur sur la répartition et l'abondance de son peuplement. *Bull. Muns. Soc. Linnéenne Lyon* 45, 7, 245-257.
- Delay, B., 1978: Milieu souterrain et la écophysiologie de la reproduction et du développement des coleoptères bathysciinae. *Mem. biospéol.* p.p. 349 Moulis.
- Dudich, E., 1932/33: Die speläobiologische Station zu Postumia und ihre Bedeutung für die Höhlenkunde. *Speläol. Jb.* 13-14, 51-65.
- Habe, F., 1966: Predjamski podzemeljski svet. *Acta carsologica* 5/1, 5-94. Ljubljana.
- Jequier, P., 1964: Etude écologique et statistique de la faune terrestre d'une caverne du Jura Suisse au cours d'une année d'observations. *Rev. Suisse Zool.* 71, 2, 18, 313-370 + VII.
- Jubertie, C., 1969: Relation entre le climat, le microclimat et les *Aphaenops cerberus* dans la grotte de Sainte-Catherine (Ariège). *Ann. Spéléol.* 24, 1, 75-104.
- Kranjc, A., 1978: Poročilo o analizah sedimentov iz Predjame. *Elaborat*, p.p. 6. Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Kuštor, V. et T. Novak, 1981: Individual differences in trapping activity of two underground beetle species. *Mem. Biospéol. Moulis* (1979).
- Kuštor, V. et T. Novak, 1980: Some factors influencing the efficiency of trapping two underground beetle species. *Zool. Anz.* (205, 5/6, 323-332.)
- Munsell Soil Colour Charts, 1975. Baltimore.
- Novak, T. et N. Sivec, 1977: Biološke raziskave v pegmatitnih jamah pri Ravnah. *Naše jame* 18 (1976), 39-45. Ljubljana.
- Novak, T., V. Kuštor, A. Kranjc, N. Sivec, 1979: Prispevek k poznavanju razporeditve faune v velikih rovih v Predjami. V: *Ekologija podzemeljskih kopenskih biocenoz Slovenije*, poročilo 3, 5-90 + V.
- Novak, T., V. Kuštor, N. Sivec, 1980: Prüfung einiger Duftessenzen als Attraktanten der unterirdischen Fauna. *Acta entomol. Jug.* 15, 1-2, 103-109.
- Pearce, T. G., 1975: Observations on the fauna and flora of Ingleborough Cavern, Yorkshire. *Trans. Brit. Cave Research Assoc.* 2, 3, 107-115.
- Racovitza, G. E., 1907: Essai sur les problèmes biospéologiques. *Arch. Zool. Exp. Gén.* 4, 6, 7, (*Biospéologica* 1), 371-488.
- Reygobellet, J. L., J. Mathieu, R. Laurent, J. Gibert, P. Renault, 1975: Répartition du peuplement par rapport à la géomorphologie de la Grotte de la cascade de Glandieu (Ain). *Spelunca-Mem.* 8, 195-204.
- Sket, B., S. Karaman, J. Lazar, P. Ličar, J. Matjašič, I. Mahne, F. Megušar, D. Merlak, N. Sivec, A. Stergar, F. Velkoverh, 1977: *Polucija v podzemeljskih vodah*. Poročilo, p.p. 51 + priloge.
- Stewart, E. A., H. M. Grimshaw, J. A. Parkinson, C. Quarmby, 1974: *Chemical Analysis of Ecological Materials*. p.p. 565. Blackwell Sc. Pub.
- Tommerup, E. C., 1934: The field description of the physical properties of soils. *Trans. 1st Comm. ISSS*, 155-158.

- Turquin, M. - J., Y. Bouvet, P. Renault, E. Patte, 1975: Essai de corrélation entre la géomorphologie d' une cavité et la répartition spatiale de son peuplement actuel. Actes 5^e Congr. Suisse Spéléol. (1974), 46-60.
- Vannier, G., 1970: Réactions des Microarthropodes aux variations de l' état hydrique du sol. - Techniques relatives à l' extraction des Arthropodes du sol. 23-319. Edit. C.N.R.S., Paris.
- Winer, B. J., 1970: Statistical principles in experimental design. p.p. 672. Mc Graw-Hill - Mladinska knjiga.
- Wolf, B., 1934-38: Animalium cavernarum catalogus. 1-3. p.p. XXXIII + 108 + 616 + 918. Gra-venhage.

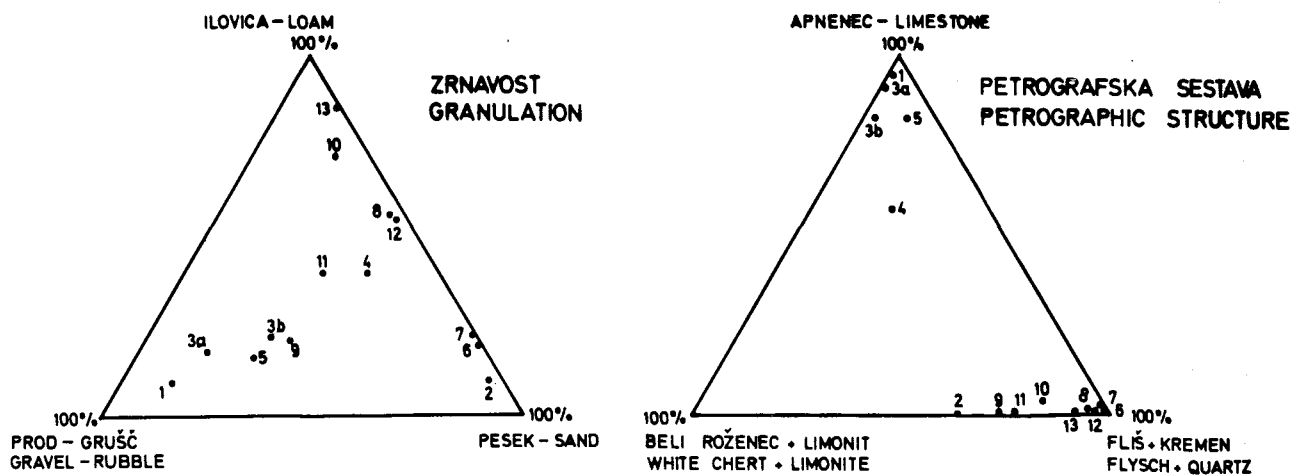
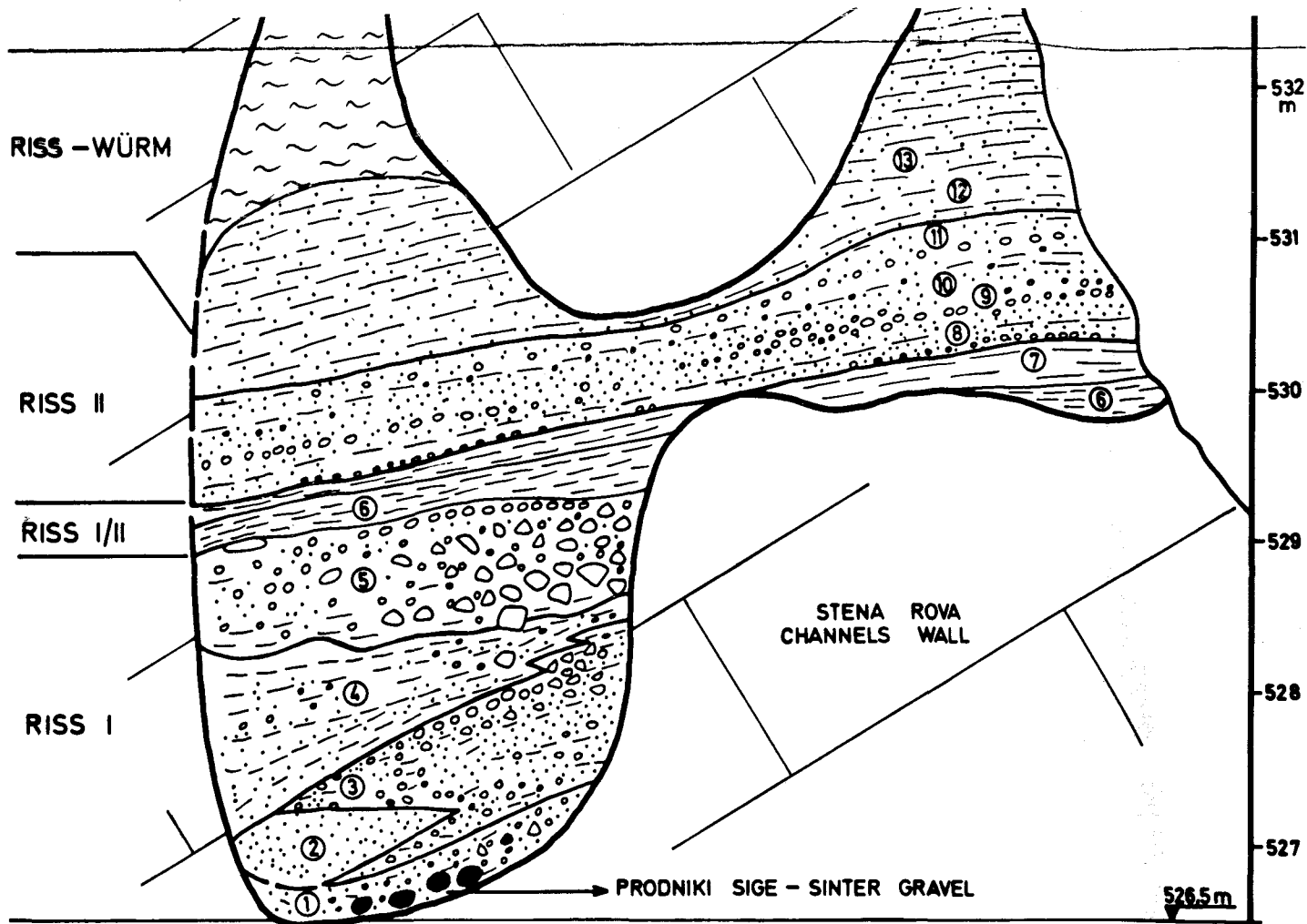
ACTA CARSOLOGICA – KRASOSLOVNI ZBORNIK

IX
1980

Izdala
Slovenska akademija znanosti in umetnosti
v Ljubljani

Natisnila
Tiskarna DDU Univerzum
v Ljubljani
1981

Naklada 1200 izvodov



Sl. 4. Alohtone naplavine v zasutem rovu za hotelom Jama, spodnji del. V trikotnih diagramih so prikazane zrnavost in petrografska sestava naplavin. Prodniki sige v bazalni plasti so posebej označeni.

Fig. 4. Allochthonous fills in buried ponor behind the Hotel Jama, lower part. In triangular diagrams the granulation and petrographic structure of the layers are presented. In the basic layer the gravels of sinter are drawn particularly.

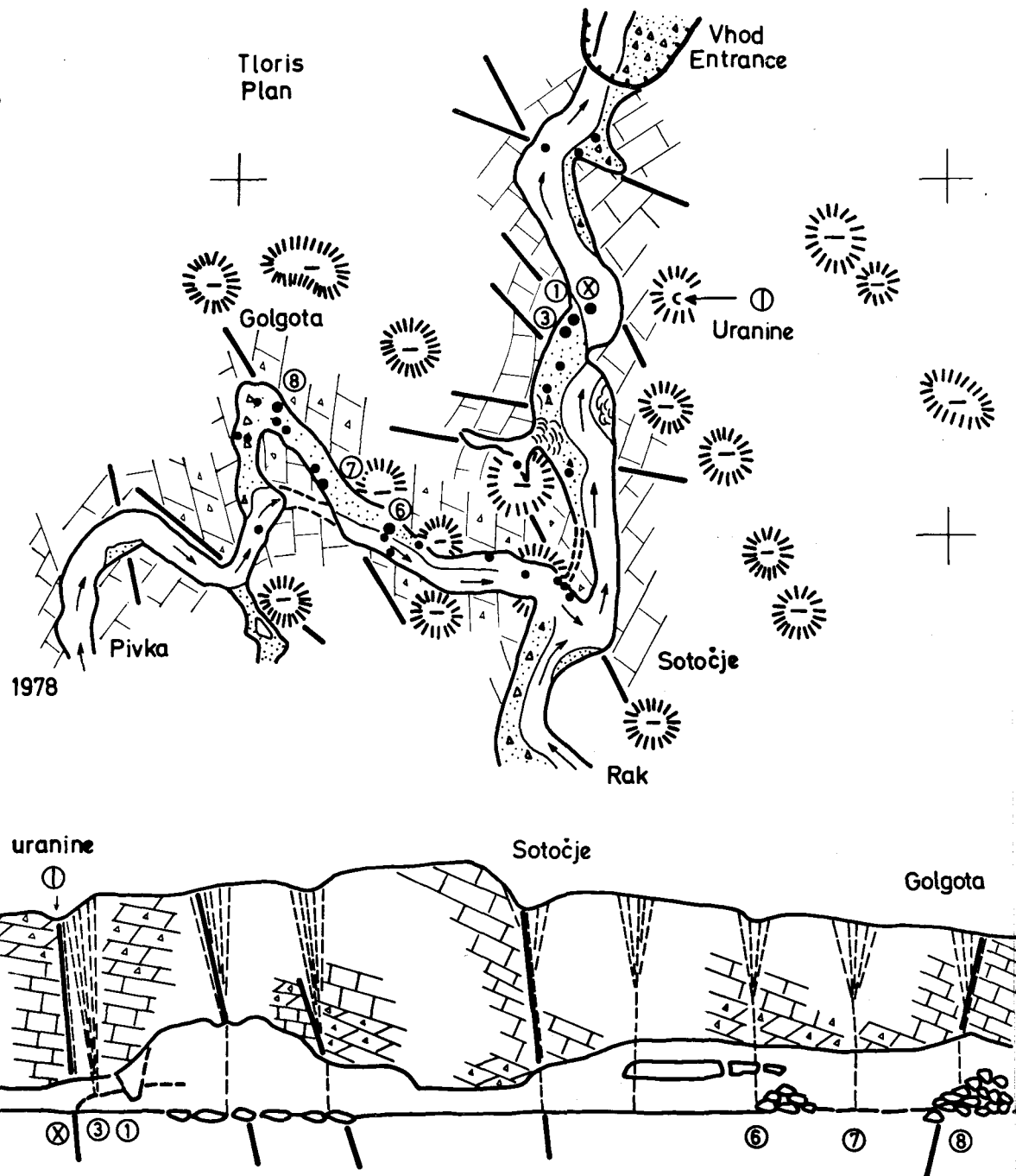
PLANINSKA JAMA

- ① • opazovani curki
observed trickles
- ☀ vrtaca doline
- vodni rov
active water channel
- prelom
fault
- ▭ apnenc
limestone
- ▭ dolomitizirana
apnena breča
dolomitic limestone
breccia

Geološki podatki : R. Gospodarič 1978

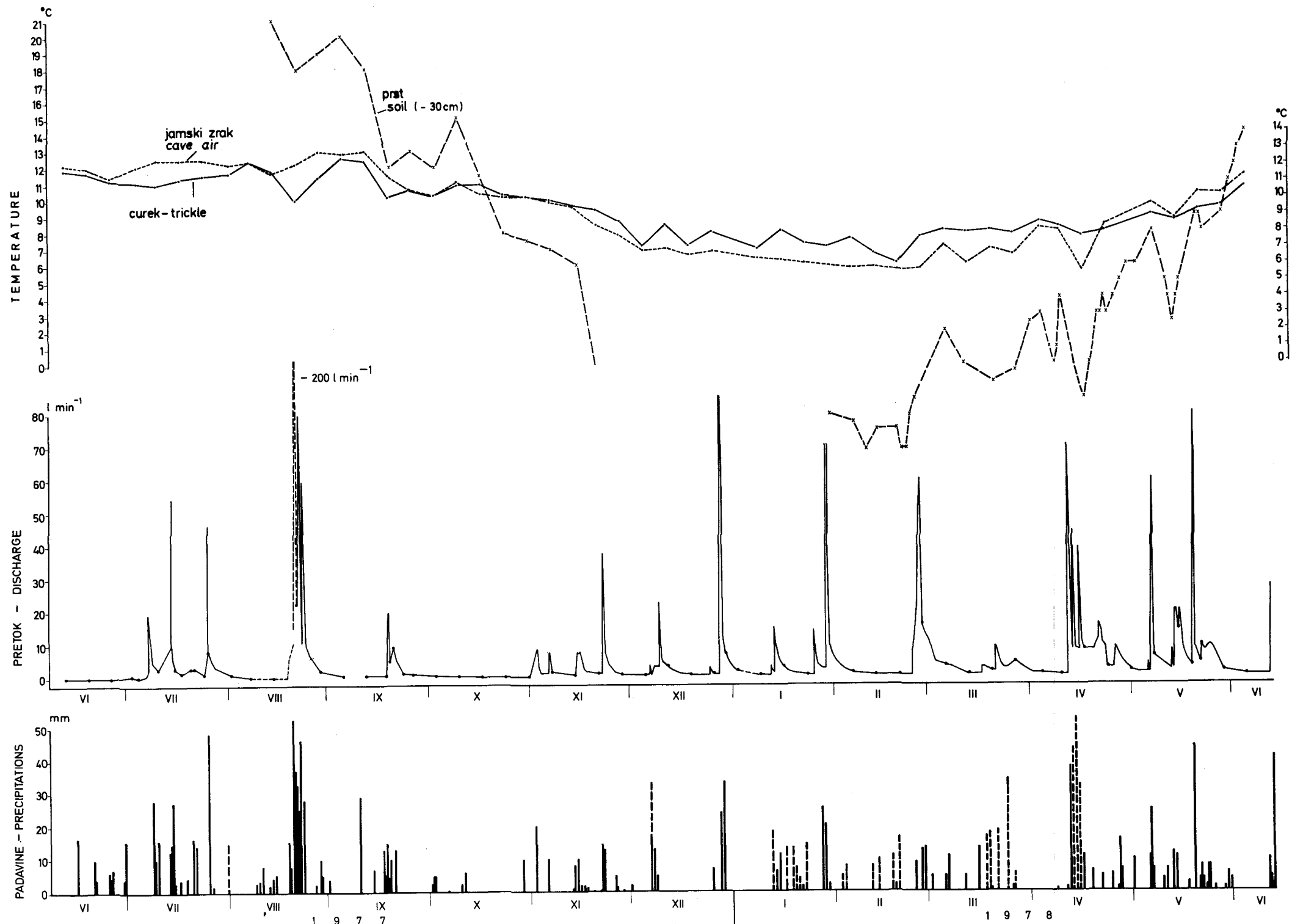
0 100 200 m

Vzdolžni prerez
Longitudinal section



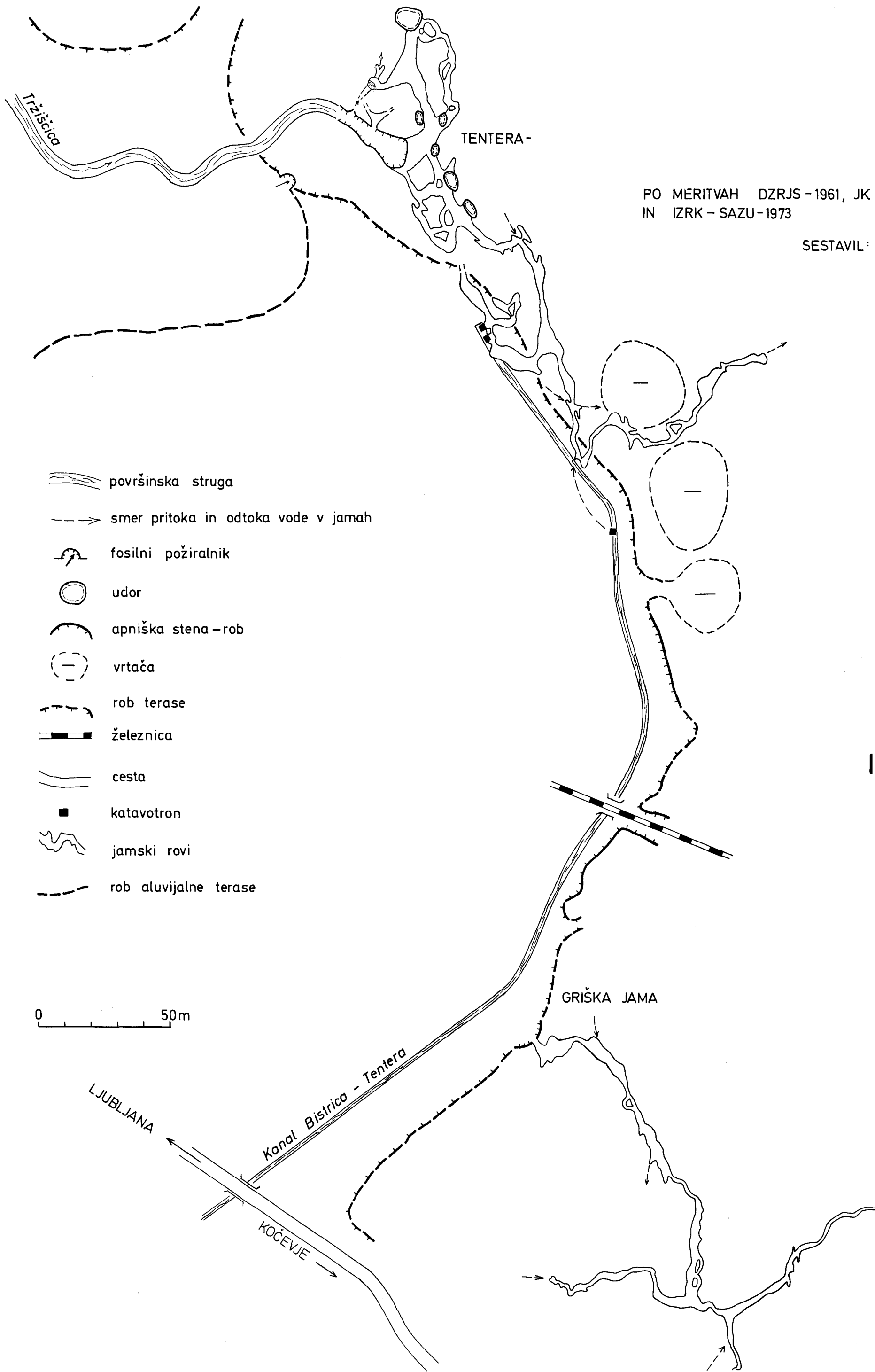
Sl. 1. Planinska jama, položaj opazovanih curkov

Fig. 1. Planina Cave, the situation of experimental trickles



Sl. 3. Padavine, pretoki in temperature pri curku 1 v Planinski jami 1977/78

Fig. 3. Precipitations, discharges and temperatures of trickle 1 in Planina Cave in 1977/78



PO MERITVAH DZRJS - 1961, JK
IN IZRK - SAZU - 1973

SESTAVIL:

- površinska struga
- smer pritoka in odtoka vode v jamah
- fosilni požiralnik
- udor
- apniška stena - rob
- vrtača
- rob terase
- železnica
- cesta
- katavotron
- jamski rovi
- rob aluvijalne terase

0 50m

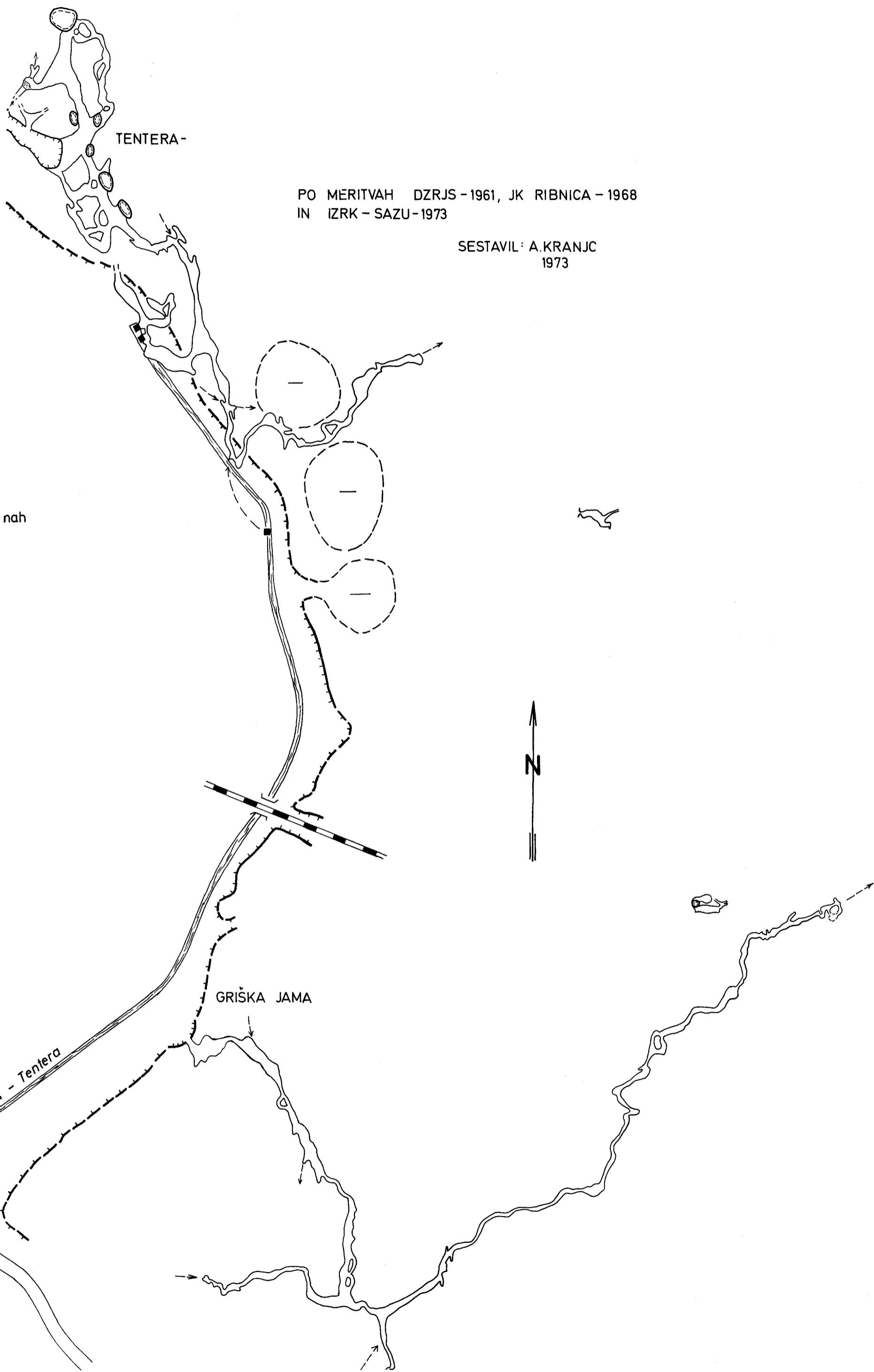
LJUBLJANA

Kanal Bistrica - Tentera

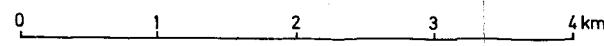
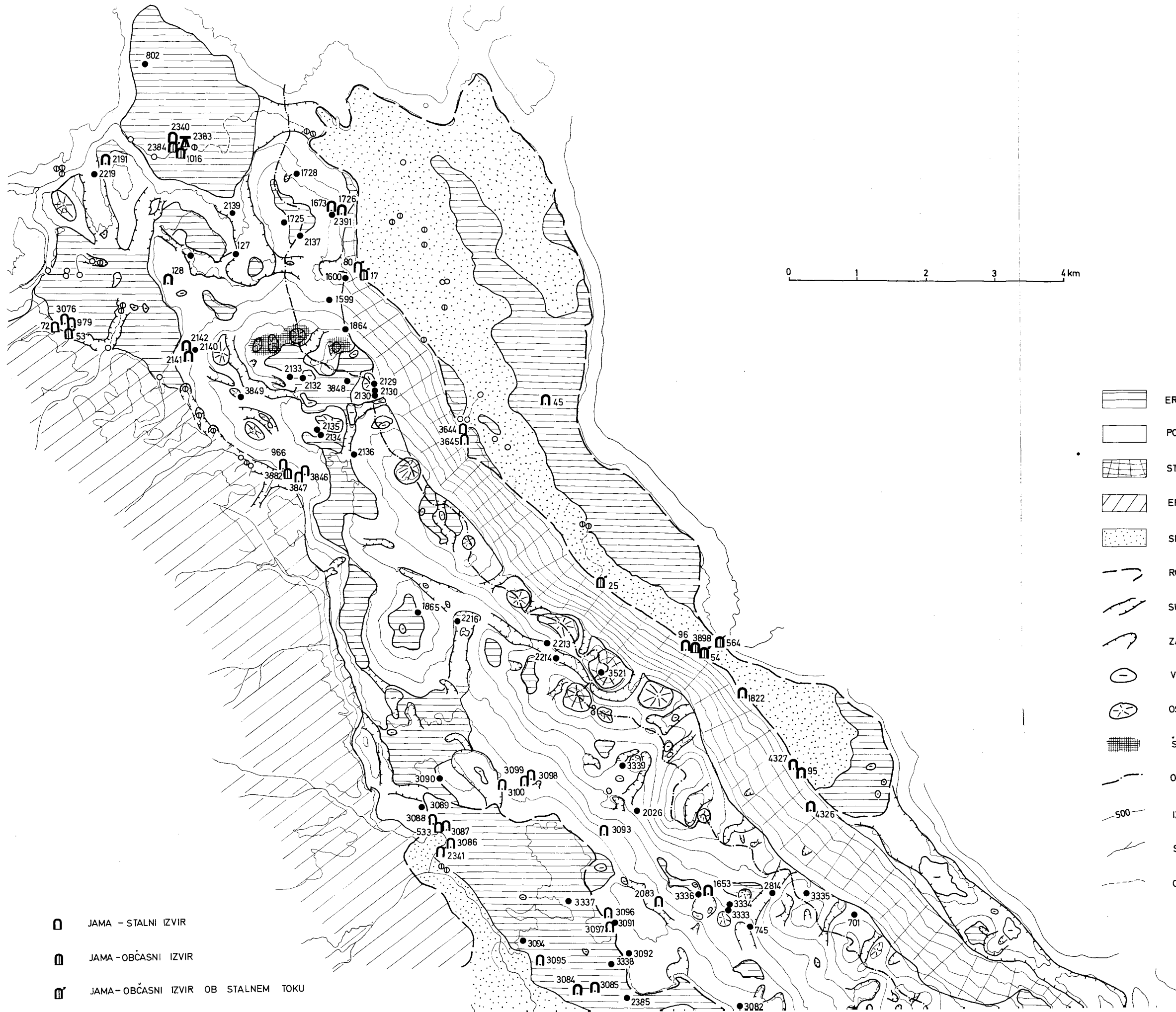
KOČEVJE

GRIŠKA JAMA

Risba 4. Ponorne jame v NW koncu Ribniškega polja

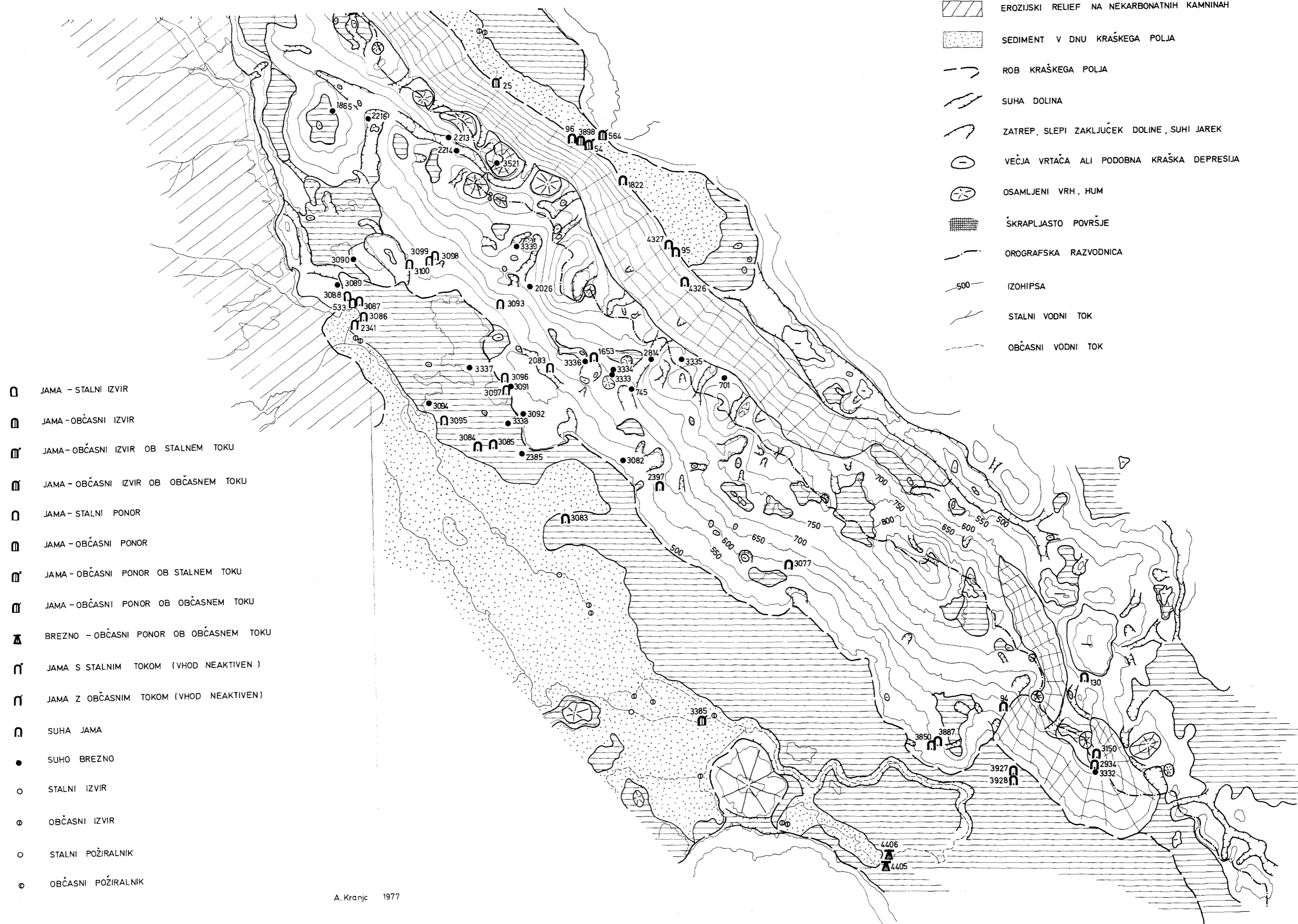


Risba 4. Ponorne jame v NW koncu Ribniškega polja



- ◻ JAMA - STALNI IZVIR
- ◻ JAMA - OBČASNI IZVIR
- ◻ JAMA - OBČASNI IZVIR OB STALNEM TOKU

- ▨ EROZIJSKO - KOROZIJSKA URAVNAVA , NIVO , TERASA
- ▨ POLIGENETSKO - DENUDACIJSKO POBOČJE
- ▨ STRMO ENAKOMERNO POBOČJE , OB PRELOMU
- ▨ EROZIJSKI RELIEF NA NEKARBONATNIH KAMNINAH
- ▨ SEDIMENT V DNU KRAŠKEGA POLJA
- ROB KRAŠKEGA POLJA
- SUHA DOLINA
- ZATREP, SLEPI ZAKLJUČEK DOLINE, SUHI JAREK
- VEČJA VRTAČA ALI PODOBNA KRAŠKA DEPRESIJA
- OSAMLJENI VRH, HUM
- ▨ ŠKRAPLJASTO POVRŠJE
- OROGRAFSKA RAZVODNICA
- 500 IZOHIPSA
- STALNI VODNI TOK
- OBČASNI VODNI TOK

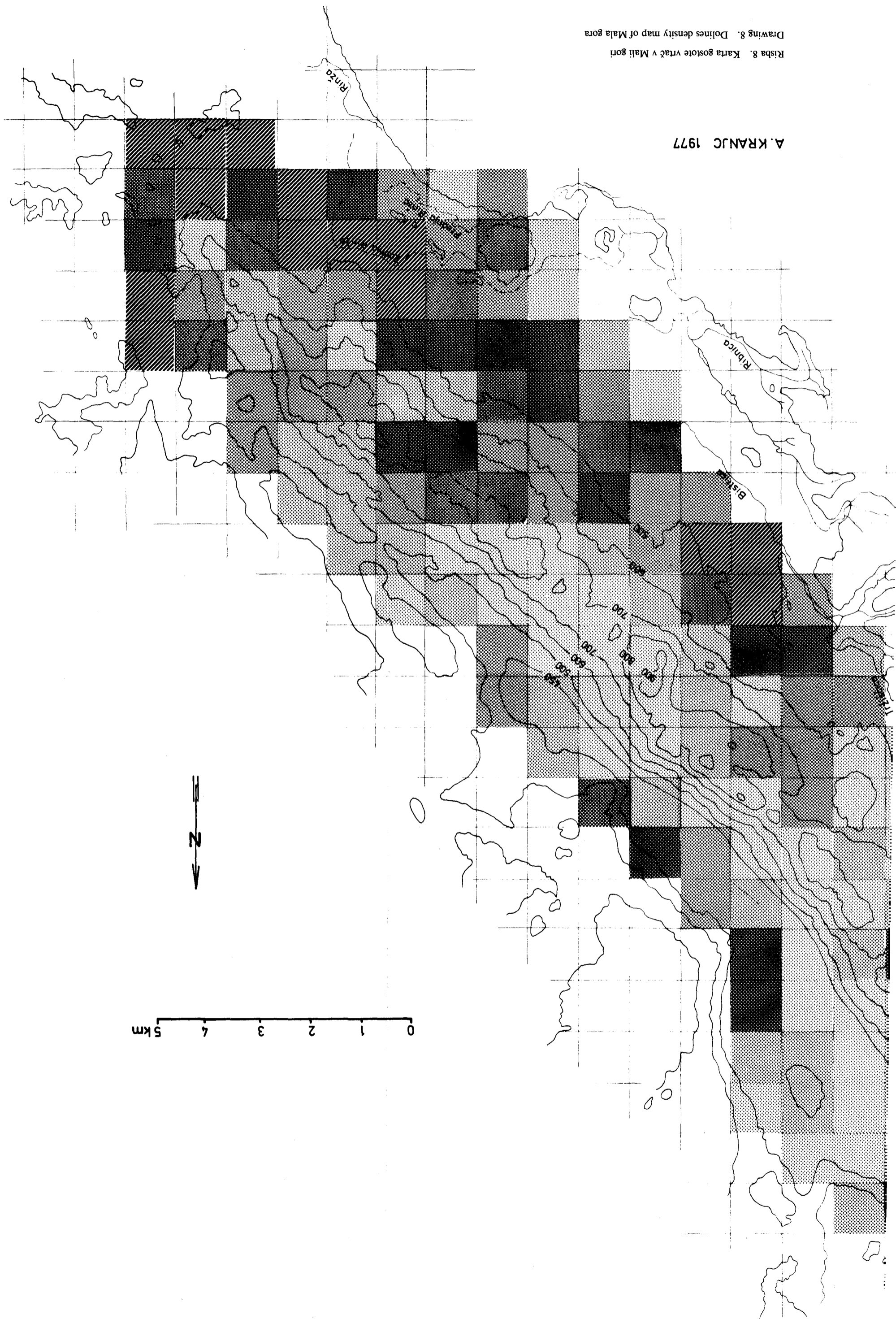


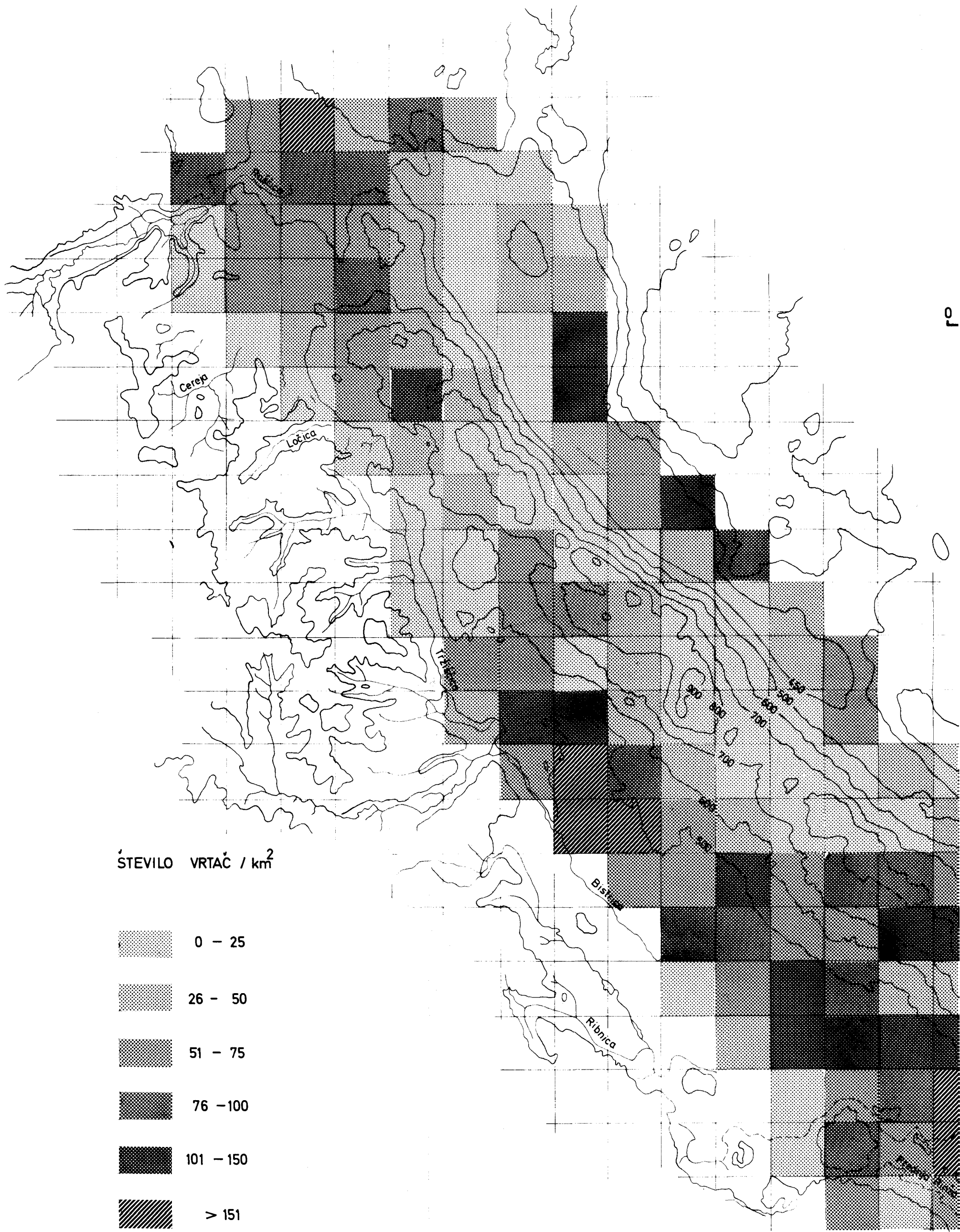
A. Kranjc 1977

Risba 5. Geomorfološko-speleološka karta Ribniške Male gore
 Drawing 5. Geomorphological and speleological map of Mala gora

Risba 8. Karta gostote vrtac v Mali gori
Drawing 8. Dolines density map of Mala gora

A. KRANJC 1977





A. KRANJC 1977

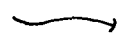
Risba 8. Karta gostote vrtač v Mali gori
 Drawing 8. Dolines density map of Mala gora



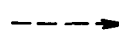
fosilna dolina



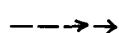
večja udornica



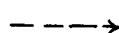
recentni površinski vodni tok in ponor



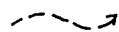
smer recentnega podzemnega pretoka



smer podzemnega pretoka v mlajšem pleistocenu



smer podzemnega pretoka pred mlajšim pleistocenom



površinski vodni tok v mlajšem pleistocenu



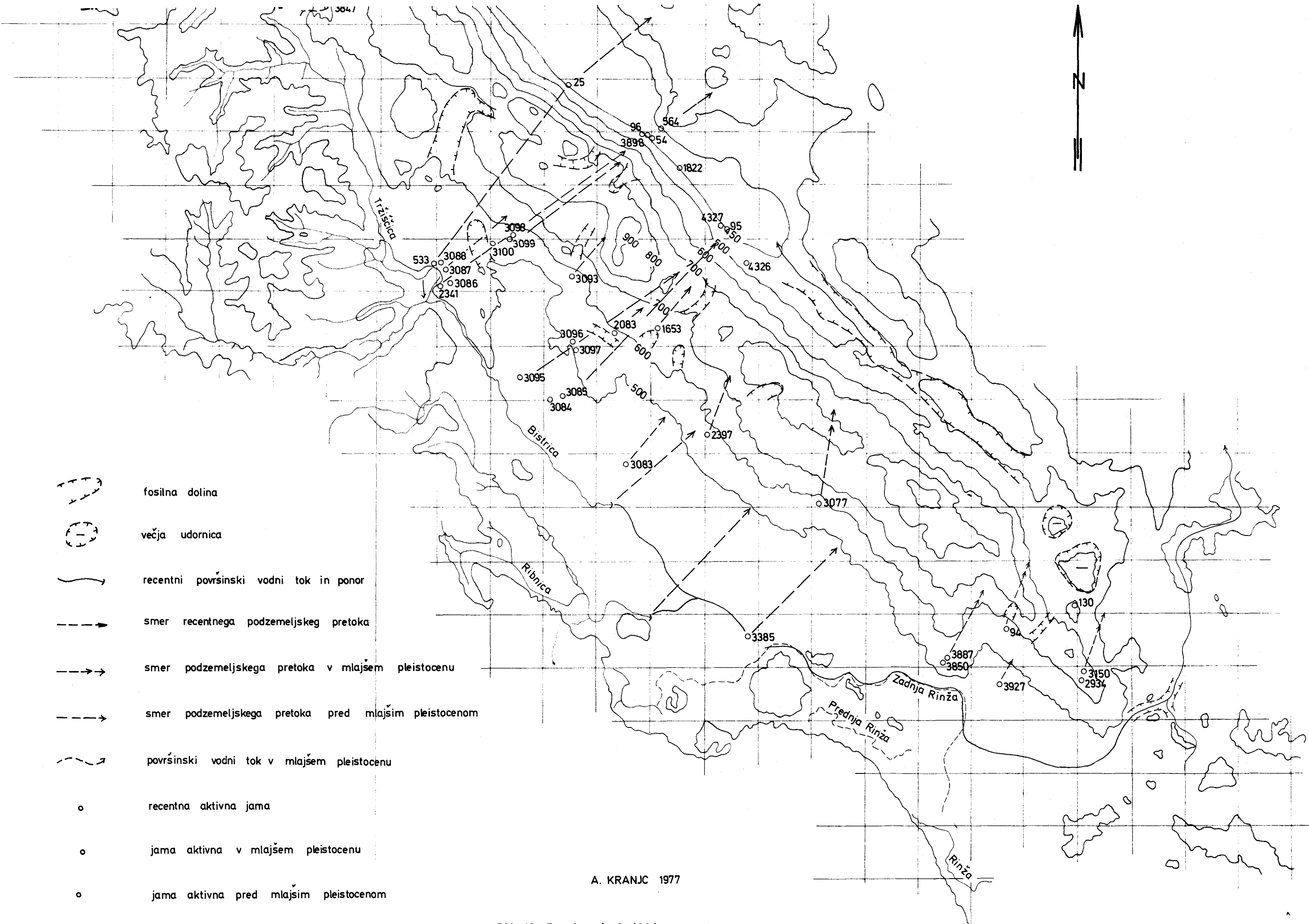
recentna aktivna jama



jama aktivna v mlajšem pleistocenu



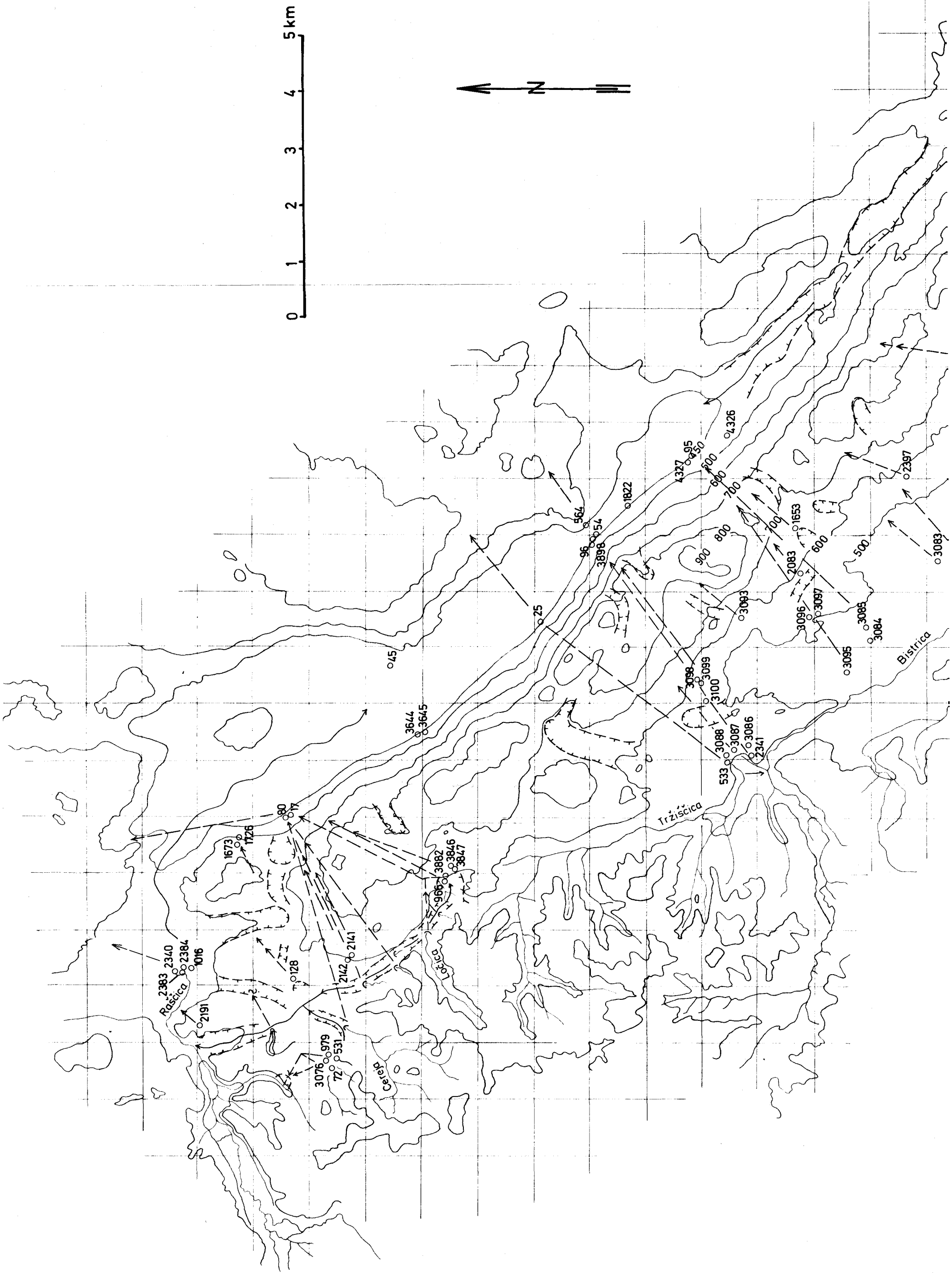
jama aktivna pred mlajšim pleistocenom

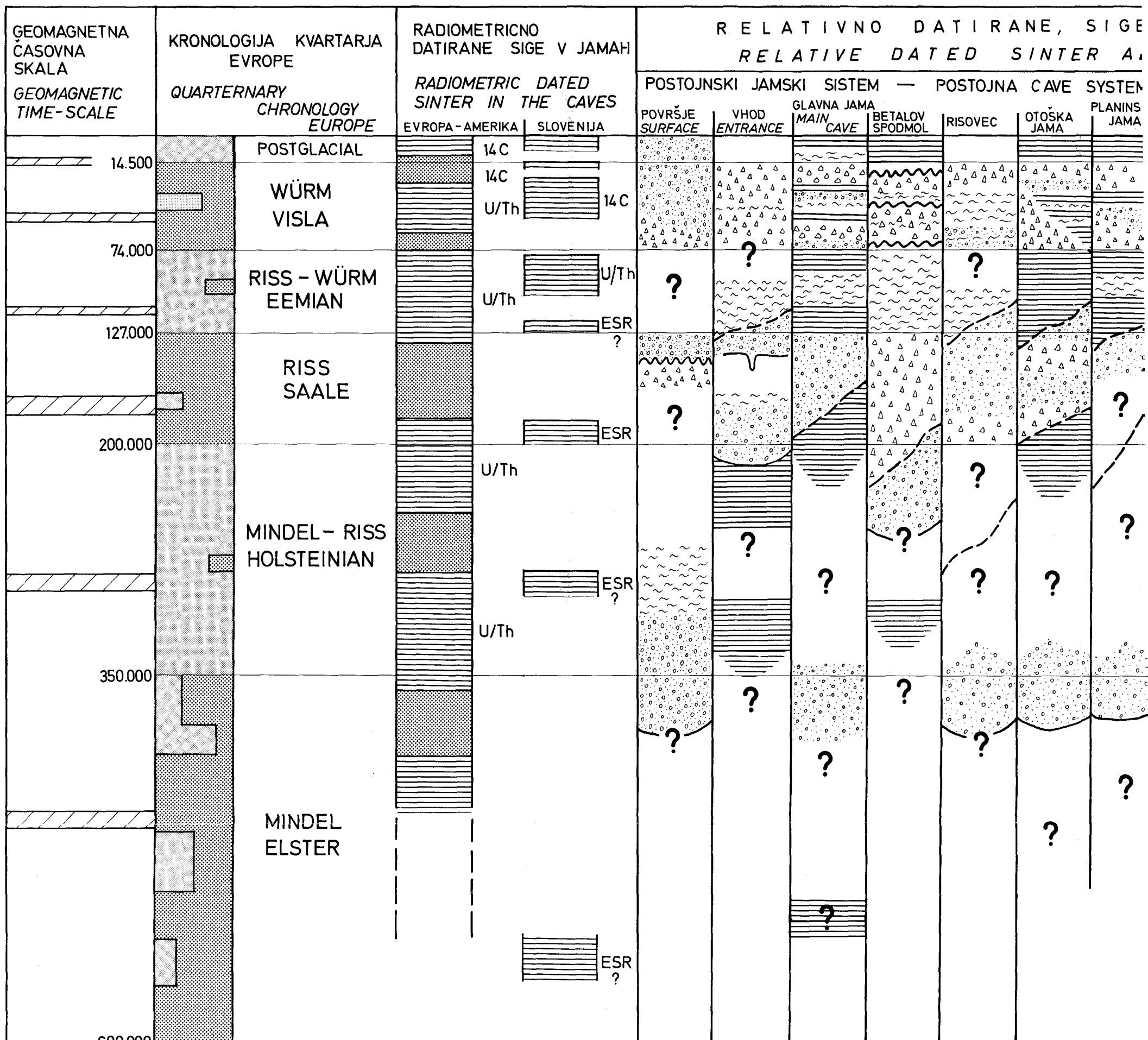


A. KRANJC 1977

Risba 12. Razvoj pretoka skozi Mala goro

Drawing 12. Karst drainage development through Mala gora

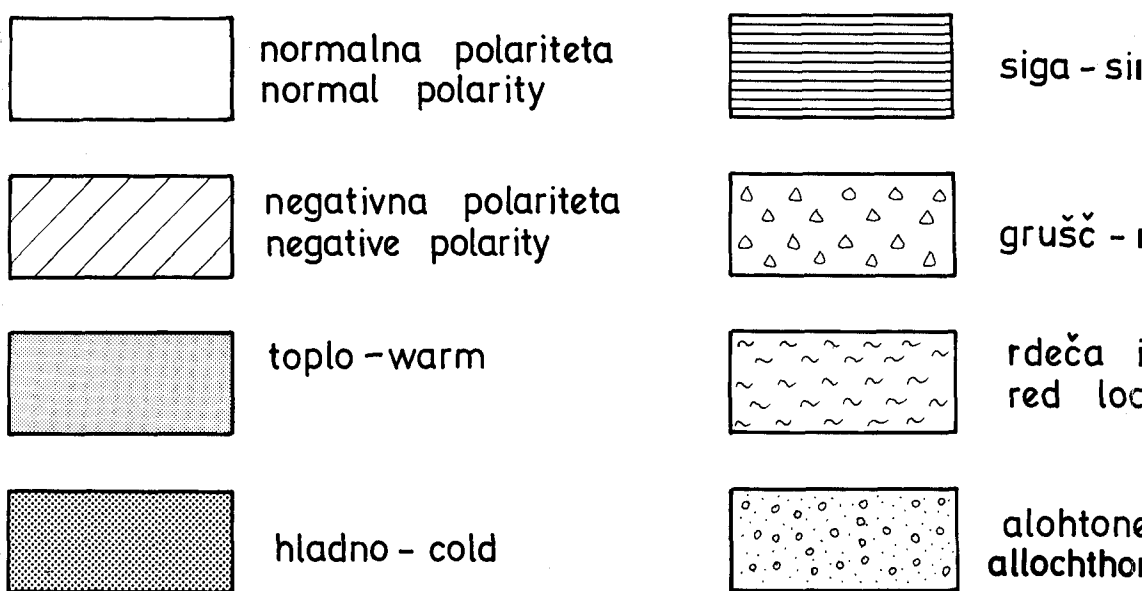




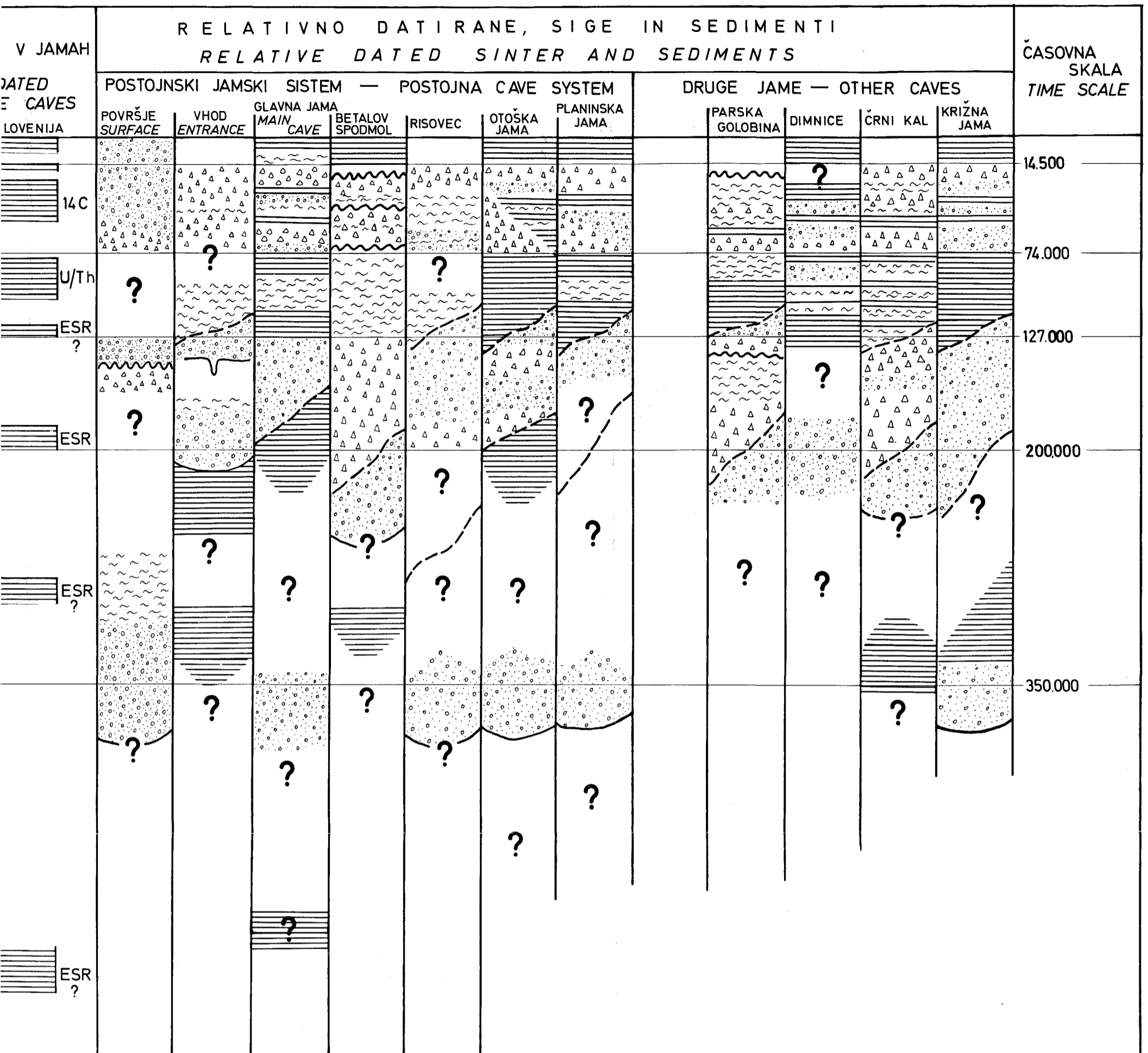
POSKUS GEOKRONOLOŠKE UVRSTITVE JAMSKIH SEDIMENOV

Tested geochronologic ranging of sinter

VIRI-DATA: Brodar (1951, 1956, 1958, 1960, 1966, 1970), Cooke (1961), Harmon (1975, 1978), Ikeya (1980), Osole (1961),



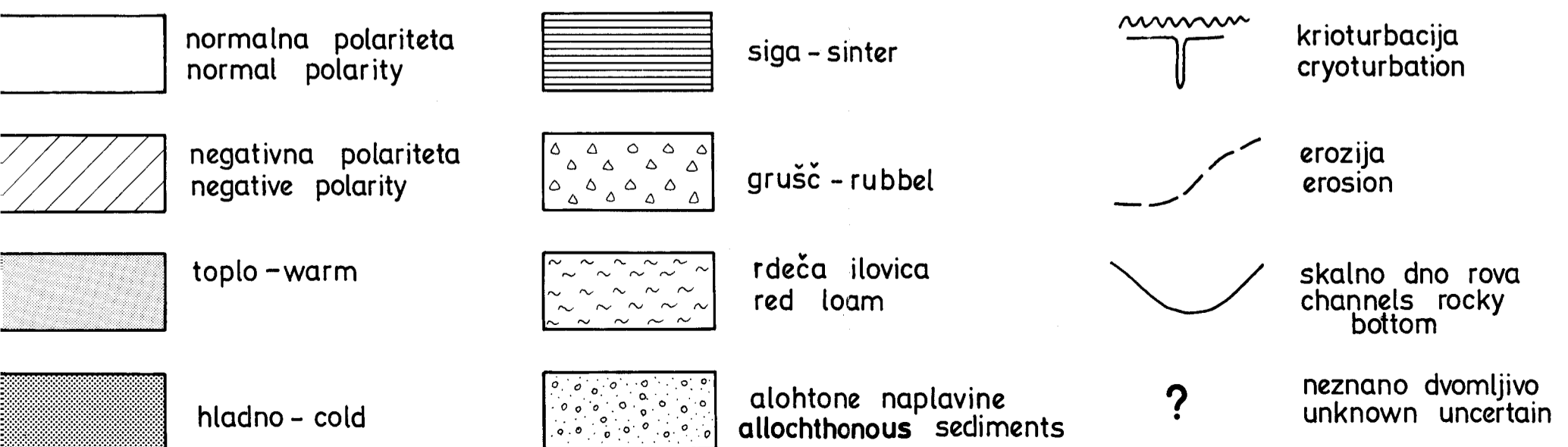
Sl. — Fig. 7

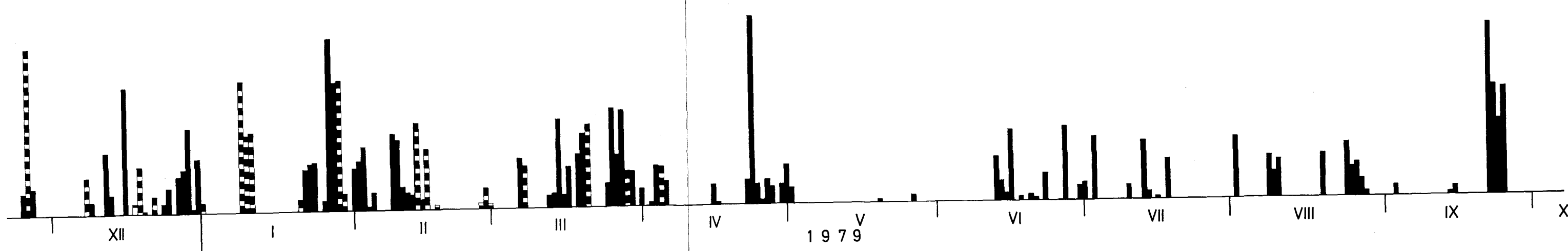
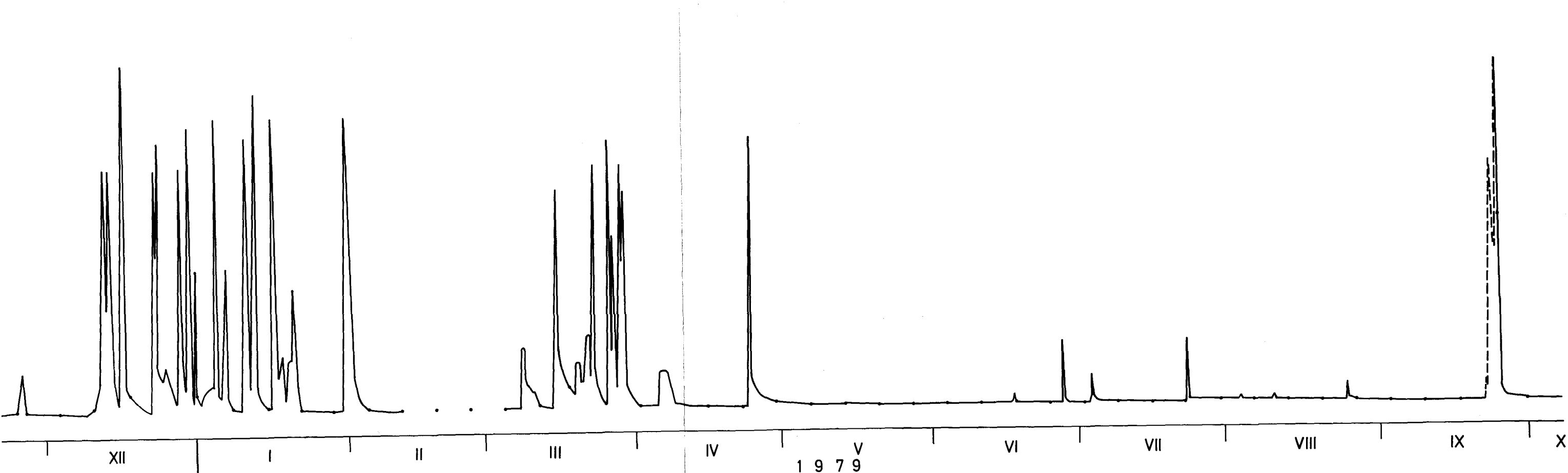


POSKUS GEOKRONOLOŠKE UVRSTITVE SIG IN DRUGIH JAMSKIH SEDIMENTOV

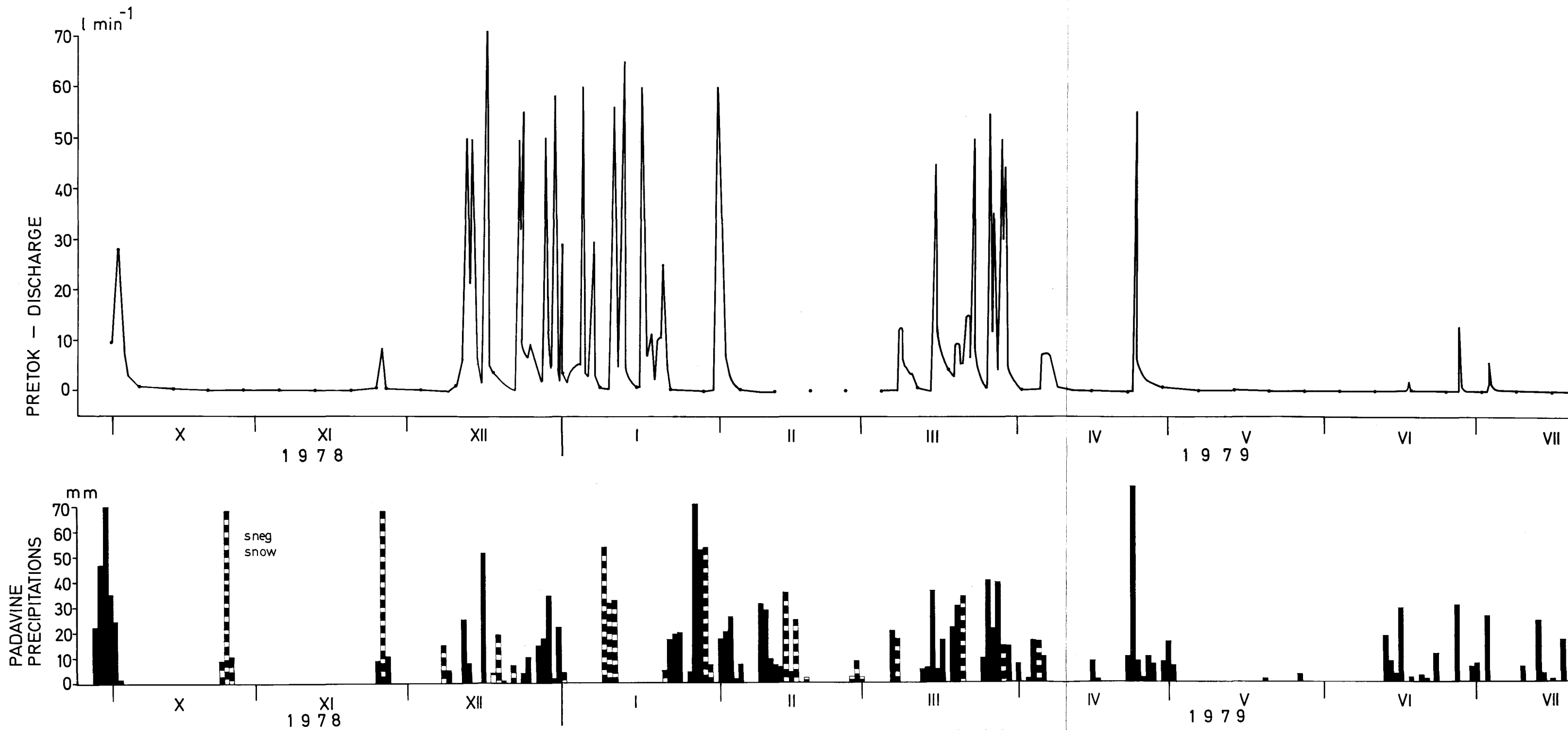
Tested geochronologic ranging of sinter and other cave sediments

LITERATURE DATA: Brodar (1951, 1956, 1958, 1960, 1966, 1970), Cooke (1973), Cox (1969), Gospodarič (1974, 1976), Harmon (1975, 1978), Ikeya (1980), Osle (1961), Wiegank (1977);



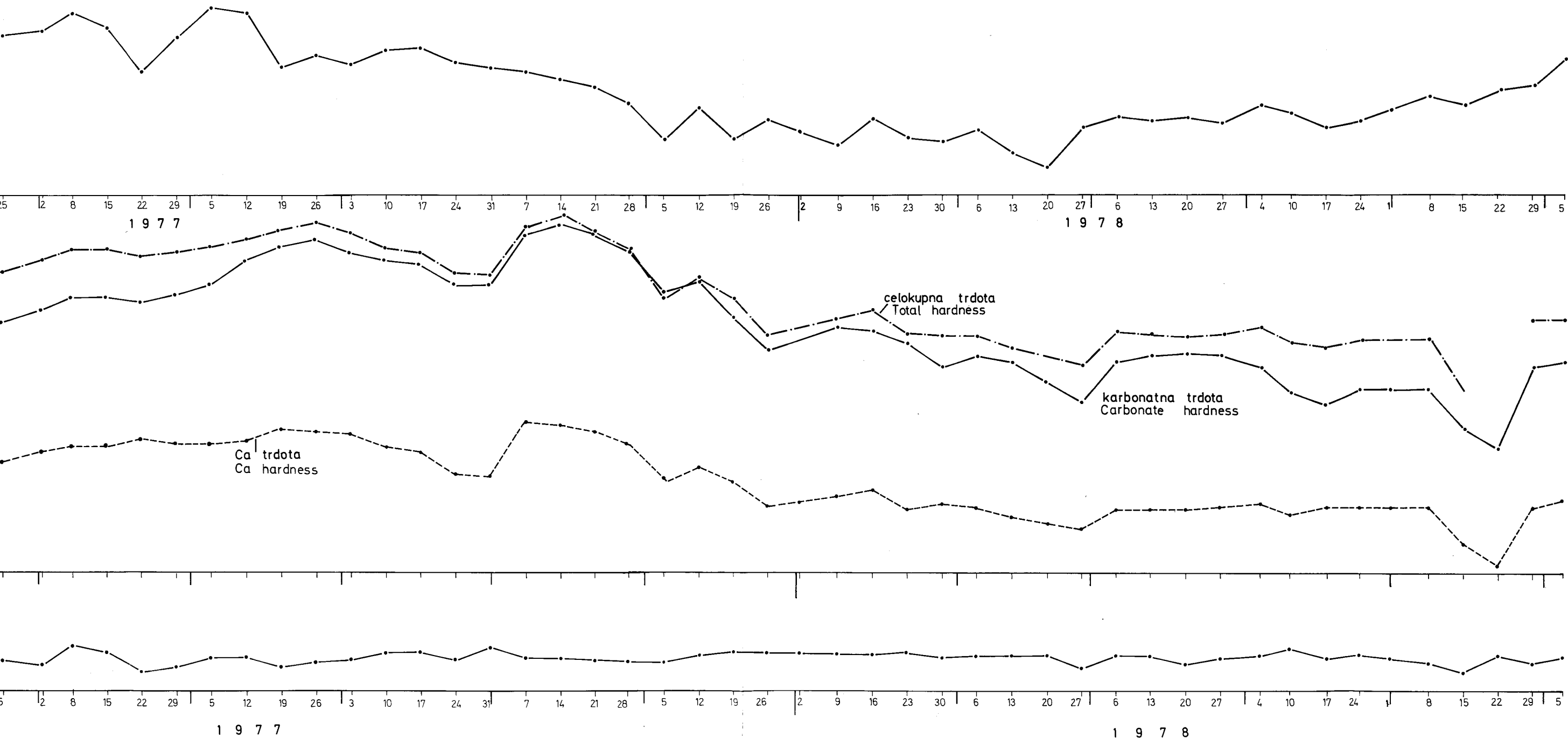


Sl. 4. Padavine in pretoki curka 1 v Planinski jami 1978/79
 Fig. 4. Precipitations and discharges of trickle 1 in Planina Cave in 1978/79



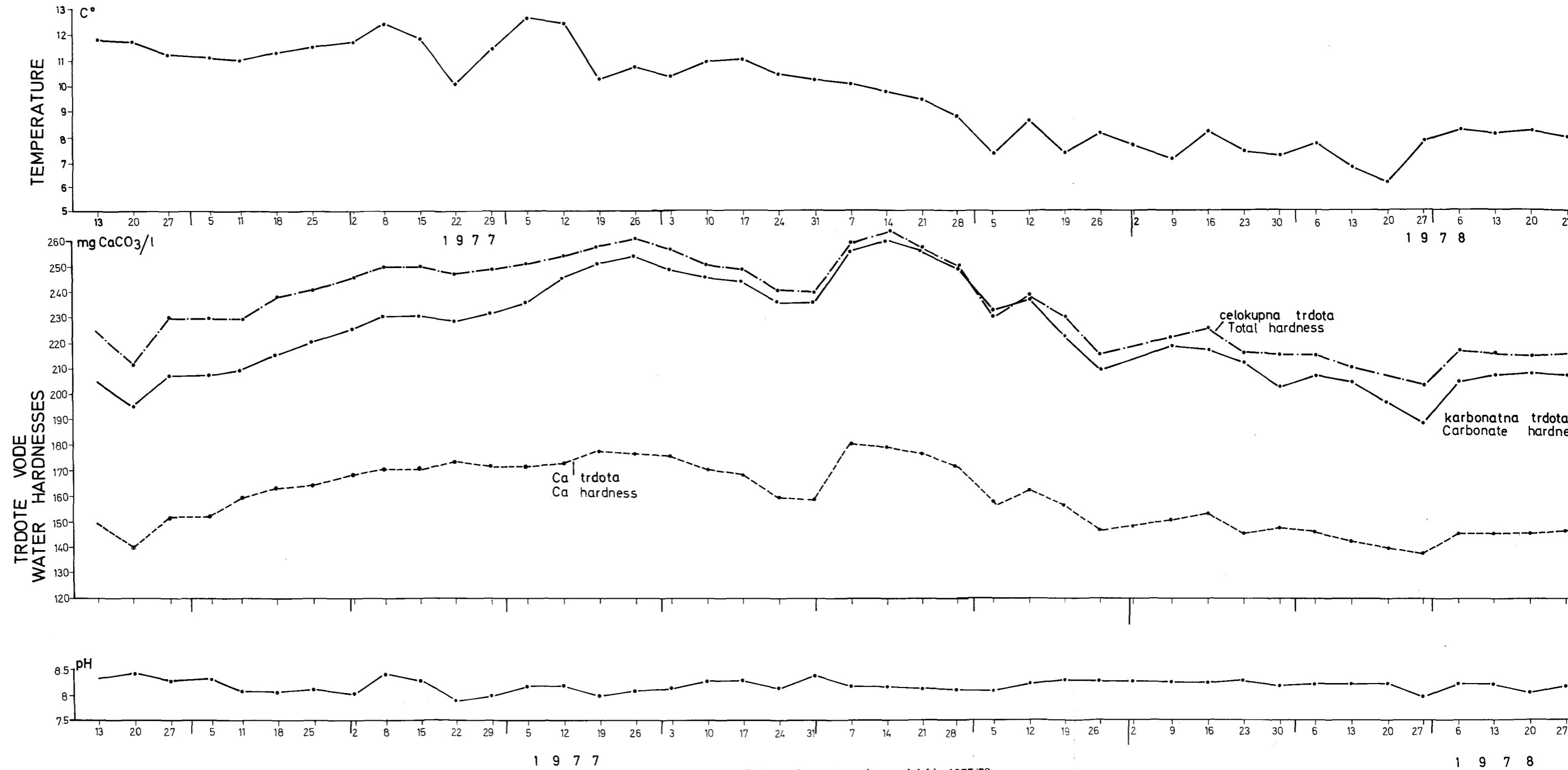
Sl. 4. Padavine in pretoki curka 1 v Planinski jami 1978/79

Fig. 4. Precipitations and discharges of trickle 1 in Planina Cave in 1978/79

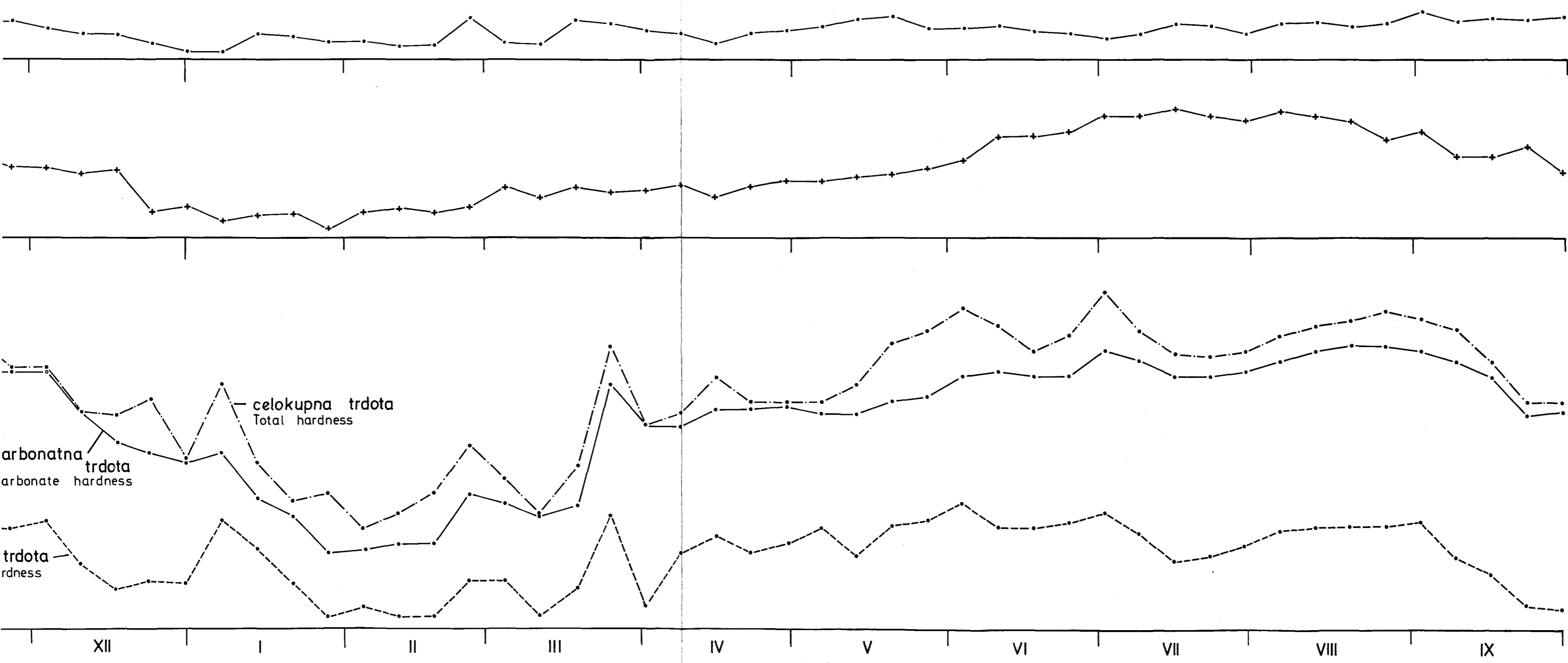


Sl. 7. Trdote vode curkov v obdobju 1977/78

Fig. 7. Trickle water hardness in the period 1977/78

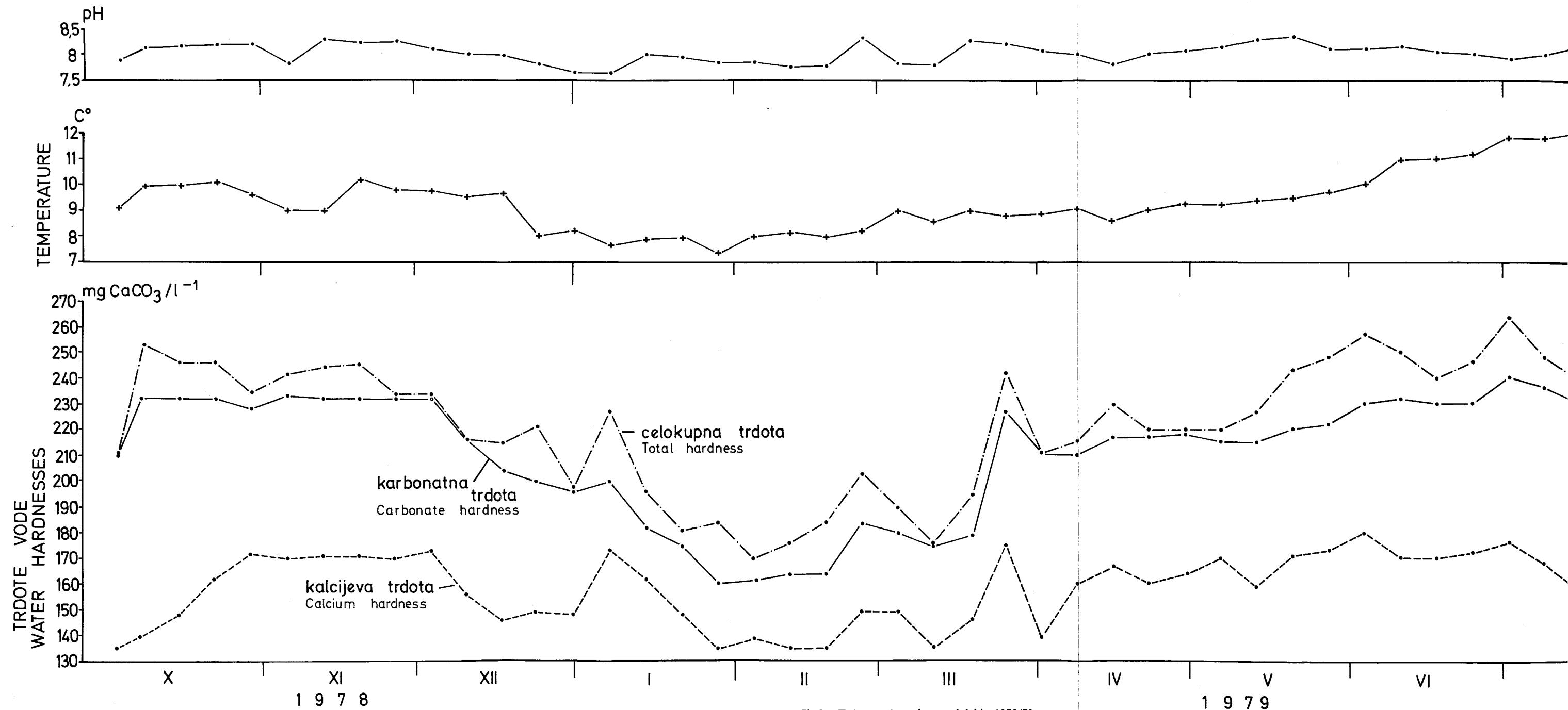


Sl. 7. Trdote vode curkov v obdobju 1977/78
 Fig. 7. Trickle water hardness in the period 1977/78



Sl. 8. Trdote vode curkov v obdobju 1978/79
 Fig. 8. Trickle water hardness in the period 1978/79

1979



Sl. 8. Trdote vode curkov v obdobju 1978/79

Fig. 8. Trickle water hardness in the period 1978/79