

2-25-1975

Acta carsologica, Volume VII, February 25, 1975

Svetozar Ilešič

Follow this and additional works at: https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles

Recommended Citation

Ilešič, Svetozar, "Acta carsologica, Volume VII, February 25, 1975" (1975). *KIP Articles*. 59.
https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles/59

This Article is brought to you for free and open access by the KIP Research Publications at Digital Commons @ University of South Florida. It has been accepted for inclusion in KIP Articles by an authorized administrator of Digital Commons @ University of South Florida. For more information, please contact digitalcommons@usf.edu.

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

VII



LJUBLJANA
1976

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 6. FEBRUARJA 1975
IN NA SEJI PREDSEDSTVA DNE 25. FEBRUARJA 1975

UREDIL SVETOZAR ILEŠIČ
OB SODELOVANJU ČLANOV UREDNIŠKEGA ODBORA
VALTERJA BOHINCA, JOŽETA BOLETA IN PETRA HABIČA

Tiskano s subvencijo Raziskovalne skupnosti SR Slovenije

VSEBINA — INDEX

Gospodarič, Rado:

Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju (z 1 prilogom, 39 slikami in 20 tablami)	5
The Quaternary Caves Development Between the Pivka Basin and Polje ob Planina (with 1 Annex, 39 Figures and 20 Plates)	121

Habe, France:

Morfološki, hidrografski in speleološki razvoj v studenskem flišnem zatoku (s 4 prilogami in 49 slikami)	141
Die morphologische, hydrographische und speläologische Entwicklung der Flyschbucht von Studeno (mit 4 Beilagen und 49 Abbildungen)	210

Habič, Peter:

Hidrogeološke značilnosti povodja Bele pri Vrhniki in problemi izrabe kraških voda za oskrbo (s 13 slikami)	215
Die hydrogeologischen Eigenheiten des Einzugsgebiets der Bela bei Vrhnika und das Problem der Ausnutzung von Karstwässern für die Wasserversorgung (mit 13 Abbildungen)	254

Kranjc, Andrej:

Tipi kraških votlin v Triglavskem pogorju (s 4 slikami)	257
Typologie des objets spéléologiques dans le massif de Triglav (Alpes Juliennes) (avec 4 figures)	274

RAZVOJ JAM MED PIVŠKO KOTLINO
IN PLANINSKIM POLJEM V KVARTARJU

(Z 1 PRILOGO, 39 SLIKAMI IN 20 TABELAMI)

THE QUATERNARY CAVES DEVELOPMENT BETWEEN THE PIVKA
BASIN AND POLJE OF PLANINA

(WITH 1 ANNEX, 39 FIGURES AND 20 PLATES)

RADO GOSPODARIČ

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 6. FEBRUARJA 1975

VSEBINA

Izveček — Abstract	8
Uvod	9
Dosedanje raziskave in problematika	11
Metode raziskovanja	16
Geološka zgradba krasa med Pivško kotlino in Planinskim poljem	19
Tektonska zgradba Postojnskega krasa in okolice	23
Podatki o geomorfološkem in hidrografskem razvoju	26
Speleološke značilnosti Planinske jame	35
Kratek opis jam	28
Speleološke značilnosti Planinske jame	35
Sklepi o sedimentih in razvojnih stopnjah Planinske jame	58
Poglavitne speleološke značilnosti Postojnskih jam	70
Opis nahajališč in stratigrafija jamskih sedimentov	72
Sklepi o sedimentih in razvojnih stopnjah Postojnskih jam	101
Izvor alohtonih jamskih sedimentov	102
Opis profila pri Prestranku	102
Nahajališča proda pisanega roženca v severnem delu Pivške kotline	106
O izvoru proda belega roženca	108
Stratigrafsko zaporedje sedimentov in razvojne stopnje Postojnskega jamskega sistema	108
Skupne in različne naplavine	108
Zaporedje in starost razvojnih stopenj	110
O vzrokih zasipavanja podzemlja in površja	115
Poglavitni rezultati in sklepi	117
The Quaternary Caves Development Between the Pivka Basin and Polje of Planina (Summary)	121
Literatura	135
Table — Plates 1—20	

Izvleček

UDK 551.442 : 551.79 (497.12-14)

Gospodarič, Rado: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem. Acta carsologica 7, 5—135, Ljubljana, 1976, lit. 120.

Z geološkim, morfološkim, speleološkim in sedimentološkim preučevanjem je bilo mogoče ugotoviti razvoj Postojnskega jamskega sistema za srednji in mlajši kvartar. Relativni kronološki podatki so dopolnjeni z absolutnimi datacijami sige. Speleogeneza jamskega sistema je povezana z geomorfološkim razvojem Pivške kotline in Planinskega polja ter kraškega porečja Ljubljanice v celoti. Rezultati preučevanja osvetljujejo kvartarno geologijo NW dela dinarskega krasa in jam.

Abstract

UDC 551.442 : 551.79 (497.12-14)

Gospodarič, Rado: The Quaternary Caves Development Between the Pivška kotlina (Pivka Basin) and Planinsko polje (Polje of Planina). Acta carsologica 7, 5—135. Ljubljana, 1976, Lit. 120.

With the geological, morphological, speleological and sedimentological analyses the development of the Postojna Cave System in the middle and younger Quaternary time has been established. The relative chronological dates are completed with absolute dated concretions. The speleogenesis of the cave system is connected with the geomorphological development of Pivka Basin, Polje of Planina and karstic Ljubljanica River Basin entirely. With the results of investigation the geological evolution of the NW part of Dinaric Karst and caves in Quaternary time is interpreted.

Naslov — Address:

dr. Rado Gospodarič
Inštitut za raziskovanje krasa SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

UVOD

Kraški svet podzemeljske Ljubljanice sodi med najbolj zanimive dele Dinarskega krasa na slovenskem ozemlju.

V karbonatnih kamninah mezozojske in terciarne starosti ter na prehodu alpske v dinarsko tektoniko so ob ustrezni klimi in geomorfološkem razvoju nastali raznovrstni kraški pojavi na površju in v podzemlju.

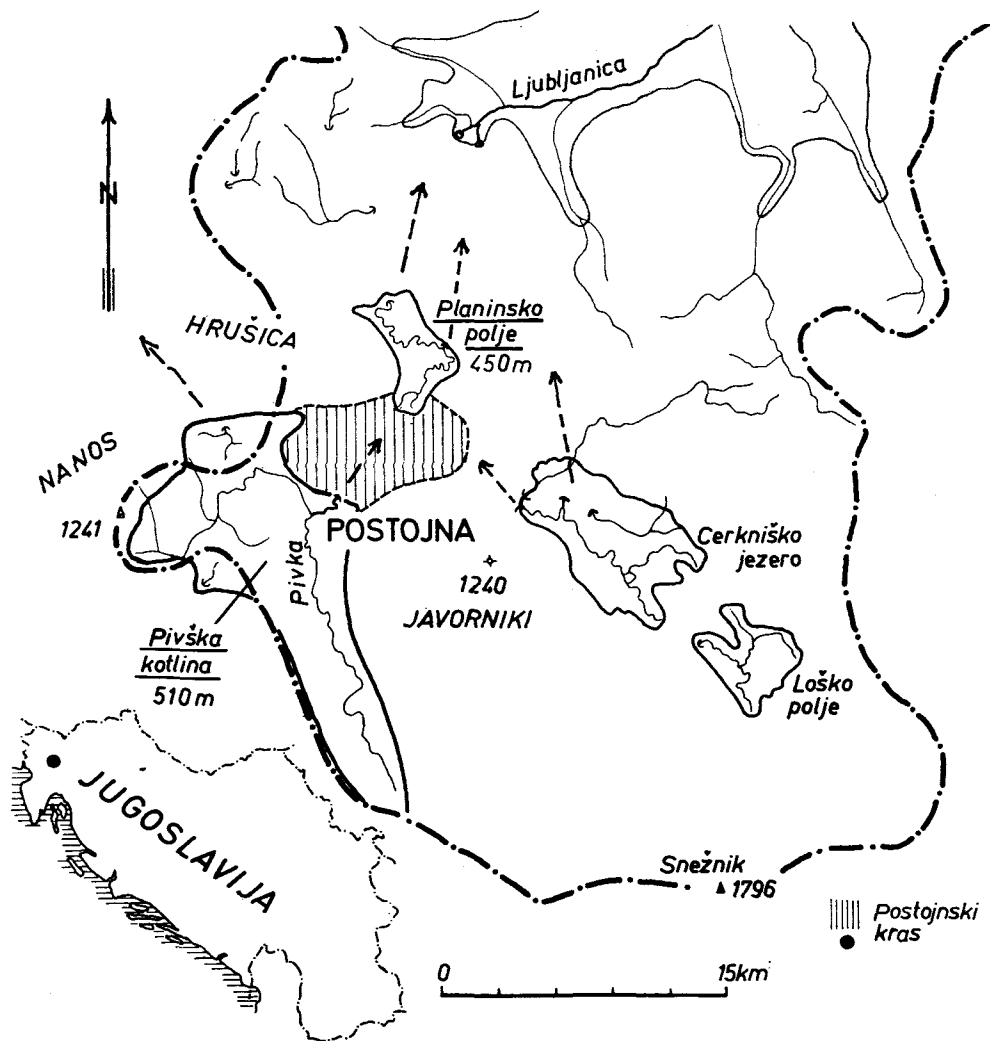
Površje je razčlenjeno v kraška polja in zakrasele planote z vrhovi in depresijami med njimi. Kraški relief odlikujejo številne različno velike udornice in vrtače ter škrapljasto površje, ki je komajda pokrito s prstjo, vendar skrito v bogatih gozdovih. Površinski kras dopolnjujejo številne podzemeljske jame. V njih se pretaka voda s Snežnika, Javornikov, Bloške planote, Hrušice in Nanosa na kraško Loško, Cerkniško, Planinsko in Logaško polje ter v Pivško kotlino, od tod pa nadalje po podzemlju k izvirom Ljubljanice ob Ljubljanskem barju. V Križni jami, Veliki in Mali Karlovinci, Zelških jamah in Tkalci jami, v Postojnskih jamah in Planinski jami ter v Mačkovici, Logarčku, Najdeni jami in v Gradišnici zadenemo na te recentne podzemeljske tokove. V teh jamah pa poznamo tudi fosilne vodne rove z raznovrstnimi znaki nekdanje vodne aktivnosti kot so erozijsko oblikovani rovi in različne naplavine, ki se pojavljajo med jamskimi sedimenti.

Po pestrih morfoloških oblikah in sedimentih posebno slovijo jame Postojnskega krasa med Pivško kotlino in Planinskim poljem (sl. 1). Tu se razteza Postojnski jamski sistem s skupno okoli 23 km prehodnimi vodnimi in suhimi rovi na ponorni postojnski in izvirni planinski strani.

Postojnski jamski sistem so odkrivali in preučevali številni raziskovalci od l. 1818 naprej. Vendar se je šele v zadnjih dvajsetih letih uveljavilo spoznanje, da je s pomočjo raznovrstnih jamskih sedimentov mogoče sklepati o tem, kako in kdaj so rovi nastajali in se oblikovali. To spoznanje je pri nas prvi utemeljil S. Brodar (1952), ko je s preučevanjem jamskih sedimentov ob Pivški kotlini postavil hipotezo o razvoju jam v štirih fazah v obdobju zgornjega pliocena in kvartarja.

V letih 1966—1971 sem v Postojnskih jamah in v Planinski jami odkril različne alohtone, paravtohtone in avtohtone sedimente, ki doslej še niso bili znani. Zato je postalo nadaljnje preučevanje razvoja Postojnskega jamskega sistema vnovič vabljivo, kajti z najdbami sem si obetal dopolniti in razširiti veljavnost Brodarjeve hipoteze tudi na jame izven Pivške kotline. Prav tako sem upal obogatiti dosedanje skromno znanje o kvartarni geologiji Postojnskega krasa in posredno tudi krasa v porečju Ljubljanice.

Zbrane in obdelane podatke ter ugotovljene rezultate podajam v predloženem delu. V uvodnih poglavjih obravnavam dosedanje raziskave in proble-



Sl. 1. Kraško porečje Ljubljanice s Postojnskim krasom med Pivško kotlino in Planinskim poljem

Fig. 1. The Ljubljana River Basin with belonging Postojna Karst between the Pivka Basin and Polje of Planina

matiko, ki zadevajo razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem ter pojasnujem metodo raziskovanja. V poglavjih o geološki zgradbi, geomorfološkem in hidrografskem razvoju ter o speleoloških značilnostih predstavljam raziskovalno območje s posebnim poudarkom na podzemeljskih kraških pojavih. Poglavitne analitične podatke prikazujem v poglavjih o Planinski jami in o

Postojnskih jamah. Tu opisujem speleološke posebnosti, nahajališča in stratigrafijo jamskih sedimentov ter ugotavljam razvojne stopnje posameznih rovov. V posebnem poglavju govorim o poreklu alohtonih sedimentov v jami. V sklepnih poglavjih obravnavam za ves Postojnski jamski sistem skupne sedimente, razvojne stopnje in speleogenetske procese ter skušam ugotoviti njih starost. Sklepe, diskusijo z že obstoječim znanjem in nove probleme podajam v zadnjem poglavju.

Zastavljeno preučevanje sem opravljal več let v okviru raziskovalnega programa Inštituta za raziskovanje krasa Slovenske akademije znanosti in umetnosti v Postojni, kjer sem zaposlen. Ob razumevanju in pomoči vodstva inštituta in njegovih sodelavcev sem imel vse možnosti za terensko delo, za obdelavo materiala in sestavo predloženega dela.

Pri terenskem delu v podzemlju so mi mnogo pomagali dr. P. Habič, Maja in A. Kranjc, I. Kenda, A. Vadnjal in drugi. Posebej je bila dragocena pomoč dr. P. Habiča pri izbiri obsega in načina preučevanja, pri zbiranju podatkov v podzemlju in pri izdelavi fotografske dokumentacije. Na čisto izrisane skice in načrte mi je oskrbela Vladoša Elesini. Brez sodelovanja in pomoči kolegov na inštitutu naloge ne bi mogel opraviti. Zato se jim za ves trud in podporo iskreno zahvaljujem.

Med obdelavo gradiva sem za podrobnejše paleontološke in petrografske analize nekaterih vzorcev prosil Eriko Grobelšek, dr. Valerijo Osterc, dr. Katico Drobne in dr. R. Pavlovca, ki so mi rade volje priskočili na pomoč in analize opravili. Razne nasvete in rešitve sem dobil tudi pri diskusijah s prof. dr. M. Pleničarjem in prof. dr. F. Osoletom. Vsem kolegom sem za pomoč zelo hvaležen.

Razen tega je prof. dr. D. Kuščer stalno spremljal moje delo na terenu in se zanimal za potek in rezultate preučevanja in posebej zaključno fazo obdelave usmerjal k boljšim in pravilnejšim sklepom. Za trajno skrb in vzpodbudo se mu ne morem dovolj zahvaliti.

DOSEDANJE RAZISKAVE IN PROBLEMATIKA

Podatke o Postojnskem krasu in njegovih jamah najdemo raztresene v geološki, geografski, arheološki, biološki in drugi literaturi. Številne opise tukajšnjega podzemlja s poskusi tolmačenja njegovega nastanka in razvoja podajajo vodniki po Postojnski in sosednjih jamah, pa tudi nekatera dela o slovenskem krasu, kjer so Postojnske jame obravnavane na najbolj vidnem mestu.

Prvi poskusi, da bi pojasnili razvoj Postojnskih jam so povezani z opisom raznovrstne sige, ilovice in kosti jamskega medveda v vodniku A. Schaffnera (1829). Prirodoslovca H. Freyer in F. v. Hohenwart (1830-32) sta predvsem iskala poreklo fosilnih kosti, vendar razmišljala tudi o tem, kako so kosti zašle med jamsko sigo, podorne skale in ilovico.

A. Schmidl (1854) je v svojem monografskem delu o jamah okoli Postojne opisal za tisto dobo epohalna odkritja v podzemeljski Pivki in Raku ter več povedal o različnih tipih kraških jam kot pa o njihovem nastanku. Njegove podatke je s pridom uporabil F. Kraus (1894) v speleološkem učbeniku, kjer govori o Postojnski jami kot jami erozijskega nastanka.

E. A. Martel (1894) je dotedanjemu znanju dodal več odkritij in stvarnih opisov. Skupaj z domačini je kot prvi prodril po podzemeljski Pivki do Magdalene jame, jo izmeril in morfološko opisal. Na načrt jame je začrtal površinske udornice in ugotovil, da so genetsko povezane s podzemeljskimi rovi.

Speleološke raziskave v Postojnskem jamskem sistemu sta nadalje opisala F. Mühlhofer (1907) in A. Perko (1910). Slednji je posredoval prvi konkretni podatek o starosti sige v Postojnski jami. Na podlagi recentne rasti sige je namreč izračunal, da je bil Zvrnjeni steber pred Veliko goro okoli 150 000 let star, ko se je pred 67 000 leti prelomil in zvrnil.

Prva svetovna vojna je zavrila dotlej uspešno raziskovalno delo in preučevanje Postojnskega krasa, tako da so domači raziskovalci, med njimi A. Melik (1928; 1951) in S. Brodar (1952), dokaj pozno uspeli povezati in pojasniti kraške pojave z geološkimi in geomorfološkimi podatki, ki jih je objavil F. Kossmat (1905; 1916). V delu iz l. 1916 razberemo, da bi se naj zakrasevanje tudi na postojnskem območju bilo začelo v mlajšem pliocenu s poglobljanjem dolin in kraških polj v uravnani relief in s prestavljanjem površinske vodne mreže v podzemlje.

Kar zadeva speleološko preučevanje med obema svetovnima vojnama, ko je bilo ozemlje Postojnskega krasa pod italijansko okupacijo, je treba omeniti izdelavo podrobnih načrtov obeh poglavitnih jam (Postojnske in Planinske) v merilu 1 : 500, ki so še danes v rabi, in tudi dela pri urejanju boljših dostopov in prehodov po podzemlju. Med pomembnejšimi objavljenimi deli je omeniti opise, načrte in fotografije o Postojnskem jamskem sistemu, ki so bili objavljeni v Duemila Grotte (L. Bertarelli & E. Boegan 1926), gravimetrične meritve E. Solerja (1934) in F. Anellija (1936), s katerimi so hoteli spoznati neznane podzemeljske rove med Pivko jamo in Planinsko jamo, ter razpravo R. Battaglia (1933) o razvoju jam v začetni erozijski in kasnejši akumulacijski fazi. Speleološke raziskave v Rakovem rokavu je opravljal F. Mühlhofer (1933), hidrološke v podzemeljski Pivki pa A. Perko & E. Boegan (1928) in A. Perko & S. Gradenigo (1942).

Po drugi svetovni vojni je s speleološkim raziskovanjem na Postojnskem krasu začel l. 1948 umrl A. Šerko, za njim pa sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa SAZU in Jamarskega društva »Luka Čeč« v Postojni. Opise najdenih rogov je objavil I. Michler (1952/53; 1952/53 a; 1955; 1955/56; 1959; 1959/60; 1963/64). I. Michler (1959/60, 193) je opisal sistem Postojnskih jam kot »eno samo močno razčlenjeno in nedeljivo celoto«, katere sestavni deli »časovno ne sovpadajo, ker so nastajali v različnih geoloških obdobjih, v različnih vremenskih in drugih razmerah«. Mrežo sosednjih rogov je povezal v deset nekakšnih zank, prekinjenih z zasiganimi podori. Glede na današnjo vodno funkcijo je uvrstil rove v suho, obdobjno poplavljenno in humidno cono, glede nastanka, razvoja in starosti jam pa se je oprl na podatke takratnih paleolitskih izkopavanj S. Brodarja (1951; 1952) in na geomorfološke izsledke A. Melika (1928; 1955). Geološke podatke je povzel po G. Wagnerju (1954).

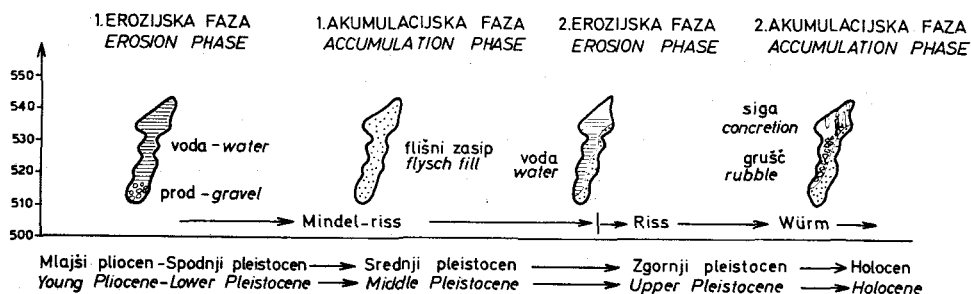
Geološko oziroma tektonsko zgradbo ozemlja Postojnskega krasa je na novo podal M. Pleničar (1961). Znatno je izpolnil podatke Kossmatove karte (1905), saj je na podlagi najdene favne lahko razčlenil kamnine tega ozemlja na senonij-turonjske, turon-cenomanijske in cenomanijske ter na spodnjekredne. Na površju in v dostopnem podzemlju je spoznal apnenec grebenskega faciesa

in apnenec z roženci medgrebenskega faciesa. Tektonsko je uvrstil Postojnski kras k zahodnemu krilu Borovniške antiklinale, ki je ob Pivški kotlini antiklinalno upognjeno. Pomembna je Pleničarjeva ugotovitev (1961, 58), da so prehodni rovi Postojnskih jam večinoma vzporedni s plastmi, kjer jih pa prečkajo, postanejo suhi rovi neprehodni, v vodnih rovih pa se pojavijo sifoni.

Pri nadaljnjem geološkem preučevanju Postojnskega krasa in njegove okolice (R. Gospodarič 1963; 1964; 1965; 1968; 1969) so bili natančnejše kartirani litostratigrafski členi na površju in v podzemlju, ugotovljena je bila zgradba Postojnske antiklinale ter prelomi in razpoke, ki jo križajo. Z geološko zgradbo pa je bilo možno pojasniti le nekatere mlajše oblike in smeri podzemeljskih prostorov, ki niso bili zasuti s sedimenti, sigo in podori. Ker pa so taki prostori v manjšini, starost kamnin in tektonskih struktur ni zadoščala, da bi spoznali nastanek in razvoj Postojnskega jamskega sistema. Vedno znova se je postavljalo vprašanje, kakšno vlogo in pomen so pri tem imeli obilni, a nepreučeni jamski sedimenti, njihova stratigrafija in razmerje do podzemeljskih prostorov. Na ta vprašanja je zadel S. Brodar (1952) tudi pri preučevanju paleolitske kulture in sedimentov v jamah ob Pivški kotlini. Številni izkopani profili jamskih sedimentov so mu omogočili, da je lahko razširil hipotezo R. Battaglia (1933, 205) o dveh razvojnih fazah (erozijski in akumulacijski) na štiri, tako kot so prikazane na sl. 2:

1. erozijsko fazo v zgornjem pliocenu ali spodnjem (starejšem) pleistocenu,
2. akumulacijsko fazo v spodnjem in srednjem pleistocenu,
3. erozijsko fazo v srednjem pleistocenu in
4. akumulacijsko fazo v zgornjem (mlajšem) pleistocenu.

Prva faza je oprta na Kossmatovo mnenje (1916), da so v zgornjem pliocenu začele vode urezovati uravnave in podzemeljsko odtekat. Druga faza se opira na vedno znova zadete alohtone fluvialne ilovice v Postojnski jami, kjer naj bi bili pred sto leti najdeni in kasneje določeni femur in zobje pritlikavega povodnega konja (*Hyppopotamus pentlandi*) mindel-riske starosti (I. Rakovec 1954). V novjšem času pa je I. Rakovec (1975, 227) popravil prvotno determinacijo tako, da pripada femur vrsti *H. antiquus*, zobje pa vrsti *H. pentlandi*. Slednji pa kot otoška žival ni mogel živeti v kontinentalnih moč-



Sl. 2. Razvoj jam ob Pivški kotlini, shema po hipotezi S. Brodarja

Fig. 2. The caves development in Pivka Basin, sketch after the S. Brodar's hypothesis

virjih Pivške kotline, zato tudi zobje niso mogli biti najdeni v Postojnski jami, pač pa po vsej verjetnosti le slučajno shranjeni v ljubljanskem muzeju skupaj s femurjem. *H. antiquus* je lahko iz spodnjega pleistocena ali mlajšega pliocena. Ti popravki I. R a k o v c a na novo odpirajo vprašanja o starosti alohtonih jamskih sedimentov Postojnske jame in kvartarnih naplavin v Pivški kotlini.

Naplavine v jamah ob Pivški kotlini je S. B r o d a r (1952) imenoval flišni zasip. V kasnejši razpravi (1966, 116) ga je označil kot »bazalno fluvialno odkladnino« v 2. (akumulacijski) fazi, sestavljeno pretežno iz peskov in ilovice. V zasip ni vštet prod ali konglomerat, ki bi bil eventualno ohranjen v jamah iz prve (erozijske) faze, kajti po S. B r o d a r j u (1966, 113) so ga razni naravni činitelji že takrat odstranjevali v tolikšni meri, da so njegovi ostanki ohranjeni samo izjemno. S. B r o d a r domneva, da bi ga našli na skalnem dnu rogov pod flišnim zasipom, lahko tudi v višini današnjega poniranja vode. V kolikor bi takšne sedimente tudi našli, bi morali »imeti nekaj svojskega (verjetno drugačno petrografsko in granulacijsko sestavo kot peščen in ilovnat flišni zasip — opomba G. R.) in bi bili ne le izjemno ohranjeni, temveč tudi šibki po obsegu« (S. B r o d a r 1952, 50). Flišni zasip je torej zamišljen kot stratigrafsko in litološko enotna naplavina vezana na poplavljenno, ojezerjeno Pivško kotlino v mindel-riškem interglacialu, kjer bi naj bili tudi ohranjeni ostanki takšnega zasipa do višine 540 m, če ne celo do 580 m (A. M e l i k 1955; S. B r o d a r 1966).

Že kmalu pa so se pojavili ugovori proti takšnemu obsegu mindel-riškega jezera, kakor tudi proti enotnemu flišnemu zasipu v Postojnskih jamah.

Na zahodnem obodu Pivške kotline, v Prestranškem in Slavenskem ravniku je F. O s o l e (1966; 1968) našel flišno ilovico čez 580 m visoko, ki je ni bilo moč pojasniti z ojezeritvijo. Menil je, da so bile tamkajšnje jame pokrite s primarnim flišem, ki je bil v mindel-riškem interglacialu erodiran, njegovo blato pa naplavljenno v zakraseli apnenec. Nekaj ugovorov proti trajnejši ojezeritvi navaja tudi F. H a b e (1970, 54), saj je na severni strani Pivške kotline pred Predjamo z vrtanjem do skalne podlage našel le preperelino fliša. R. G o s p o d a r i č in P. H a b i č (1966) sta nadalje zanikala ojezeritev kotline s tem, da sta ob ponornem robu in v podzemlju ugotovila dokaze o večkratnih poplavljah, o različno starih zasipih in jamah.

V zadnjem času je bila domala povsod v Postojnski jami (R. G o s p o d a r i č 1968; 1969 a; 1972) najdena flišna ilovica med dvema generacijama sige, ki ni bila odložena ali preložena le ob dvignjeni gladini vode v jami, ampak ob trajnejšem poniranju vode v višini že obstoječih, s sigo obdanih rovi. Tudi petrografska različnost proda v več nahajališčih je dala slutiti, da flišni zasip ne odraža le ene naplavine, pač pa več vrst naplavin med različno starimi avtohtonimi sedimenti S. B r o d a r j e v e 4. (akumulacijske) faze.

Ob tako razširjenih naplavinah v ponornih jamah je bilo te pričakovati tudi v Planinski jami, saj se tja steka ponornica Pivka iz Pivške kotline, a tudi ponornica Rak iz cerkniške strani. O flišnem zasipu v Planinski jami S. B r o d a r ne govori, pač pa bežno omenja tamkajšnji apnenčev grušč (1952, 50) kot sediment 3. (erozijske) faze. A. M e l i k (1955) pa domneva morebitne pleistocenske sedimente v Planinski jami, ki sicer na Planinskem polju niso ohranjeni.

I. G a m s (1965) je poskušal dognati razvojne faze Postojnskega jamskega sistema s pomočjo morfoloških kriterijev kot so podobne razsežnosti in nagnje-

nost rogov. Kljub zamotanim razmeram je spoznal dve poglavitni razvojni fazi Postojnskih jam v višinah okoli 537 m in 520 m, v Planinski jami pa v višinah 480 m in 460 m. Že sam pa je podvomil, če so uporabljene kriteriji dovolj zanesljivi, kajti skalna dna rogov so marsikje pokrita z naplavinami, sigo in gruščem, razpadanju vedno najbolj izpostavljeni strop pa tudi ni več takšen in tam kot med pretokom ponornice. Današnje oblike rogov so posledice nekdanje vodne aktivnosti, toda tudi posledica različnih speleogenetskih procesov, ki so prvotne vodne kanale zelo preoblikovali. O teh procesih pa v delu I. Gamsa (1965) ni najti podatkov.

Nadaljnji poskus (R. Gospodarič 1968; 1969) genetsko razčleniti pestro podzemlje Postojnskih jam je izveden na podlagi splošnih shem o razvoju kraškega podzemlja, ki jih je najti v speleološki literaturi (G. Kyrle 1923; F. Trombe 1952; T. Warwick 1953; G. W. Moore & G. Nicholas 1964; H. W. Franke 1965; H. Trim mel 1968). Ta genetska shema razlikuje geološko fazo (nastanek apnenca in lezik, umik morja ter tektonske procese z gubami, razpokami in prelomi), ko so nastali za zakrasevanje vsi potrebni geološki pogoji, nato pa prvo razvojno fazo podzemlja, ko so se uveljavili fizikalno-kemični procesi raztapljanja na površju in pod njim, drugo razvojno fazo s prevladujočim erozijskim izvotljevanjem in tretjo razvojno fazo, ko je vodni rov dosegel največjo razsežnost. Prvo odlaganje alohtonih naplavin in krušenje stropa zajema že prvo razpadno fazo. V drugi razpadni fazi je ponornica le še občasno zašla v rov in ga poplavljala, v tretji razpadni fazi pa so siga in avtohtoni grušč že skoraj zatrpali trajno suhi rov. V zadnji, četrti razpadni fazi je rov že popolnoma zasut s podrtim stropom, o prehodni jami ni več moč govoriti.

Nadaljnje raziskave pa so pokazale, da se lahko po navedeni shemi razvija le en rov ali samo del rova in še to v primeru, če je ponornica podzemlje stalno poglabljala. V jamskih sistemih, kakršen je postojnski, pa so se v rovih istočasno uveljavljale različne faze, različni speleogenetski procesi. V rov četrte razpadne faze je npr. ponovno vdrla ponornica (R. Gospodarič 1972) in vzpostavila dogajanja, ki ustrezajo zadnjim razvojnim ali prvim razpadnim fazam. Z drugimi besedami povedano bi to pomenilo, da je eroziji sledila akumulacija in obratno, da so se med obdobja bolj ali manj aktivne ponornice vrinjala obdobja njenega umika, ko sta rove zapolnila siga in grušč. Rovi se torej niso vedno starali, dostikrat so se tudi pomladili v tem smislu, da jih je ponornica ponovno erodirala. V Postojnskih jamah se takšni primeri večkratnega obnavljanja rogov odražajo v sedimentih in njihovem stratigrafskem zaporedju.

Speleogenetski procesi so bili razčlenjeni tudi v Cerkniškem jamskem sistemu, v ponorni Veliki in Mali Karlovici ter izvirni Zelški jami (R. Gospodarič 1970). To podzemlje ima drugačno vsebino kot Postojnski jamski sistem, način preoblikovanja vodnih in suhih rogov pa se je pokazal zelo podoben. Cerkniški sistem se združuje s postojnskim v Planinski jami, zato je tu pričakovati podoben razvoj rogov, saj gre za hidrološko povezano kraško podzemlje, ki se je pleistocenski klimi in geomorfologiji ter geološki zgradbi primerno razvijalo.

V pregledu dosedanjega znanja o razvoju jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem je možno spoznati več neraziskanih pojavov in nerešenih problemov.

1. Kot poglavitno neznanko moremo šteti Planinsko jamo. Tu poznamo sicer različno razsežne rove in delno tudi njihove hidrološke razmere, manj pa so znane tod ohranjene naplavine, njihovo razmerje do rovov, vodnega toka, sige in podornih skal. S preučitvijo teh pojavov bi morda lahko izvorni del podzemlja primerjali in vzporejali z nekoliko bolj preučeni ponornimi jamami na postojnski strani.

2. V jamah na postojnski strani kaže posvetiti večjo pozornost stratigrafski in petrografske razčlenitvi jamskih naplavin, tako imenovanemu flišnemu nasipu. Kje se najde, kakšen je in od kod izvira njegovo raznovrstno gradivo, vsega tega dosedanje raziskave še niso zadovoljivo pojasnile.

3. Jame na postojnski in planinski strani so se nedvomno razvijale ob določenih skupnih speleogenetskih procesih. Ni pa znano, kateri procesi so skupni, kateri pa omejeni in karakteristični le za posamezne jame.

4. Podzemlje se je razvijalo skladno z geološko zgradbo in geomorfološkim razvojem ozemlja Postojnskega krasa in okolice, kjer so se ponikalnice zbirale, ponikale in izvirale. Zato bi veljalo ugotoviti tiste dejavnike, ki so odmerjali izdatnost, sestavo in ohranjenost zgoraj omenjenega flišnega zasipa in odredjali zasipavanje in erodiranje fosilnih in recentnih vodnih rovov. To preučevanje lahko da odgovore na vprašanja o zvezi udornic na površju z jamami v podzemlju in o poteku rovov med Postojnskimi jamami in Planinsko jamo, ki obstajajo, a jih še ne poznamo.

5. Posebej bi veljalo izluščiti vse tiste podatke preučevanja, ki bi dopolnili dosedanje, v mnogih primerih problematično kronološko opredelitev sedimentov, razvojnih stopenj in speleogenetskih procesov, saj bi s tem lahko obogatili dosedanje skromno znanje o kvartarni geologiji jam Postojnskega krasa in tudi porečja Ljubljane.

METODE RAZISKOVANJA

Zbiranje podatkov za obravnavano temo je bilo vezano na določeno sposobnost obvladanja jamarske tehnike, na skupinsko delo in vremenske razmere. V podzemlju Postojnskega krasa je bilo mogoče raziskovati večinoma le ob nizki vodi s čolna, pa tudi v navezavi na lestvicah. Mnoge zanimive profile, stene ali strope v rovih pa sploh ni bilo mogoče doseči brez posebnih tehničnih pomagal. Mnogi profili naplavin so pokriti s sigo ali recentno naplavino in smo le z odkopavanjem videli njih obliko in sestavo.

Načelo superpozicije je bilo vodilo pri relativnem rasporejanju sedimentnih plasti. To zaporedje v navpičnem preseku pa ni bilo vedno zvezno, kajti mnoge, tudi debele plasti so se vodoravno in prečno na rov izklinjale, po dnu odloženi material pa je lahko segal ob stenah prav do stropa. V jamah najvišje ležeči material ni tudi vedno najmlajši, kot tudi ob vodnem toku najdeni sedimenti niso vedno najstarejši. V podzemeljskem sedimentacijskem okolju se naplavine odlagajo in erodirajo drugače kot na površju. V ponornih jamah so lahko naplavine iz iste dobe drugačne kot v izvirnih jamah.

Naslednja posebnost podzemeljskega okolja so kope in stalagmiti in skorje sige, ki čestokrat visijo s stropa ali sten, ker je erozija odnesla skalno ali sedimentno podlago. Lep primer je videti pri Sotočju v Planinski jami (tab. 13), kjer visijo kope sige tako rekoč v zraku, vpete le na strop, 10—15 m pod njimi

pa se v istem rovu pretaka današnja podzemeljska reka Pivka oziroma Unica. Ker so taki primeri pogosti v vsem jamskem sistemu, je bilo treba nekatere naplavine domnevati, čeprav jih v rovih ni več.

Po izvoru smo razlikovali alohtone in avtohtone jamske sedimente. To klasifikacijo uporablja S. Brodar (1966) za sedimente v Postojnski jami, uporabljajo pa jo tudi drugod po svetu npr. A. Bögli (1961) pri preučevanju jamske ilovice v švicarski jami Hölloch. Alohtoni so tisti sedimenti, ki so bili naneseni v podzemlje s ponornico iz nekraškega sveta, avtohtoni pa so tisti, ki so nastali v jami sami in niso doživeli nobenega vodnega transporta npr. siga, podorni grušč in drugo. Obe kategoriji sedimentov pa sta bili v jami sami večkrat prestavljeni, zato govori S. Brodar (1966, 116) o njih paravtohtoni legi. Preložitev naj bi bila pretežno vezana na pronicujočo kapnico in njene tokove. Ker pa je večinoma težko razlikovati, kdaj je transportirala kapnica in kdaj ponornica, bi o neki posebni kategoriji paravtohtonih sedimentov s posebno petrografsko sestavo in zrnastostjo težko govorili. Izraza paravtohtonost se večinoma izogibamo in ga uporabljamo le v enem primeru, pri apnenčevemrodu v Planinski jami, ki ga je iz neposredne bližine nanese ponornica v današnja nahajališča.

V speleološki literaturi poznamo več klasifikacij jamskih sedimentov (R. Gospodarič 1964). Skupno izhodišče vseh je razdelitev na klastične, kemične in organske jamske sedimente. V razpravi se bomo ukvarjali predvsem s klastičnimi fluvialnimi naplavinami alohtonega izvora, ker jih je največ in tudi največ povedo o paleohidrografskih razmerah v podzemlju Postojnskega jamskega sistema. Poleg njih bomo upoštevali tudi avtohtoni kemični sediment — sigo, v kolikor je stratigrafsko vključena med omenjene naplavine.

Iz številnih terenskih podatkov in analiz smo lahko ugotovili najprej posamezne, nato pa skupne naplavine in njihovo stratigrafsko zaporedje, nato pa lego in razmerje do vodnih in suhih rogov v ponornem in izvirnem delu obravnavanega ozemlja. Z medsebojnim primerjanjem in dopolnjevanjem teh podatkov smo nato poskušali ugotoviti skupne speleogenetske procese in končno skupne razvojne stopnje podzemlja. Takšno metodo korelacije je v speleologijo uvedel H. Riedl (1963), vendar le na podlagi preučevanja mikrooblik in avtohtonih sedimentov v eni jami (H. Riedl 1960; 1961), na splošno pa o njej in avtohtonih naplavinah govori H. Trimmel (1968, 68). Niti v domači, niti v svetovni speleološki literaturi pa ni najti primerov, da bi korelirali alohtone sedimente v tako razsežnem podzemlju kot je postojnsko in z njimi skušali ugotoviti razvojne stopnje ter nasploh nastajanje in razpadanje razsežnih kanalov v krasu med dvema kraškima depresijama. Takšen tip pretočnega krasa je značilen za kraško zaledje Ljubljani, kamor spada tudi Postojnski jamski sistem.

V domači speleološki literaturi je sicer dosti opisnega gradiva o jamah obravnavanega krasa, vendar le malo uporabnih podatkov o alohtonih naplavinah in metodah njih preučevanja. Dosti več je podatkov o avtohtonih sedimentih, katerih analize so posebno v paleolitske namene podrobno opisane in tudi pri nas uporabljane (E. Schmid 1958; F. Osole 1961; S. Brodar 1966).

Poznamo pa nekaj primerov preučevanja jamskih sedimentov iz ameriškega krasa.

W. Davies in E. Chao (1959) sta preučevala zrnnavost in mineraloško sestavo sedimentov v preko 200 km dolgi Mammoth Cave. Ugotovila sta različne naplavine, vendar le bežno nakazala njih sedimentološke in stratigrafske značilnosti. Bolj podrobno sta študirala primarne in sekundarne autigene minerale celestit, barit in sadro v ilovicah ter spoznala, da je z njih pomočjo možno razlikovati mlajše in starejše naplavine.

M. W. Reams (1968) je predvsem preučeval izvor in sedimentacijo pasovite rdeče ilovice v jamah Ozark platoja v zvezni državi Missouri. Ugotovitev, da se takšne ilovice odlagajo v poplavljenih jamah pri obdobjnih nevihtah v določenem časovnem intervalu, bo zanimiva za podobne pasovite ilovice v Postojnski in Planinski jami, o katerih bomo kasneje razpravljali.

Naslednje pomembno delo o sedimentaciji in kraških jamah je disertacija Th. E. Wolfa (1973), ki obravnava vzroke in procese naplavljanja klastičnih sedimentov v jame ob stiku propustnih in nepropustnih paleozojskih kamnin v krasu Allegheny platoja v osrednjih Apalačih Zahodne Virginije. Avtorjev metodološki pristop k preučevanju sloni na postavki, da po recentnih znanih dejstvih in procesih lahko spoznamo procese preteklosti, če so posledice teh procesov ohranjene. Na podlagi sheme

znano		neznano
sedimenti	neznano	voda
sed. strukture	proces	primarni sedimenti
oblika sed. telesa		način pretoka

je sklepal na neznane procese in pogoje sedimentacije ter jih za preiskano kraško območje tudi dovolj prepričljivo dokazal. Žal, je mogel sedimente preučevati le v ponornih jamah, ker v obravnavanem krasu ob reki Greenbrier skoraj ni dostopnih izvirnih jam. Tako ni mogel zasledovati sedimentacije vzdolž ene podzemeljske reke oziroma ponornice.

Druga pomanjkljivost metodološkega pristopa disertacije Wolfeja se kaže v tem, da recentni podatki o poplavih in vodni drenazi pojasnjujejo ledenodobne speleogenetske procese, ker avtor misli, da so bile klimatske in hidrografske razmere v zadnjih 200 000 letih v obravnavanem periglacialnem krasu razmeroma konstantne. To predpostavko ni mogoče zagovarjati, saj vemo, da so se klimatske razmere v mlajšem in srednjem pleistocenu na severno-ameriškem kot tudi na evropskem kontinentu spreminjale, z njimi vred pa tudi način in procesi jamske sedimentacije. Menimo, da je pri tovrstnem preučevanju treba ločeno obravnavati aktualistične procese in jih skrajno previdno primerjati s preteklimi historičnimi podatki oziroma procesi. Nakazanima pomanjkljivostima se na primeru Postojnskega jamskega sistema izogibljemo, tako da pretežno obravnavamo stratigrafijo jamskih sedimentov brez poskusov, da bi dosežene ugotovitve o speleogenetskih procesih primerjali z recentnimi procesi.

V jamskih sedimentih je Th. Wolfe ugotavljal zrnnavost in sortiranje, da je lahko sklepal na nekdanjo hitrost ponornice. To je ugotavljal tudi iz oblik in velikosti stenskih faset ter spoznal, da oblikovanje faset in odlaganje sedimentov časovno ne sovпада. V ilovicah je analiziral razmerje med kaolinom in ilitom ter pH kot pokazateljem humidne ali aridne klime.

Ob zbiranju in analizi gradiva se je pokazalo, da ne bo mogoče v doglednem času vseh najdb podrobno obdelati. Preučili smo zato najbolj značilne in pomembne profile in podatke, vse druge pa zabeležili in shranili za nadaljnje preučevanje.

V laboratoriju smo analizirali nad 200 vzorcev sipkega materiala alohtonih jamskih naplavin glede na njihovo zrnavost in petrografsko sestavo, delno smo ugotavljali tudi zaobljenost in sploščenost prodne frakcije.

Z električnim sejalnikom znamke VEB, Metallweberei, Orla, NDR, smo ločili suhe vzorce na posamezne frakcije proda in peska v mejah 0,02—0,5 mm, večje frakcije pa z dodatnimi siti s 5, 10, 15, 20 in 30 mm velikimi luknjicami. Frakcijo melja in gline smo že prej izločili z izpiranjem, ker si z njih analizo nismo obetali bistveno drugačnih rezultatov kot pri pregledu peska in proda, ki sta bila v središču zanimanja. Zabeležili smo le količino, ponekod tudi barvo te drobne frakcije. Nabrani vzorci pa so ohranjeni in arhivirani ter v bodoče na voljo za dodatne analize. Le za dva profila (slika 35) iz Postojnske jame je B. Neblova (1968) iz freiberške univerze določila zrnavost in mineralno sestavo melja in gline, ali kakor oboje skupaj imenujem — ilovice. Pri tem se opiramo na izrazoslovje S. Brodarja (1966), ki govori o jamski ilovici, o jamskem pesku in produ oziroma grušču kot o treh poglavitnih frakcijah v jamskih sedimentih, primernih za razlikovanje in medsebojno primerjavo.

Ugotovljeno zrnavost predstavljajo krivulje z razmejitvami med 0,02—2 mm za peščeno frakcijo, manjše frakcije štejemo k ilovici, večje pa k produ oziroma grušču. Kjer je bilo v enem profilu analiziranih več vzorcev in bi krivulje ne bile pregledne, prikazujejo razmerje med poglavitnimi frakcijami točkovni trikotni diagrami kot jih pogosto uporabljajo v petrografiji.

Pri petrografski analizi peska in proda smo makroskopsko in mikroskopsko razlikovali: flišne sestavine (lapor, peščenjak, kremen, sljudo in drugo), roženec, apnenec in limonitne sestavine (ooide, delce skorje, geode, cevke in drugo). Procentualno razmerje teh sestavin je prikazano v trikotnih diagramih. Kjer se je apnenčev prod ali grušč javljal kot bistveni sestavni del vzorca, smo ga upoštevali kot samostojno komponento. Če pa je bila apnena komponenta zastopana le s sigasto snovjo, smo jo iz vzorca ločili s solno kislino, kot samostojne komponente pa upoštevali fliš, roženec in limonit.

GEOLOŠKA ZGRADBA KRASA MED PIVŠKO KOTLINO IN PLANINSKIM POLJEM

STRATIGRAFSKI IN LITOLOŠKI PODATKI

(sliki 3 in 4)

Ozemlje med Pivško kotlino in Planinskim poljem ali Postojnski kras je severozahodni podaljšek Javornikov, ki ga gradijo kamnine jurske in kredne starosti. Postojnski kras dosežejo le spodnjekredne in zgornjekredne karbonatne kamnine. Na severni strani so pokrite s triasnim dolomitom (T_3^{2+3}), na zahodni

in jugozahodni strani ob Pivški kotlini pa z eocenskim flišem (E). Meja med spodnjo in zgornjo kredo poteka od Kačje vasi pri Planini proti jugu skoraj do Ravberkomande pri Postojni, kjer se obrne proti jugovzhodu na Javornike. Tako so Postojnske jame v zgornjekrednih, Planinska jama pa v spodnjekrednih kamninah.

SPODNJA KREDA

Litološko je to skladoviti in debeloskladoviti sivi apnenec z gnezdi dolomita, dolomitnih in apnenih breč. Apnančeve breče so lepo razgaljene v železniškem useku južno od Unca, vložki dolomita in breče pa v Planinski jami. Pri Sotočju te jame je med skladoma apnenca 3—4 m debela plast mokastega dolomita skupaj z oglatimi kosi temnosivega apnenca iz talnine. V začetku Pivškega rokava pa vidimo v breči na pol zaobljene, za pest velike oglate kose zrnatega, drobnoplastovitega in brečastega apnenca, kremenastega apnenca in dolomita v apnenem vezivu. Debelino teh breč je možno oceniti na 20 m. Posamezne leče pa vidimo tudi še drugod po tem rokavu.

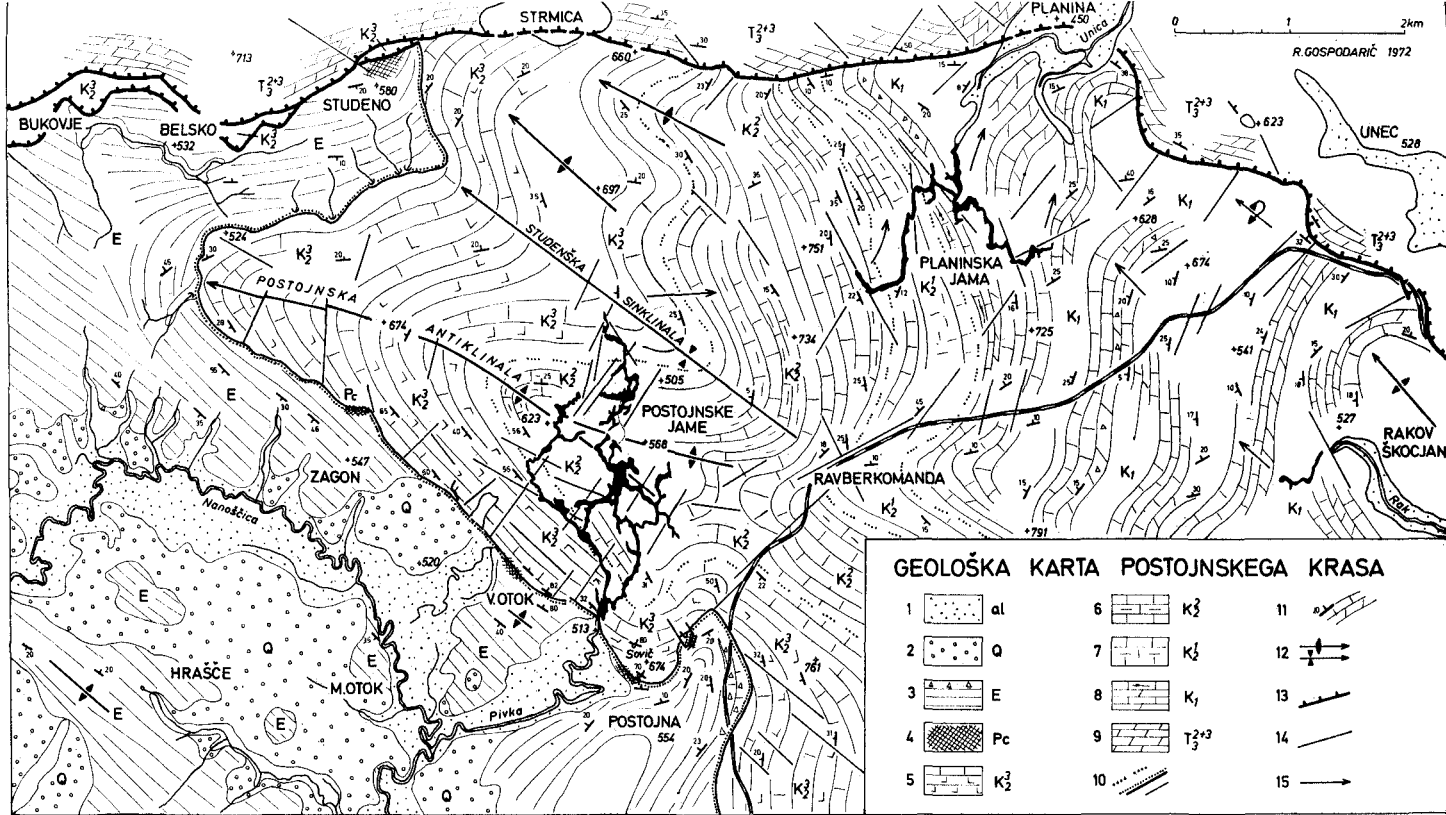
Spodnjekredno starost dokazujejo skromni ostanki rekvienij in nerinej ter številne miliolide. Pri Uncu so poleg miliolid še kuneoline, ki se po mnenju M. Pleničarja (1960, 55) in D. Turnškove (ustno poročilo) pojavijo šele v baremiju. Tako je možno reči, da je na preiskanem ozemlju in podzemlju razvit zgornji del spodnje krede.

Na prehodu spodnjekredne v zgornjekredno serijo nastopa 80 m debel horizont apnenca z rožencem. Vidimo ga na površju, še lepše pa pred sklepom Pivškega rokava Planinske jame (tab. 3 A). Iz stene rova molijo črne konkrecije nepravilnih oblik, ki so nekako razpotegnjene vzporedno z lezikami. Sveži odlom pokaže na siv, porozen, zelo krhek roženec. V zbrusku vidimo redke spikule spongij in drobne, nedoločljive foraminefere (analiza R. Pavlovca), po čemer je moč sklepati, da je roženec singenetski z obdajajočim apnencem. Vložek nekarbonatne snovi ni mogla voda tako zlahka korodirati in erodirati kot sosednji apnenec, na kar kaže tukajšnji del Pivškega rokava, ki je znatno manj razsežen kot sosednje pritočno in odtočno nadaljevanje.

ZGORNJA KREDA

Zgornja kreda se loči od spodnje krede po bogati favni, s katero je bilo mogoče razdeliti kamnine na več stopenj (M. Pleničar 1960, 129; 1962, 37), razvidnih tudi na geološki karti list Postojna 1 : 100 000 (1967).

Cenomanij ($K \frac{1}{2}$) se odlikuje po neskladovitem zrnatem apnencu s kapriidami in hondrodontami ter neitejami, ki so nekje tako pogostne, da sestavljajo kar zoogeno brečo (M. Pleničar 1963, 581). Na površju sledimo te kamnine v pol kilometra širokem pasu od planinskih serpentini proti jugu do Ravberkomande, od tod pa proti jugovzhodu na široki greben Javornikov. V podzemlju srečamo njihov spodnji del pri sklepu Pivškega rokava in v Paradižu, zgornji del stopnje pa pod zemljo ni dosegljiv, ker je zahodno nadaljevanje Paradiža zasuto, vodni rov pa je zalit z vodo. Stratigrafsko debelino lahko ocenimo na 150 m.



Sl. 3. Geološka karta Postojnskega krasa z vrisanim Postojnskim jamskim sistemom. 1 aluvialne naplavine, 2 kvartarne naplavine v Pivški kotlini, 3 lapor, peščenjak, konglomerat in breča, flišne kamnine — eocen, 4 apnenec, apnena breča, rdeči in sivi lapor - paleocen, 5 debeloskladoviti apnenec s keramosferinami, sabinijami in hipuriti - senonij in mastrichtij, 6 skladoviti in neskladoviti apnenec z rožencem in radiolitno favno - turonij, 7 neskladoviti apnenec in zoogena breča s kaprinidami in hondrodonti - cenomani, 8 skladoviti in debeloskladoviti apnenec, apnenec z rožencem in apneno brečo - spodnja kreda, 9 dolomit - zgornji trias, 10 geološke meje, 11 smer in vpad plasti ter izostrate, 12 gube, 13 narivni prelom, 14 prelomi, 15 smer podzemeljske reke

Fig. 3. Geological map of the Postojna Karst with Postojna Cave System drawn in. 1. alluvial deposits, 2 quaternary sediments in Pivka Basin, 3 marl sandstone, conglomerate and breccia, flysch rocks — Eocene, 4 limestone, limestone breccia, red and grey marl - Paleocene, 5 thick bedded limestone with Cheramospherinae, Sabiniae and Hippurites - Senonian and Maastrichtian, 6 bedded and nonbedded limestone with chert and radiolitic fauna - Turonian, 7 nonbedded limestone and zoogena breccia with Caprinidae and Chondrodontae - Cenomanian, 8 bedded and thickbedded limestone, limestone with chert and limestone breccia - Lower Cretaceous, 9 dolomite - Upper Triassic, 10 geological boundaries, 11 strike and dip of beds and isostrates, 12 folds, 13 over-thrust fault, 14 faults (wrenchfaults), 15 underground river direction

Turonij (K_2^2)

Na geološki karti list Postojna (1967) zarisani enotni turon-senonijski apnenec se je dalo razdeliti na posamezni stopnji z najdenimi keramosferinami in različno litološko sestavo apnenca. Turonijski apnenec najdemo zahodno od ceste Planina—Ravberkomanda tja do onkraj Travnega vrha (734 m), nato pa v območju Postojnskih jam. Med Ravberkomando in Postojno krene geološka meja na zahodno pobočje Javornikov.

V turonijskih skladih so radioliti najbolj številni fosili.

V spodnjem turoniju je skladoviti apnenec z rožencem, v zgornjem pa neskladoviti apnenec in skladoviti apnenec. V podzemlju Postojnske jame je horizont apnenca z rožencem debel najmanj 60 m, paket neskladovitega apnenca pa okoli 100 m. Turonijska stopnja ima skupno okoli 300 m debelo skladovnico.

V teh kamninah so izdobljeni domala vsi suhi rovi Postojnske jame, najbolj vzhodni Pisani rov seže celo v njegov spodnji skladoviti del. Horizont apnenca z rožencem je videti v rovih ob Veliki gori. Roženci so v nepravilnih lečah, tudi v dm debelih plasteh, ki so skupaj z apnencem močno nagubane. Rovi v apnencu z rožencem so manjši kot rovi v samem apnencu. V neskladovitem apnencu so današnji vodni sifoni podzemeljske Pivke, suhi rovi v ostali jami pa imajo ovalne oblike. Tektonski procesi so ta apnenec razsekali s pogostnimi navpičnimi razpokami in prelomi, ki so pri mehaničnem preperevanju površja omogočili nastajanja grušča ob udornicah npr. Črni jami, Vodnem dolu in drugih.

Senonij (K_2^3)

Brez izrazite meje prehaja turonijski apnenec v senonijskega, ki ga najdemo v zahodnem in jugozahodnem delu Postojnskega krasa. V zrnatem debeloskladovitem apnencu te stopnje so številne foraminifere vrste *Keramospherina tergestina* Stache. Našli smo jih v apnencu okoli Pivke jame, nad Zagonom in Velikim Otokom ter ob cesti, ki vodi iz Postojne na Javornike. Bogato je tudi nahajališče v apnencu pri Plesni dvorani v Postojnski jami. Mejo med senonijem in turonijem smo začrtali tam, kjer se keramospherine več ne pojavljajo. Po ugotovitvah S. Buserja (1965, 133) pripadajo namreč skladi s keramospherinami v slovenskih Dinaridih že zgornjemu delu santonija in kampanija.

Zgornje senonijske plasti z debeloskladovitim apnencem pripadajo že mastrichtiju. To dokazuje hipurit *Hippurites giordanii* Pirona, ki smo ga našli v apnencu hriba Soviča (671 m) nad Postojno, določil pa ga je M. Pleničar (1962, 63). Tudi številne sabinije v apnencu pri postojnski železniški postaji so po ustnem poročilu M. Pleničarja verjetno iz zgornjega dela zgornje krede.

Skladovnica senonijskega apnenca je debela najmanj 500 m, njene prave debeline pa ni mogoče ugotoviti, ker so bile kamnine, preden jih je pokril eocenski fliš, delno erodirane.

V senonijskem apnencu so vse ponorne jame Postojnskega krasa, pretežni del Podzemeljske Pivke in tudi Pivka jama.

TERCIAR

Po geološki karti lista Postojna (1967) leži na krednih kamninah Postojnskega krasa eocenski fliš Pivške kotline. Med Postojno, Zagonom in Studenim pa so R. Gospodarič in sodelavci (1967) ugotovili ostanke rdečega laporja, breče in konglomerata ter operkulinskega apnenca s paleocensko favno. Zato so sklepali, da se je v spodnjem in srednjem paleocenu sedimentiral v severnem delu Pivške kotline rdeči lapor, v južnem in srednjem delu kotline okrog Prestranka in Pivke so se istočasno odlagali sedimenti liburnijske serije, na prehodu obeh majhnih sedimentacijskih bazenov pa je nastajala obrežna breča. Podobne paleogeografske razmere so vladale še v zgornjem paleocenu, nato pa se je morje za kratko umaknilo, da bi se v srednjem cuisiju ponovno vrnilo in začelo sedimentirati flišne kamnine vse od zgornjega eocena. Eocensko morje je prekrilo tudi ozemlje Postojnskega krasa. Eocenski fliš je danes ohranjen le v Pivški kotlini. Po sestavi je podoben flišu drugod v jugozahodni Sloveniji, saj vsebuje lapor, peščenjak, kalkarenit in druge klastične sedimente. To so v primerjavi z apnencem nepropustne kamenine, ki so omogočale razvoj površinske vodne mreže, ponirajoče reke pa so s flišnim drobirjem kasneje izvotlile, zasipale in ponovno izpraznile kraške jame na obodu Pivške kotline predvsem v Postojnskem kraju.

KVARTARNE NAPLAVINE

Geološka karta lista Postojna (1967) prikazuje v Pivški kotlini holocenske nanose rek in potokov (Pivke in Nanoščice s pritoki) ter melišča pod pobočjem Nanosa. Po podatkih S. Brodarja (1951), A. Melika (1955) in F. Habe & F. Hribarja (1965) so v ravninah ob potokih, na pobočjih in terasah vzpetin ohranjene tudi pleistocenske naplavine. Pri sondiranju za novi most preko Pivke pred Postojnsko jamo je bila 2—3 m pod površjem ugotovljena ilovica s pelodom iz srednjega würma (A. Šercelj 1970). Pred ponornim robom slepe doline Risnik pri Velikem Otoku sta R. Gospodarič & P. Habič (1966) ugotovila teraso roženčevega proda domnevno riške starosti. Če k tem podatkom dodamo še najdbe flišnega zasipa v obrobni jamah (S. Brodar 1952; 1966; 1970) potem je na dlani, da je v Pivški kotlini pričakovati mnogo več kvartarnih naplavin kot jih poznamo doslej.

Pri novejšem kartiranju površja in pregledu izkopov za vodovodno napeljavo med Postojno in Pivko ter avtoceste Postojna—Razdrto smo zares zasledili dosti klastičnih pleistocenskih naplavin. O njih bomo govorili v sklepnem poglavju skupaj z jamskimi sedimenti.

TEKTONSKA ZGRADBA POSTOJNSKEGA KRASA IN OKOLICE

Najbolj izrazite strukture Postojnskega krasa so Postojnska antiklinala in Studenska sinklinala ter Predjamski nariv.

Obe gubi s smerjo NW—SE sta zelo jasno izraženi v kamninah zgornje krede na postojnski strani. Skupaj z apnencem toneta proti NW pod eocenski fliš pri Belskem in Studenem, proti SE, onkraj Ravberkomande pa se zgubljata v mo-

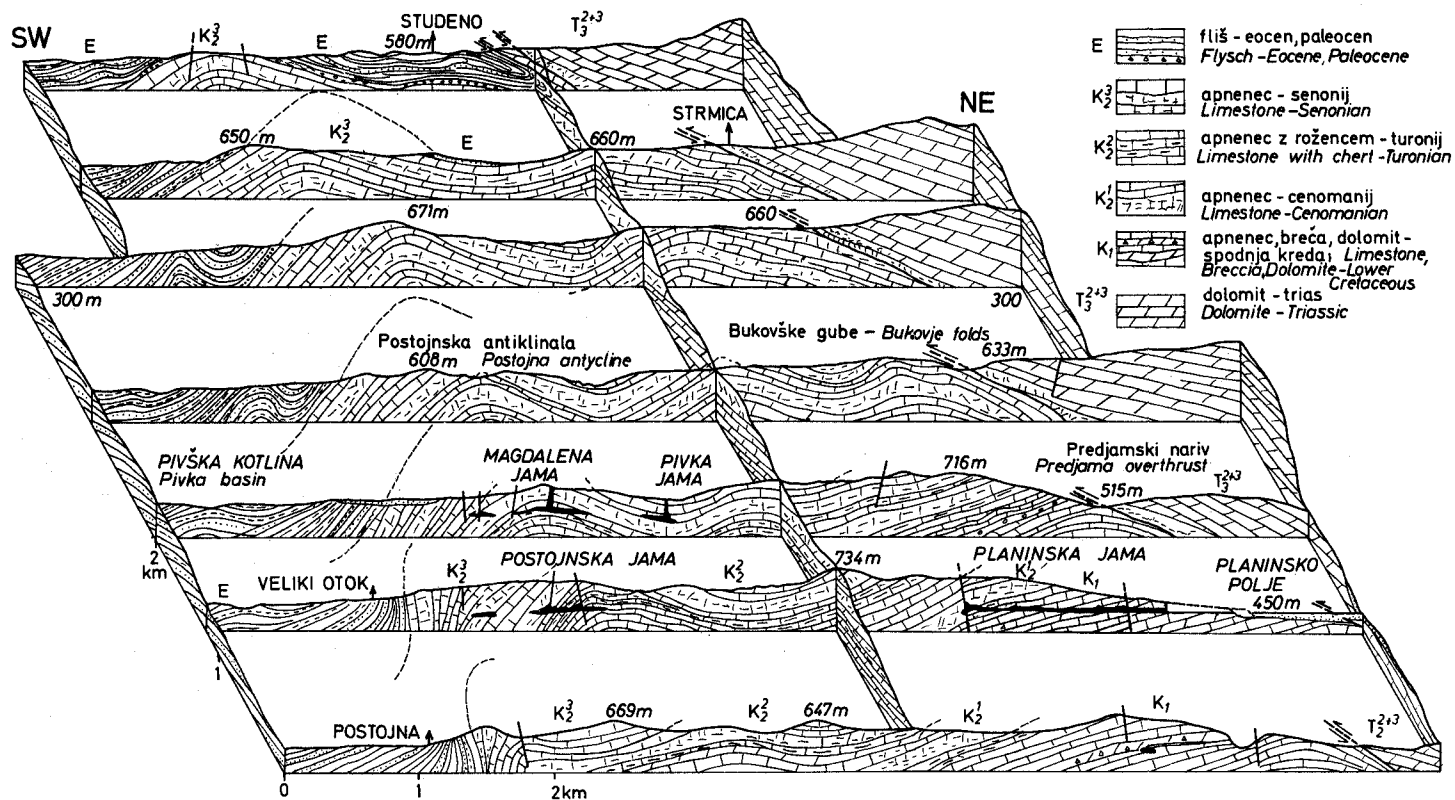
noklinalni strukturi Javornikov. Postojnska antiklinala ima SE vergenco, njeno SW krilo je bolj nagnjeno kot NE krilo. V območju Postojnskih jam se guba cepi v dve veji. Ena veja prečka Umetni rov med Črno jamo in Postojnsko jamo ter sklep Pisanega rova, druga poglavitna pa Magdaleno jamo, Perkov rov, Lepe jame, Čarobni vrt in začetek Pisanega rova. Večina prehodnih rogov je v jugozahodnem strmem krilu gube; ob njenem temenu so podobne dvorane npr. dvorana v Magdaleni jami, Velika gora, v severovzhodnem krilu pa sklenjeni in enotni rovi Črne in Pivke jame. Sklep Pivke jame se že bliža osi Studenske sinklinale, ki jo sicer lahko ugotavljamo samo na površju v območju udornic Vodnega dola, Kozje doline in Jeršanove doline. V tej strukturi so podzemeljski prostori porušeni, vodni kanali pa niso dostopni.

Razpoke v Postojnski antiklinali so znatno bolj pogostne v temenu kot na krilih. Razvita sta sistema NW—SE in NE—SW smeri ter še dodatni sistem v smeri N—S (R. Gospodarič 1969). Podobne smeri imajo tudi številni prelomi, ki sečejo gubo vzdolž in počez. Na njihovih zelo strmih ali navpičnih prelomnih ploskvah so najbolj pogostne \pm vodoravne raze, kar pomeni, da imamo opraviti z zmiki.

V območju Planinske jame so skladi spodnje krede položno nagnjeni proti zahodu, jugozahodu in severozahodu. Tudi njih sečejo zmiki NW—SE in SW—NE smeri. Zato velja ugotovitev, da so mlajši zmiki prelomili starejšo nagubano strukturo Postojnskega krasa.

Postojnski kras je sicer sestavni del tektonske enote Visokega krasa. Narivni rob Visokega krasa med Sočo pri Solkanu na severozahodu in Kvarnerskim zalivom na jugovzhodu se večinoma jasno odraža v morfologiji, le za predel med Postojno, Razdrtim in Pivko, kjer govorimo o Pivški kotlini, tega ne bi mogli reči. Pri Postojni so deli Postojnske antiklinale le v strmem in prevrnjenem stiku s flišem, bližnji Orehovški kras ima prelomljene in na fliš nagnjene gube paleocenskega in zgornjekrednega apnenca (R. Gospodarič & F. Habe & P. Habič 1970 c), pri Pivki pa je kartiranje pokazalo tudi le obrnjene paleocenske plasti na eocenskem flišu. Te premaknitve so le skromne v primerjavi s tistimi ob severnem (pri Bukovju in Studenem) in severozahodnem robu Pivške kotline, kjer mezozojske kamnine Nanosa in Hrušice nedvomno ležijo na flišu. Zgornjetriasni dolomit Hrušice pokriva tudi Postojnski kras med Studenim, Planino in Uncem ob predjamskem prelomu. Ta prelom, ki ima nedvomno narivni značaj, je bolj podrobno kartiral F. Kossmat (1897), J. Rus (1925, 107) pa ga je imenoval za predjamskega. To ime je v tolmaču h geološki karti lista Postojna (1970, 39 in 42) uporabljeno za zmični prelom med Predjamo in dolino Bele. Ker menimo, da je treba upoštevati načelo prioritete, uporabljamo za obravnavano dislokacijo prvotno ime, ki je v geološki in drugi literaturi tudi najbolj znano in ga ne kaže spreminjati.

Za Postojnski kras bi bilo nedvomno zelo zanimivo ugotoviti, kolikšen njegov del je bil prekrit s triasnim dolomitom Hrušice in kje je potekalo njeno prvotno narivno čelo. Na Postojnskem krasu zaenkrat ne poznamo kakšnih tektonskih krp triasnega dolomita ali jurskega apnenca, ki bi takšno rekonstrukcijo omogočile. Kilometer južno od Bukovja, pri Šmihelu v Pivški kotlini, pa poznamo na flišu 1 km² veliko tektonsko krpo triasnega dolomita, jurskega in krednega apnenca. Ta krpa je bila prvotno sestavni del Hrušice oziroma Nanosa, kasnejša erozija pa je povezavo prekinila. Če privzamemo, da je južni



Sl. 4. Postojnski kras, geološki profili z vrisanim Postojnskim jamskim sistemom
 Fig. 4. The Postojna Karst, geological sections with Postojna Cave System drawn in

rob šmihelske krpe tudi del prvotnega naravnega roba Hrušice, potem so njene kamnine lahko prekrivale eocenski fliš in kredne kamnine Postojnskega krasa v kilometer širokem pasu južno od današnjega Predjamskega nariva. Tudi od tod so bile kasneje erodirane (R. Gospodarič 1969).

PODATKI O GEOMORFOLOŠKEM IN HIDROGRAFSKEM RAZVOJU

Postojnski kras so študirali F. Kossmat (1916), N. Krebs (1924) in A. Melik (1928) kot morfološko depresijo Postojnskih vrat skupaj z razvojem Pivške kotline. Osrednja diskusijska tema je zadevala vprašanje ali je možno, da je predhodnica Pivke v pliocenu tekla proti današnji Vipavski dolini, kot je trdil F. Kossmat ali pa je že od nekdaj tekla po ohranjenih dolinah proti Planinskemu polju, kot je menil A. Melik.

Melikovo domnevo je I. Gams (1965) sprejel kot pogojno s tem, da so suhe doline in njih fluvialni sledovi korozijsko preoblikovani v nižjo Postojnsko stopnjo (do 600 m nadm. višine) in višjo Planinsko stopnjo (okoli 700 m nadm. višine). P. Habič (1968) zastopa mišljenje, da se je površje Postojnskega krasa oblikovalo v mlajšem terciarju, morda tudi v pleistocenu v odvisnosti od vsakokratne flišno-apnenčeve meje.

Geomorfološke študije A. Melika (1951; 1955) in P. Habiča (1968) obravnavajo Postojnski kras v pleistocenu kot periglacialno področje s skromno vegetacijo.

I. Gams (1965, 89) meni, da je današnji kraški relief nastajal v kvartarju ob subarktični klimi s pogostnimi pojavi permafrosta. Znake soliflukcije v jamskih sedimentih Betalovega spodmola in Parske globine sta S. Brodar (1960, 40) in F. Osle (1961, 468, 470) ugotovila v riškem glacialu in zadnjem würmskem stadialu, medtem ko A. Šercelj (1970, 240) meni, da fosilni pelod v ilovici kaže na vegetacijo, ki ne dopušča v würmu stalno zamrznjenih tal.

O pleistocenski klimi v Pivški kotlini dosti razpravlja A. Melik (1955) v zvezi z njeno ojezeritvijo. Pivško jezero je moglo po njegovem obstajati v nekem glacialu, kajti poledenitvi v Alpah je ustrezala ojezeritev v periglacialnem območju Pivške kotline in Planinskega polja. Ojezeritev je nastopila, ker je mehanski drobir fliša in apnenca zamašil ponorne jame (l. c. 1955, 83). Drobir je nastajal ob okoli 10 stopinj nižji letni temperaturi kot jo imamo danes in ob vegetaciji, kjer je gozd prehajal v stepo. Gladina jezera je morda občasno dosegla najvišjo koto 578 m. Posredno je povedano, da so vse jame starejše od ojezeritve, se pravi, da so staropleistocenske ali mladopliocenske.

Planinsko polje in jame na njegovem obrobju so se po A. Meliku (1955, 89) podobno razvijale kot ob Pivški kotlini, čeprav za to mnenje ni mogel navesti ustreznih jezerskih sedimentov, niti zgornje meje domnevne ojezeritve. Pravi pa, da bi v Planinski jami lahko bili ohranjeni ti dokazi.

Na geomorfološki razvoj Pivške kotline v pleistocenu veže A. Melik (1955, 68) tudi današnjo obliko hidrografske mreže. Vsi manjši in večji potoki v različnih višinah bi naj bili vezani na obliko, obseg in temeljno dno pleistocenskega jezera in sedimentov.

Današnja hidrografska mreža Pivške kotline je bila v zadnjem času že večkrat prav podrobno opisana (P. Habič 1968; F. Habe 1970), zato podajamo

tu le nekaj podatkov o poglavitnih ponikalnicah, ki oblikujeta podzemlje, o Nanoščici in Pivki.

Nanoščica se vije po severnem delu Pivške kotline med Razdrtim in Malim Otokom pri Postojni. Zbira izvirno vodo izpod Nanosa in dela Orehovskega krasa ter tudi večino padavin, ki jih pade povprečno 1550 mm letno.

Pivka priteče iz južnega in srednjega dela Pivške kotline. Na tej poti sprejema občasno izvirno vodo Javornikov in Orehovskega krasa. V krednem in paleocenskem apnencu južno od Prestranka delno ponikne, severno od Prestranka pa se vedno zadržuje in pretaka v meandrih po flišu in pleistocenskih sedimentih proti severu. Pri Malem Otoku se zlije z Nanoščico in skupaj z njo ponikne v vodne rove Postojnskega krasa.

V Postojnski kras ponikajo še Studenske ponikve, južno od Studenega, Osojščica južno od Belskega in Črni potok pri Velikem Otoku. Skupaj s ponikalnicama Pivko in Nanoščico pripadajo črnomorskemu porečju.

Ponikve med Belskim, Predjamo in severno od Šmihela, ki izginjajo pod Hrušico in Rakuljščica pri Sajevcih so že sestavni del jadranskega porečja. Del črnomorsko-jadranske razvodnice poteka torej po Pivški kotlini, zato jo F. H a b e (1970, 11) imenuje »hidrografske streho« Notranjskega krasa.

Hidrografske razmere v podzemeljski Pivki je opisal I. Michler (1959), z njenimi jamskimi pritoki pa se je bolj podrobno ukvarjal I. G a m s (1966). V starejšem delu A. Š e r k a (1946) so navedeni podatki o minimalnih in maksimalnih pretokih, o strmcu in o izvedenih barvanjih Pivke.

Količine akumulirane nizke vode v vodnih rovih Postojnskega jamskega sistema je ugotavljal R. G o s p o d a r i č (1969 b). Pri tem je spoznal, da se v ponornih vodnih rovih na postojnski strani zadržuje trajno manj vode kot v izvirnih rovih na planinski strani zato, ker so vodni rovi na ponorni strani manjši in bolj zasuti, medtem ko so na izvirni strani večji, naplavine pa bolj erodirane.

Po Pivškem rokavu Planinske jame teče Pivka in se pri Sotočju te jame združi z Rakom iz Rakovega rokava. Obe ponornici se skupaj zlivata na Planinsko polje kot Unica. Če so hidrografske razmere v Pivškem rokavu dokaj jasne, pa so v Rakovem rokavu tako zamotane, da jih kljub vztrajnemu prizadevanju še do danes ni uspelo pojasniti (I. Michler 1955; R. Savnik 1960; I. G a m s 1966; P. H a b i č 1969). Tu se namreč mešajo vode Javorniškega toka iz Javornikov in Raka iz Cerknškega polja ter tečejo skupaj proti izvirom v Malne in proti današnjemu jamskemu vhodu. Kanalov, ki to različno vodo v rokav dovajajo, še nismo našli.

SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI POSTOJSKEGA KRASA

Speleološki podatki o Postojnskem krasu so v precejšnji meri že objavljeni. Pred l. 1945 objavljena dela vsebujejo predvsem podatke o Postojnski jami in Planinski jami, po l. 1945 pa je I. Michler opisal dosti tukajšnjih jam v Proteusu in Acta carsologica SAZU (glej literaturo) ter v zapisnikih, ki jih hranita Inštitut za raziskovanje krasa SAZU v Postojni in Jamarska zveza Slovenije v Ljubljani. Seznam jam je objavil kasneje še I. G a m s (1965).

Za zastavljeno nalogo se je pokazalo potrebno na novo pregledati in preveriti ohranjene podatke in iz njih izluščiti tisto gradivo, ki bi koristilo pri razlagi razvoja jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem. Pri sestavi slik 6 in 7. ki prikazujeta prostorsko lego jam, smo uporabljali sledeče gradivo:

- morfološke podatke najbolj razsežnih vodnih in suhih jam, zbrane pri novjšem kartiranju za Speleološko karto Slovenije, lista Vrhnika 2 c in 2 d,
- morfološke podatke o jamah iz zapisnikov in načrtov,
- topografsko osnovo v merilu 1 : 25 000 1. Vrhnika 2 c in 2 d, ki zajemata Postojnski kras in novo topografsko karto za okolico Postojne v merilu 1 : 5000 in

- načrte Postojnskega jamskega sistema v merilu 1 : 500 in 1 : 2500, ki so jih napravili Gallino, Petrini in Sartori v l. 1933/34, kasneje pa dopolnili I. Michler in F. Hribar. Topografska podlaga za Planinsko jamo je bila preverjena z novo izmero Rakovega rokava l. 1969 pod vodstvom geodeta J. Vidmarja iz ljubljanskega Geodetskega zavoda (P. Habič 1970). Pokazalo se je, da ima italijanski načrt za 5 m višje absolutne kote poligonskih točk. Ker je Vidmarjev poligon nedvomno bolj zanesljiv, smo vse kote Pivškega rokava popravili za 5 m. S to korekturo so postali številni hidrološki, morfološki in sedimentološki pojavi v obeh rokavih Planinske jame, kot bomo videli kasneje, znatno bolj skladni, kot so bili poprej.

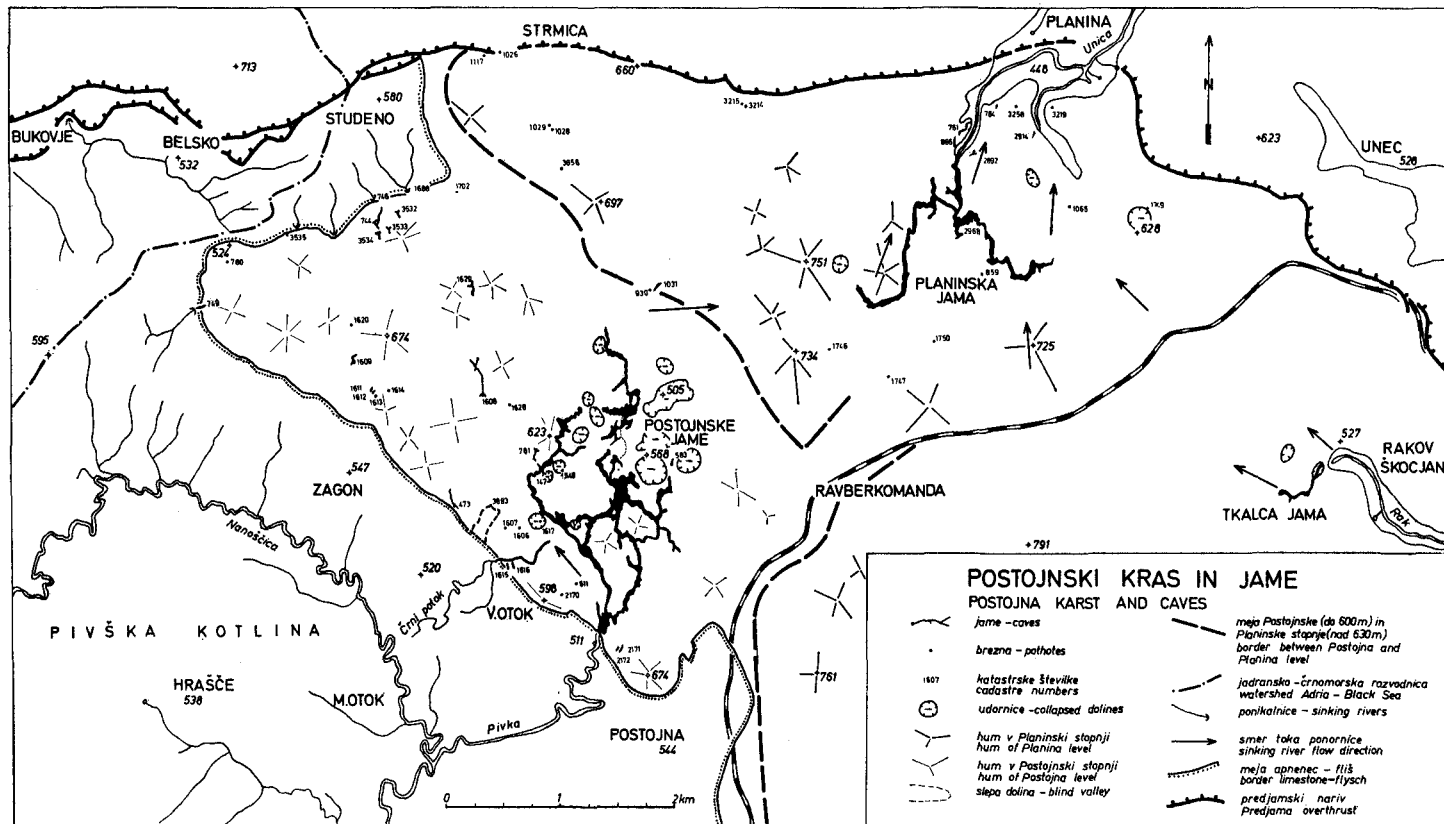
V območju Postojnskega krasa poznamo doslej 60 jam različnih tipov in razsežnosti. Največ jih je pod površjem Postojnske stopnje (600 do 630 m), ki zajema 4 km širok pas Postojnskega krasa ob Pivški kotlini (sl. 5). V višji Planinski stopnji (nad 630 m) je podzemlje manj izvotljeno; tu se razteza le Planinska jama. Do obeh različno starih površij, njunih kop in depresij so speleološki objekti v določenem prostorskem razmerju, kar je razvidno na sl. 6.

Številne jame v Postojnski stopnji so ostanki vodoravnih ponornih rovov, ki so danes večinoma podrti ali zasuti s sedimenti. Dostopni so skozi manjša korozijska brezna ali udrti strop. Pri razvrstitvi v shematski prikaz na sl. 6 je bila merodajna višina vodoravnih odsekov jam oziroma njihovo skalno dno. Jame so sestavljene iz enega, dveh in tudi več nivojev, ki jih marsikje povezujejo poševni, špranjasti rovi. Posebej smo zabeležili nekaj navpičnih brezen, ki se končajo v višini vodoravnih rovov. Prehodne in zvezne rove Postojnskih in Planinske jame smo ponazorili s posameznimi stolpci. Zarisali smo tudi današnje globine udornic in višino stropa nekaterih podornih dvoran.

KRATEK OPIS JAM

Kat. št. Jama v Hrenovških talih
 1031 d(olžina) 58 m,
 g(lobina) 9 m,
 z (nadm. v. vhoda) 630 m
 tip jame: poševna jama

Jama leži najvišje v Postojnskem krasu že v območju Planinske stopnje. Načrt izdaja poševno jamo s tremi vhodi v preluknjanem stropu, ki ni debelejši kot meter. Ker se naklon edinega rova približuje naklonu skladov senonijskega apnenca, je jama bržkone korodirana ob plasteh in z nekdanjimi ponikalnicami Pivške kotline nima zveze.



Sl. 5. Postojnski kras in jame, poenostavljena morfološka skica
 Fig. 5. The Postojna Karst and caves, simplified morphological sketch

- 1609 Čednikova kašča
d - 135, g - 26,5, z - 617, 338
poševna jama

V kopi Postojnske stopnje ležeča jama ima en vhod v pretrtem stropu, drugega ob udornici. Poteka ob treh prelomih N—S smeri, ki so v tem delu SW krila Postojnske antiklinale in blizu meje fliš-apnenec zelo pogostni. Ob prelomih sta zgornji in spodnji rov jame bila povezana pri mlajšem korozijskem preoblikovanju. Po obliki je jama podobna zgoraj omenjeni.

- 1620 Repnik
d - 5, g - 27, z - 625,3,
brezno

Brezno je v soseščini Čednikove kašče in sega z doseženo globino do višine njenih spodnjih rogov.

- 1611 Mejamah 1
d - 40, g - 16,5, z - 592,4,
poševno brezno

Jamski vhod v podrtem stropu vodi v domala vodoravna rova na višinah 584 m in 576 m. Spodnji rov je mogoče vezati na bližnji jami.

- 1612 Mejamah 2
d - 22, g - 22,5, z - 590
poševno brezno in

- 1613 Mejamah 3
d - 5, g - 17, z - 595
poševno brezno,

ki dosežeta z dnom višino 570 m.

V zapiskih o teh jamah omenja I. Michler erozijske kotlice in fasete, ki bi jih naj izdelala ponirajoča voda. Pri ocenjevanju erozijskih morfoloških oblik pa se ne smemo prenačljiti, kajti pri dolgotrajnem korozijskem preoblikovanju so bili eventuelni erozijski znaki močno spremenjeni in jih je težko zanesljivo ugotoviti. Upoštevati moramo tudi dejstva, da današnje ponikalnice izginjajo v kras skoraj 100 m niže, tako da je površje Postojnske stopnje z jamami vred že dolgo dobo, morda ves pleistocen izpostavljeno predvsem korozijskemu zniževanju. Mnoge jame so povsem izginile, ohranjene pa so se zelo spremenile.

- 611 Jama v borovcih
d - 10, g - 4, z - 582
poševna jama

je za grebenom nad Velikim Otokom ohranjena kot ostanek večje votline. Njeno dno je zasuto s podornimi skalami.

Vse dosedaj omenjene jame imajo poševne rove, ki se prilagajajo lezikam in rupturam. Zveza s površjem je povsod sekundarna, korozijsko preoblikovanje povsod prevladuje. Jame so razporejene v višinah med 630—550 m v planinski in postojnski stopnji. Do višine 550 m ne poznamo tu daljših vodoravnih rogov, ki bi kazali na nekdanji odtok kakšne ponikalnice. Pod višino 550 m pa smo priča prav obratnim razmeram. Vodoravne jame se znatno zgostijo predvsem

blizu ponornega roba, pa tudi več kilometrov stran sledimo ostanke nekdanjih pretočnih jam.

- 1616 Jama 2 nad Lekinko
d - 42, g - 1,5, z - 549
vodoravna jama

je prva v skupini jam v bregu ponornega roba pri Velikem Otoku. Njen 2×2 m velik skalni rov ima znake podornega kanala.

- 1548 Spodmol pri Koliševki
d - 4, g - 0, z - 551
spodmol

je skromen ostanek večje votline na robu udornice.

- 1606 Veliki Lončarevec
d - 15, g - 4,5, z - 546,5
spodmol

- 1619 Jama v Kukčjem laz
d - 30, g - 9,5, z - 546
stopnjasto brezno

- 1607 Mali Lončarevec
d - 28, g - 6, z - 538
spodmol

so ostanki rogov s skalnim dnom med 540—532 m, ki so s površjem zvezani s sekundarnimi, više ležečimi vhodi.

- 1615 Jama 1 nad Lekinko
d - 38, g - 4,5, z - 531,4
jama z vhodnim breznom

spada že k nekdanjim poglavitnim ponornim horizontom Otoške in Postojnske jame.

- 2171 Hauptmanov kevder
d - 22, g - 1, z - 543
vodoravna jama

je možno smatrati za ostanek ponornega kanala nad nanašnjim ponorom Pivke. Kevder ima skalno dno pokrito s flišno naplavino, ki jo je izkopaval S. Brodar do globine 540 m, ne da bi dosegel skalno dno. To je bržkone nakazano v sosednji

- 2172 Ciganski luknji — Jami brez imena
d - 14, g - 4, z - 539
vodoravna jama.

Ta višina izvotlitve je vidna že tudi v zgornjih suhih rovih Postojnske jame. Tudi s sedimenti zapolnjene luknje, ki so jih odkrili pri nadelavi useka za hotelsko poslopje l. 1969 so ostanki ponornih rogov, ki so se oblikovali istočasno s poglavitnim ponorom Pivke na 529—535 m. Takšno, s sedimenti zapolnjeno luknjo posebej obravnavamo na strani 85.

- 473 Betalov spodmol
d - 171, g - 8, z - 532
vodoravna jama

ima višji požiralnik na 540 m, niže pa več skalnih polic. Izrazita polica na 532 m je poglobljena najmanj za 6 m. Tu vidimo zvezno poglobljen skalni ponor, kakršnega smo zaslužili med Hauptmanovim kevdrom in Cigansko luknjo ter nižjimi, s sedimenti zapolnjenimi luknjami. V večjem obsegu in daleč v notranjost krasa so podobne zveze ohranjene v rovih Postojnske jame, posebno pa v Otoški jami.

- 147 Jama Koliševka
d - 246, g - 29, z - 556
vodoravna jama

ima vodoravne odseke na višini 535 m in 527 m.

- 1610 Jama nad Risovcem
d - 10, g - 10,5, z - 547
poševno brezno

je tudi ostanek ponora. Tudi bližnji spodmol Risovec (kat. št. 3883) ima po S. Brodarju (1970, 282) skalno dno na 531 m, pa je možno njegovo nadaljevanje videti v Jami Koliševki oziroma Ledeni jami pod Magdaleno goro. V spodmolu je S. Brodar odkopal alohtone sedimente in jih pripisal 2. (akumulacijski) razvojni fazi iz konca mindel-riškega interglaciala.

- 781 Ledena jama pod Magdaleno goro
d - 145, g - 46, z - 575
poševno brezno

je mogoče preoblikovano s podori in zakrito s sigo. Vendar je možno na višini okoli 550 m domnevati starejši uravnani rov, ki je poglobljen z nizkim rovom do prostora na okoli 530 m. To je že višina vodoravnih rogov, ki se na gosto javljajo ob ponornem robu Postojnske stopnje.

- 1608 Kotova jama
d - 322, g - 45, z - 583
vodoravna jama z vhodnim breznom

je kilometer oddaljena od meje fliš — apnenec. Skalno dno na višini 548 m je poglobljeno na 538 m in še niže. Razteza se v enem rovu v smeri N—S in ima očitno morfologijo pretočne jame. Vhodno brezno je sekundarno ob korozijsko razjedenem in prelomljenem apnencu. Opraviti imamo z delom nekdanje aktivne jame iz dobe, ko so ponikalnice izginjale v ponorni rob na višini okoli 550 m. Jama 2 nad Lekinko, Spodmol pri Koliševki in zgornji del Magdalene jame so morda podobni relikti. Poglobitev na 538 m pa že dosega ponorni horizont Beta-lovega spodmola, ki je Kotovi jami najbližji fosilni ponor. Tudi sosednje brezno

- 1614 Jama v Osredku
g - 51, z - 581,7
stopnjasto brezno

seže z izmerjeno globino do tega ponornega horizonta.

- 1629 Medvedja jama
d - 88, g - 33, z - 540,7
jama z breznom

je enako oddaljena od meje fliš-apnenec pri Zagonu in južno od Studenega. Njen vodoravni rov na višini 515 m z vsemi odlikami starega rova (siga, ilovica) se zdi po nastanku bolj primerno vezati na ponikanje vode iz studenske (severne) kot pa zagonske (zahodne) strani.

- 744 Beloglavka
d - 300, g - 50, z - 560
poševna jama

je najdaljša jama v zakraseli uravnavi južno od Studenega. Od meje fliš-apnenec je oddaljena 200 m. Njen vhod je sekundaren ob prelomu, bolj vodoravni del jame pa poteka v višini okoli 540 m v smeri N—S. Tu so poleg sige ohranjeni flišni prodniki in ilovica. Proti severu nagnjeni poglavitni rov doseže nadmorsko višino 515 m, kjer še nastopa visoka voda najbližje ponikalnice Jelovec, ki ponika na višini 540 m. Vidimo, da se današnji ponorni rov kmalu za ponornim robom zelo poglobi. Zato je zgornji rov Beloglavke verjetno izdelala ponikalnica, ki je izginjala v više ležeči in ponornem robu bližnji ponor kot danes. Dosežena globina 515 m v Beloglavki je prav taka kot v 700 m oddaljeni Medvedji jami. Ker se ujemata tudi njuni morfologiji, gre morda za istodobno nastajanje ob isti ponikalnici.

Poleg Beloglavke so še jame:

- 3532 Jama 1 v Bezgovcu
d - 54, g - 10, z - 555
poševna jama,

- 3533 Jama 2 v Bezgovcu
d - 66, g - 20, z - 558
poševna jama in

- 3534 Jama 3 v Bezgovcu
d - 24, g - 14, z - 554
poševna jama

kot ostanki ponornega rova na 540 m.

Ob recentnih ponikalnicah pod Studenim pa so dostopne:

- 3535 Štrukljev jarek
d - 10, g - 17,5, z - 543
brezno z jamo,

- 746 Požiralnik v Jelovcu
d - 12, g - 1,5, z - 541
ponorna vodoravna jama,

- 1688 Ponikva pri Studenem
d - 30, g - 10, z - 532,5
ponorna poševna jama,

ki kažejo na velik strmec skalnega požiralnika takoj pod površjem.

- 740 Osojca
d - 65, g - 1, z - 528
vodoravna jama

je del kanala, ki je odvajal vodo iz flišne grape južno od Belskega. Po višini pa leži na sredini med studenskim in postojnskim ponornim robom.

Studenske ponikve in Osojščica izginjajo v Postojnski kras na višini 528 do 541 m, to je 20—30 m više kot pri Postojni in Velikem Otoku. Zato ne moremo recentnih ponornih rogov primerjati med seboj po nadmorski višini, odpade pa tudi primerjava fosilnih ponornih jam, ker so lahko bile višinske razlike še večje. Bolj umestna bo primerjava po današnji vodni funkciji. Studenske ponikve in

ponorni rovi se namreč najbolj verjetno stekajo k podzemeljski Pivki pa so zato genetsko povezani z njenim vodnim rovom.

- 1867 Lekinka
d - 730, g - 5, z - 510
vodoravna vodna jama

ima erozijske police na višini okoli 515 m. Skalno dno se v notranjost niža, tako da je pred izlivom v podzemeljsko Pivko pod Otoško jamo že na 504 m.

Na višini 510 m je tudi današnji poglavitni ponor Pivke pri Postojnski jami, zgornji deli ponora so zasuti z gruščem, delno pa dostopni v Rovu starih podpisov na višini 515 m takoj za jamskim vhodom.

Južno od Postojne poznamo recentne vodne jame in sicer:

- 1053 Požiralnik pod Kremenco
d - 53, g - 46, z - 558,3
poševno vodno brezno,

ki požira potoček iz Stare vasi na višini 512,3 m. Barvanje (F. Jenko 1959 a, 212, 220) je pokazalo, da teče voda zelo počasi v Rakov rokav in Rudolfov rov Planinske jame.

- 1747 Brezno v Kobiljih grižah
d - 20, g - 71,5, z - 581
brezno,

ki je korozijskega nastanka in omogoča dostop do kraške vode v postojnski stopnji (P. Habič 1969, 52).

- 930 Fužine pri Stari vasi
d - 125, g - 14, z - 523,44
vodoravna vodna jama

pa bruhajo kraško vodo v višinah med 510 m in 518 m.

Čim bolj se oddaljamo od ponornega roba ob Pivški kotlini proti Planinskemu polju, bolj se podzemeljska Pivka znižuje. Manj pa je nagnjen starejši ponorni horizont, ki ga vidimo v Lepih jamah, Pisanem rovu in drugih suhih rovih Postojnske jame ter Črne jame. Dalje proti severovzhodu so tu suhi rovi uničeni ob Vodnem dolu, Kozji jami, Jeršanovih dolinah in drugih udornicah, ali pa so zasuti z gruščem in naplavinami.

Edini znani relikv je

- 583 Jama na poti
d - 50, g - 40, z - 574
poševna jama

z zasiganim prostorom v višini 535 m, ki pomeni nadaljevanje Pisanega rova ali Čarobnega vrta Postojnske jame proti Planinski jami. Onkraj Jeršanove doline je ob vznožju Planinske stopnje takšna tudi Zguba jama, ki jo omenja E. A. Martel (1894, 440), nismo pa je še ponovno našli.

- 166 Brezno v Hrenovških talih
d - 0, g - 104, z - 618
stopnjasto brezno.

Z umetnim odkopom skal in grušča so dosegli vodoravne korozijske špranje na višini 504 m. Tu se voda odceja navzdol k pretočnim rovom podzemeljske Pivke za sifonom v Pivki jami (F. Jenko 1959 a, 222).

- 269 Brezno pod Jelenškom
d - 80, g - 63,5, z - 698
poševno brezno

je sklepu Planinske jame najbližje. Dno doseže višino 535 m, kjer ostaja nad poglavitnimi pretočnimi rovi za okoli 40 m. Do podobne višine se pogloblja tudi današnja Planinska (Mala) Koliševka, ki pa je bila prej neposredno povezana z vodnim rovom Planinske jame kot bomo spoznali pri nadaljnjih izvajanjih.

Na izvirni planinski strani poznamo znatno manj jam kot na ponorni postojnski strani.

- 685 Jama 2 pri Planinski jami
d - 80, g - 5, z - 460
vodoravna jama

je predstavljena z rovom v steni nad vodno gladino izvirajoče Unice. Predstavlja del odtočnega kanala, ko je voda še tekla 6 m više iz Planinske jame.

- 761 Jama 1 pri Planinski jami
d - 119, g - 3, z - 450
vodoravna jama

je situirana pod grebenom, ki na njem stoji Ravbarjev stolp. Zapisnik F. H a b e t a govori o delno zasiganem in podornem rovu, se pravi o preoblikovanem vodnem rovu.

- 784 Markova jama
d - ?, g - ?, z - 465
spodmol

pa je dostopna v strmem bregu pod izviri v Malnih. Je skromen ostanek starejše izvirne jame.

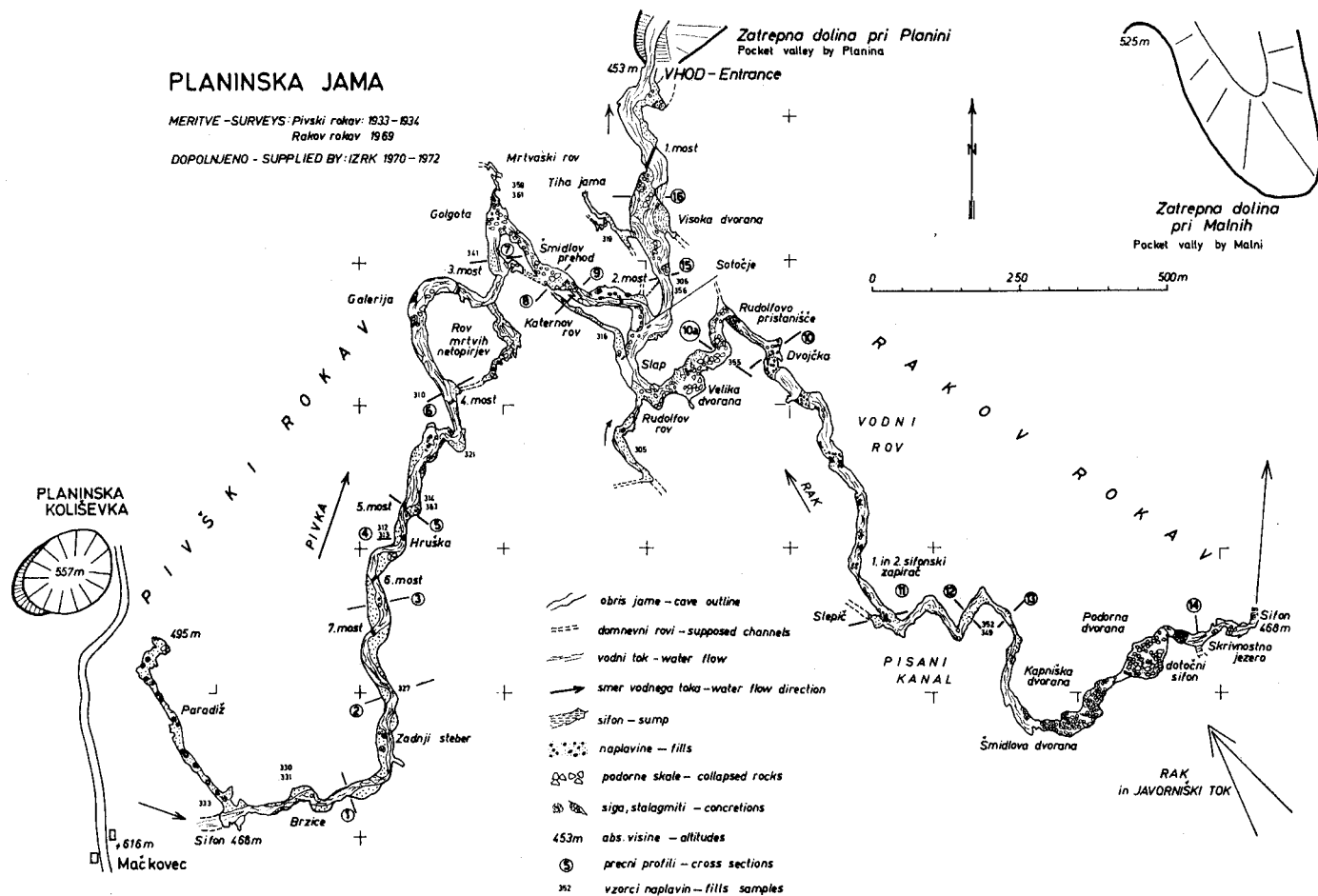
Na ponorni strani so razvite vodoravne jame v prav takšnem višinskem razponu (550—510 m) kot so visoko rovi v Planinski jami (450—490 m nadm. višine). Na ponorni strani so številne krajše jame z bolj izrazitimi osrednjimi rovi med 540—525 m, medtem ko so na izvirni strani združeni v enotnem visokem kanalu. Na ponorni strani so nastavljene jame v 8 km dolgem robu med Postojno in Studenim na meji fliša z apnencem, na izvirni strani pa so združene v enovitem rovu, ki doseže površje Planinskega polja blizu meje apnenca z dolomitom. V Planinski jami je zato pričakovati boljše in več podatkov o geološki zgodovini vsega podzemeljskega sistema kot pa v dislociranih jamah na postojnski strani, kjer je zaradi podorov in sige težje ugotoviti oblike in naplavitine nekdanjih vodnih rogov.

SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI PLANINSKE JAME

(sliki 7 in 8)

- 748 Planinska jama
d - 6000, g - 13, z - 453
izvirna vodna jama.

Najstarejše navedbe o Planinski jami najdemo v delih J. V. Valvasorja (1689), F. A. Steinberga (1761), T. Gruberja (1781), vodne rove pa je bolj podrobno opisal A. Urbas (1849).



Sl. 7. Planinska jama, tloris s situacijo obravnavanih profilov (1) in analiziranih vzorcev sedimentov (333)

Fig. 7. Planinska jama, ground plan with treated sections situation (1) and sediments analysed samples (333)

A. Schmidl (1854) je na 36 straneh svoje monografije opisal svoje raziskovanje Pivškega in Rakovega rokava, priložil je tudi prvi načrt jame, ki ga je sestavil njegov sodelavec I. Rudolf., Nadaljnje raziskave Pivškega, predvsem pa Rakovega rokava je opravil W. Putick (1889), ki jih je podrobno opisal E. A. Martel (1894, 453).

Rakov rokav sta kasneje raziskovala in merila G. Spöcker (1831) in A. Mühlhofer (1933), nato pa še I. Michler (1955). Vsi ti raziskovalci so posredovali različne načrte rokava, ki jih je med seboj primerjal R. Savnik (1960) in menil, da je najdlje prodrli W. Putick, drugi pa niso mogli ponoviti njegovih odkritij v celoti, ker bi naj recentni podori na enem mestu rokav prekinili. Ponovne meritve l. 1969 so pokazale, da je Michlerjev načrt najbolj pravilen in da je W. Putick sestavil načrt s pretiranimi dolžinami (P. Habič 1970). V zadnjih desetih letih so bili najdeni in na novo izmerjeni manjši rovi, kot npr. Rov mrtvih netopirjev (R. Gospodarič 1968), Katernov rov, Mrtvaški rov in del Tihe jame (Arhiv IZRK in JZS).

V Planinski jami poznamo vodne in suhe rove. Vodni rovi so:

vhodni del do Sotočja	480 m
Rakov rokav	2500 m in
Pivški rokav	1565 m.

V njih stenah se odpirajo vhodi v krajše rove kot so:

Tiha jama	185 m
Mrtvaški rov	150 m
Rov mrtvih netopirjev	195 m
Katernov rov	195 m
Rudolfov rov	200 m
Paradiž konec Pivškega rokava	435 m.

Vhodni erozijski rov do Sotočja je usmerjen proti jugu. Skalno dno se polagoma dviguje, višina stropa pa od 10 m pri vходу naraste na 60 m v Visoki dvorani in zopet pade pri Sotočju na 20 m. Na vijugavih stenah so nekatere ohranjene erozijske police, ob njih pa siga, podorne skale in ilovica.

Erozijski rov sledimo še naprej v Pivški rokav. Skalno dno se ob toku navzgor polagoma dviguje, skalne pregrade delijo vodni tok v podolgovata jezera in brzice. Prav tako kot dno se dviguje tudi strop, tako da je rokav domala v vsej dolžini visok okoli 20 m. Le pri podorni Golgoti in Šmidlovem prehodu je strop 40 m nad vodnim tokom. Stene so skoraj po vsej dolžini enakomerno oddaljene druga od druge, a na mnogih mestih skoraj do stropa pokrite z zasipi različnih naplavin.

V Pivški rokav priteka Pivka iz Pivške kotline. To je bilo neposredno potrjeno z barvanjem vode (A. Perco & E. Boegan 1928), posredno pa z opazovanjem kalnosti, pretoka in vodostaja Pivke pri ponoru in izviru. Pivka priteče v jamo skozi 17 m globok sifon, ki so ga brezuspešno poskušali preplavati potapljači J. Štirna l. 1962. L. 1966 sta 100 m daleč v sifon prodrli potapljača H. Hasenmayer in A. Wunsch, ne da bi dosegla zračne rove. Od sifona hiti Pivka s strmcm 10 ‰ proti jamskemu izhodu in prosto izteka na Planinsko polje. Le visoka voda delno zastaja pred kratkim sifonom

pod Golgoto. Tedaj je rokav nedostopen, saj je nemogoče veslati proti hitremu vodnemu toku.

Rakov rokav ima do 3 m visoke skalne stopnje — Slapa, obliko vhodnega dela jame. Nato pa se na višjem skalnem dnu pojavijo številni podorni bloki Velike dvorane. V vijugavem Vodnem rovu so med bregovi in kupi ilovice, proda in podornih skal stalna jezera. Stene so bliže ena drugi kot v Pivškem rokavu, strop pa na dveh mestih doseže srednjo gladino vode, tako da govorimo tam o sifonskih zapirah. Oblika Vodnega rova je vidna še v prvem delu kolenastega Pisanega kanala. Prečni profili so le navidezno bolj ovalni in manjši kot v Pivškem rokavu, skalno dno in stene so namreč pokrite več metrov na debelo z naplavinami. V drugem delu Pisanega kanala se voda poglabi do 10 m, stene se zblížajo v 8 m širok in 12 m visok kanjon. Kapniška in Podorna dvorana ločita Pisani kanal od Skrivnostnega jezera, kjer je sklep Rakovega rokava.

Vodne razmere v Rakovem rokavu so mnogo bolj zapletene kot v Pivškem rokavu. I. Michler (1955, 82) je namreč prvi ugotovil, da je vodni tok v Pisanem kanalu usmerjen proti današnjemu jamskemu izhodu, v Skrivnostnem jezeru pa v tamkajšnji odtočni sifon in v izvire Malne. To podzemeljsko bifurkacijo so kasneje obravnavali F. Jenko (1959), I. Gams (1966) in P. Habič (1969) in po kemizmu in temperaturah ugotovili, da se v sklepni del Rakovega rokava stekajo Rak iz Cerkniškega jezera in vode Javorniškega toka. Dotočnih rogov teh voda še ne poznamo, pač pa je l. 1969 uspelo skupini ljubljanskih potapljačev pod vodstvom A. Praprotnika najti 25 m globok dotočni jašek javorniške vode (P. Krivic & A. Praprotnik 1973).

V Rakovem rokavu je najmanj $1 \text{ m}^3/\text{s}$ do največ $20 \text{ m}^3/\text{s}$ pretoka. Zaradi neenakomernih razsežnosti in nagnjenosti vodnega kanala niha gladina vode znatno bolj kot v Pivškem rokavu. Ob visoki vodi rokav ni dostopen, ob nizki pa lahko po jezerih med zasipi naplavin priplujemo prav do Skrivnostnega jezera. Vidimo torej, da so današnje hidrološke razmere v precejšnji meri odvisne od morfologije rokava in naplavin v njem, to pa je možno predpostaviti tudi za vsa minula razvojna obdobja Rakovega rokava.

V stenah obeh rokavov so več metrov nad gladino jamskih rek dostopni stranski rovi Planinske jame. Skalna dna in stene teh rogov so tudi pokrita z naplavinami in sigo. Prehoden je po večini le vrhnji del prostorov pod stropom, ki so ga podori na več mestih že preoblikovali. Nekdanjo zvezo z jamsko reko in obema rokavoma nakazujejo skupne naplavine.

SEDIMENTI V PIVŠKEM ROKAVU

Sedimenti so razgaljeni v rokavu, spoznamo pa jih lahko tudi v stranskih, više ležečih rovih nad vodotokom. Med nje sodi prvenstveno Paradiž z raznobarvno sigo na stenah, stropu in tleh okrašen rov, ki ga je odkril in tako poimenoval l. 1852 A. Schmidl (1854).

Tla Paradiža se proti severozahodu rahlo vzpenjajo; ker se hkrati niža strop, postane rov po 435 m neprehoden. Zelo verjetno poteka zasuti rov naprej proti severozahodu v smeri 150 m oddaljene Planinske koliševke.

Pod pokrovom sige vidimo na več mestih samo grušč in skale iz različnega apnenca, ki je tudi drugačen od apnenca, v katerem je rov izoblikovan. Najlepše pa je tak apnenčev grušč razgaljen v pobočju nad pritočnim sifonom ob vstopu

v Paradiž, kjer smo lahko поблиže spoznali debelino in sestavo tega zasipa. Tu vidimo, da je skalni Paradiž zasut najmanj 20 m na debelo in da je danes prehodni le v zgornji tretjini. Zasip je zapolnjeval prostor ob današnjem sifonu vsaj 23 m na debelo do abs. višine 485 m, saj so tako visoko v stenah ohranjeni njegovi ostanki (tab.1 in 2 A). V omenjenem pobočju je zasip sestavljen iz 90 % grušča in proda svetlosivega zrnatega apnenca ter 10 % peska kremenovega peščenjaka, kremenca in ooidov limonita ter ilovice flišnega izvora. V vzorcu 333 smo ugotovili sledečo zrnastost (glej sl. 24): 70 % kršja, 20 % proda, 7 % peska in 3 % ilovice. Posamezni kosi apnenca z obliko nepravilnih paralelopipedov so celo preko 30 cm veliki. Pod zasipom apnenčevega proda je pasovita ilovica, ki je lepo razgaljena ob desni strani pred sifonom (tab. 2 B). Njene plasti vise proti vodi, a se izravnavajo proti vbočeni steni in se naslanjajo nanjo. V ilovici se menjavajo debelejšje in mehkejšje proge svetlejšje ilovice s tanjšimi in mehkejšimi progami temnejše ilovice. To sedimentacijsko značilnost starejšje pasovite ilovice pod apnenčevim prodom bomo opazovali še drugod po Planinski jami, kjer bomo spoznali tudi mlajšo pasovito ilovico nad apnenčevim prodom.

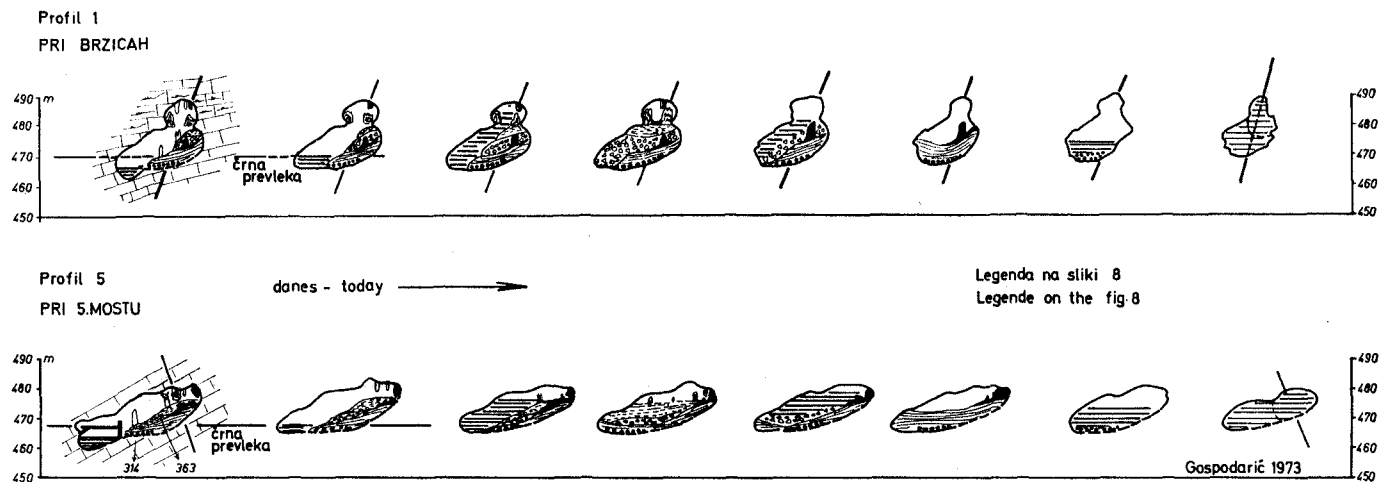
Brzice

Brzice so tam, kjer ima Pivški rokav obliko 160 m dolge ter 8—12 m visoke in široke cevi in Pivka teče v brzicah po nagnjenem skalnem dnu (tab. 3 A). V erozijskih zajedah po skalnem dnu in na prehodu v stene je ohranjena naplavina vzorca 330 s 85 % proda in 15 % peska, a tudi samim peskom, ki je sprijet v peščenjak (vzorec 331). Prodniki so sivi, rjavi in zeleni zelo zaobljeni roženci, pesek pa je iz kremenovega peščenjaka, kremenca, limonita in celo hišic jamskih polžev. Petrografsko sestavo in zrnastost vzorcev te naplavine, ki jo imenujemo prod pisanega roženca, prikazujemo na sliki 21. Alohtoni pisani roženec se jasno razlikuje od sivega, poroznega avtohtonega roženca v tukajšnjem spodnjekrednem apnencu (tab. 4).

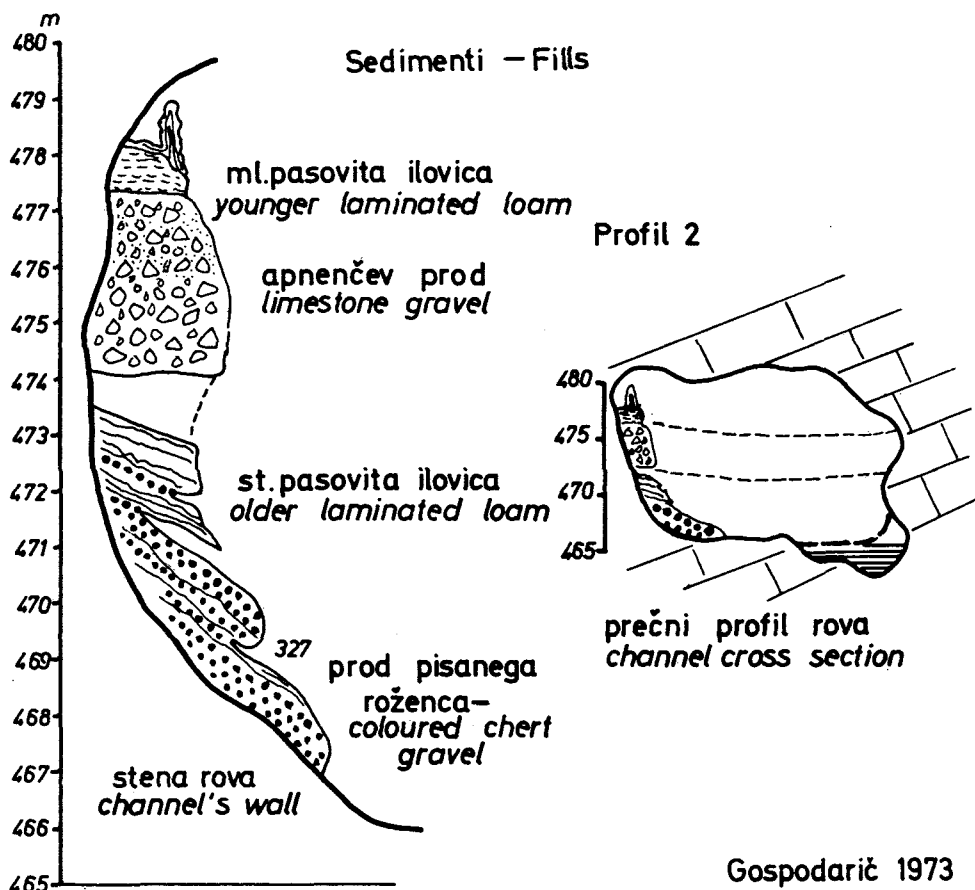
Konec Brzic je ob desni steni in na skalni podlagi 14 m visok zasip sedimentov. Spodaj sta prod in pesek pisanega roženca, nato sledi starejša pasovita ilovica, vse skupaj pa pokriva apnenčev prod. Apnenčev prod je naslonjen tudi na stalagmit prhke, rjavkaste sige, po čemer sklepamo, da se je odložil v poprej zasigan in suh rov. Nadalje je možno ugotoviti, da se nad zasipom dviguje strop v 8 m visok ovalen prostor z jasno izraženimi erozijskimi policami. Dva debela stalagmita stojita napol na policah, napol pa štrlita v prazen prostor. To kaže, da sta zrasla na neki podlagi, ki je bila kasneje delno erodirana. To podlago so sestavljale naplavine. S pomočjo navedenih podatkov sklepamo na različne razvojne faze tega dela Pivškega rokava kot jih kaže profil 1 na sl. 9.

Zadnji steber

V 20 m visoki nasipini ob desni steni je spodaj plast pisanega roženca, nato plast starejšje pasovite ilovice in še plast apnenčevega proda. Slednja se izklinja proti desni steni, tako da se starejša pasovita ilovica združi z mlajšo pasovito ilovico, ki sicer pol metra na debelo pokriva apnenčev prod. Pasovitost mlajšje ilovice se kaže v menjavanju temnorjavih in svetlorjavih, različno debelih ilovnatih in peščenih prog. Tu ni tistih trših, tankih prog, ki so značilne za starejšjo



Sl. 9. Planinska jama, razvojne stopnje Pivškega rokava v profilih 1 in 5
Fig. 9. Planinska jama, development phases of the Pivka Branch at the sections
from 1 till 5

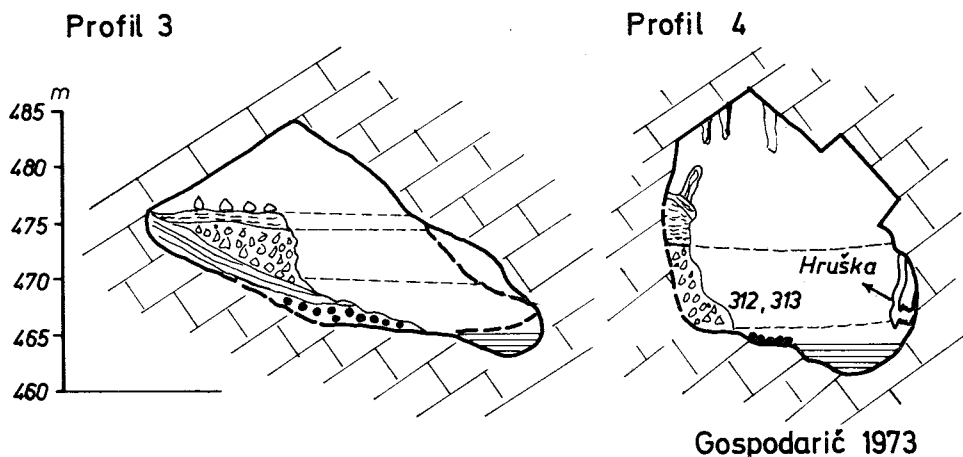


Sl. 10. Planinska jama, Pivški rokav v profilu 2 in stolpec tam ohranjenih sedimentov
Fig. 10. Planinska jama, the Pivka Branch at 2nd section and column of there preserved sediments

pasovito ilovico. Pri profilu 2 (sl. 10) je na skalnem dnu s karbonatnim vezivom sprijet prod pisanega roženca, nad njim pa se zaporedno menjavajo plasti proda, peska in ilovice (tab. 3 B), ki se vzdolž in počez razgaljenega profila izklinjajo in vnovič pojavljajo. Menjavajoče plasti so pokrite z apnenčevim prodom do višine 478 m. Sledi še mlajša pasovita ilovica s polami drobnega peska, nad njo pa siga.

Sedmi — šesti most

Med sedmim in šestim mostom ima Pivški rokav 7 m široko in 2 m globoko mlajšo vodno strugo, ki je vrezana v starejše skalno dno. To dno pokrivajo prod oziroma konglomerat pisanega roženca s prehodom v starejšo pasovito ilovico.



Sl. 11. Planinska jama, Pivški rokav v profilu 3 in 4
Fig. 11. Planinska jama, the Pivka Branch at the profile 3 and 4

Na njeni delno erodirani podlagi leži največ 10 m debela plast apnenčevega proda; nad prodom pa je 3 m debela plast mlajše pasovite ilovice, ki sestavlja 13 m široka ravna tla pod stropom in kaže, kako je bil rov zapolnjen preden so bile naplavine, skalno dno in stene erodirane (profil 3, sl. 11).

Hruška

Hruška je izrazita sigova tvorba na desni strani malo pred 5. mostom. Na njej zelo jasno izstopa vodoravna zgornja meja manganove prevleke (tab. 5 A, profil 4 na sl. 11). Takšno prevleko zasledujemo že od pritočnega sifona na skalah in naplavinah ter sigo do višine 470 m. Iz vode se je izločila po erodiranju sedimentov in pred recentno erozijo. Tukajšnja plast apnenčevega proda (vzorec 312) je odložena na gladko skalno dno brez kotlic in faset, ki so sicer pogostne v današnji vodni strugi (tab. 5 B). V zgornjem delu ima plast bolj, v spodnjem delu pa manj sprijete prodnike apnenca. Dvajset cm debela leča peska brez kosov apnenca sredi plasti kaže, na občasno prekinjeno odlaganje apnenčevega proda. Pesek ima sestavine flišnih kamnin (vzorec 313).

V apnenčevemrodu vzorca 312 je 37 % kršja, 38 % debelega in 25 % srednjega proda. Kosi imajo izgajeno površino, vendar nizko zaobljenost in sploščenost. Daljše osi kosov ležijo vodoravno v smeri vodnega toka. Ponornica, ki je prenašala tak material po skalnem dnu, je morala teči zelo hitro. Tudi gladko dno brez faset govori za nekajkrat večjo hitrost vode kot pa jo lahko merimo danes. Seveda je taka ponornica lahko tudi zelo uspešno erodirala skalno dno in stene ter starejše naplavine, kot so pisani roženec in pasovita ilovica. Tako kot se je sedimentacija apnenčevega proda nenadoma začela, se je tudi nenadoma končala. Iz umirjene vode se je začela odlagati mlajša pasovita ilovica.

Peti most

Peti most povezuje levo skalno steno s sedimentnim gričem ob desni steni (profil 5, sl. 9). Ob vzhodu griča je na skalni podlagi 0,5 m proda pisanega roženca povezanega v konglomerat (vzorec 314). V plasti je 72 % prodne in 28 % peščene frakcije. Poleg prodnikov roženca nastopajo tudi sploščeni kosi kremenovega peščenjaka in limonita (tab. 4). Nad konglomeratom je odložena plast starejše pasovite ilovice, ki se dviguje proti steni skupaj s skalnim dnom in plastjo pisanega roženca. Na njeni erodirani podlagi leži 0,5–2 m debela plast apnenčevega proda. Tanjša kot v doslej obravnavanih nahajališčih je zato, ker se je prod odložil v širok razpotegnjen prostor. Apnenčev prod ima tu znatno manjše kose kot v vzvodnih nahajališčih, poleg tega pa skoraj 50 % primesi (vzorec 363) proda in peska kremenovega peščenjaka in avtohtonega roženca, ki ga je takratna voda mogla prinesiti le iz območja Brzic. To zopet dokazuje, da je voda ob transportu apnenčevega proda tudi občutno erodirala skalni rov in starejše naplavine. Bolj ali manj vodoravno odložena plast verjetno ne doseže desne stene, pač pa se prej izklini med starejšo in mlajšo pasovito ilovico. V zasipu je ohranjen le majhen del apnenčevega proda, večji del je erodiran skupaj z ostalimi naplavinami. Današnja Pivka že zarezuje svoje korito v živo skalo.

Vrh zasipa je siga s stalagmiti in stalaktiti različne starosti. V najmlajši holocenski sigi vrh nasipa vidimo tudi dva metra visok, a prelomljen stalagmit, ki so na njem že zrasli novi stalagmiti (tab. 6 A). Stalagmit se je očitno prelomil med rastjo te najmlajše sige. Med mlajšo in starejšo sigo pa vidimo poplavno ilovico (tab. 6 B).

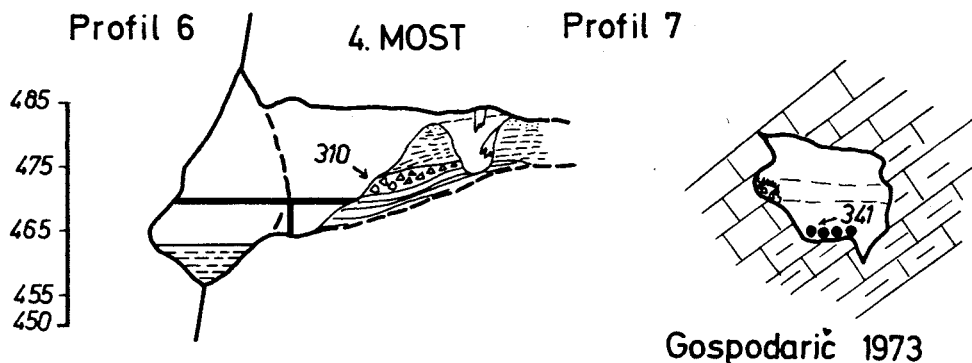
Prav pod stropom rova je ohranjen erozijski ostanek starejše rdečkaste sige, ki je zelo podobna taki sigi pod apnenčevim prodom pri profilu 1 in v Paradižu. Kot bomo videli pozneje pa je tudi bližnji, delno erodirani stalagmit iz starejše sige. Domnevamo, da leži na starejši pasoviti ilovici, ki se tod vzpenja prav pod strop. Mlajši sedimenti, apnenčev prod in mlajša pasovita ilovica ga niso prekrili. Erodirala pa ga je ponornica, ki je obe mlajši naplavini transportirala in odložila po nižje ležečih tleh rova.

Iz opisanega stratigrafskega zaporedja sedimentov in speleogenetskih procesov je bilo možno sestaviti razvojno sliko rova med današnjo obliko in eno starejših oblik, ko je bil rov še zalit z vodo in brez sedimentov (glej sl. 9).

Četrty most

Pri Četrtem mostu je rokav izjemno preko 30 m širok (profil 6, sl. 12), ker se na višini 475 m cepi v suhi Rov mrtvih netopirjev in v vodne Galerije. Zveza s prvim rovom je zasuta s sedimenti, drugi rov pa je voda poglobila in tako obšla starejšo zasuto zvezo.

Na skalni podlagi, 4 m nad gladino nizke vode je videti starejšo pasovito ilovico, apnenčev prod in nato mlajšo pasovito ilovico. Plast apnenčevega proda se debeli proti sredini rova, a izklinja proti desni strani, tako da se tu stikata obe ilovici ob izraziti erozijski meji. Tudi v tem širšem prostoru je apnenčev prod v tanjši, a bolj razsežni plasti tako kot v prostoru pri 5. mostu. Ustrezno so tudi prodniki manjši, bolj zaobljeni in sploščeni kot v vzvodnih nahajališčih (vzorec 310, glej sl. 24).



Sl. 12. Planinska jama, Pivški rokav v profilu 6 in 7

Fig. 12. Planinska jama, the Pivka Branch at the profiles 6 and 7

Galerije

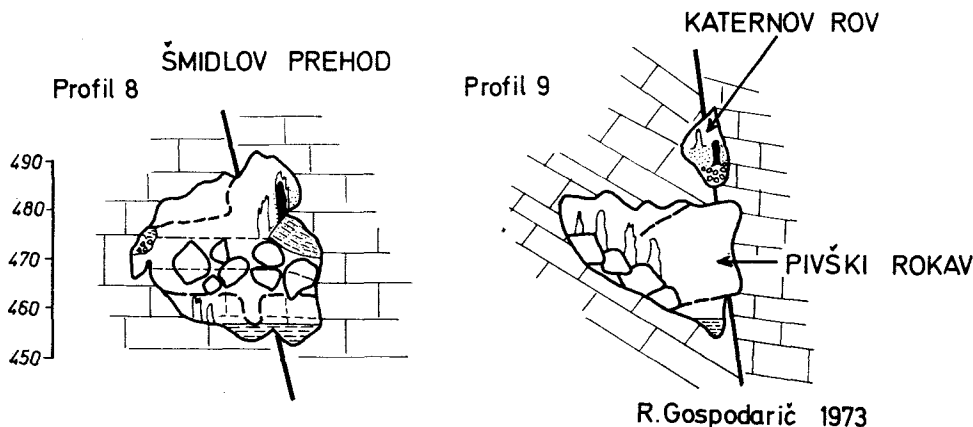
V Galerijah ni videti nobenih sedimentov. Rov ima navpične stene, skalno dno s podornim skalovjem potopljenim v največ 8 m globoki vodi in skalnim stropom, ki je 6 m niže kot pri 4. mostu. Domnevamo, da je v tem razmeroma nizkem delu rokava voda odnesla vse poprej odložene naplavine tako kot npr. pri Brzicah. Erozijski ostanki apnenčevega proda in druge naplavine se pojavijo šele tam, kjer se v Galerije steka Rov mrtvih netopirjev in kjer Galerije preidejo v podorno dvorano Golgota.

Konec Galerij je vodna struga zasekana v starejše skalno dno na višini 463 m, ki nosi pol metra debelo plast proda oziroma konglomerata pisanega roženca (profil 7, sl. 12). Njegov vzorec 341 se po zrnivosti in petrografski sestavi ujema s podobnim prodom v podlagi starejše pasovite ilovice že obravnavanega dela rokava.

Ob levi steni na višini okoli 470 m je več erozijskih ostankov apnenčevega proda (tab. 7). Meter visok kup sprijetega proda je obvisel na steni potem, ko je bila spodjedena starejša pasovita ilovica.

Golgota in Šmidlov prehod

Podor Golgote je precej spremenil prvotni vodni Pivški rokav. Staro skalno dno na 464 m, erozijske police ob stenah in eventuelne naplavine je pokril 20 m visoki podorni stožec. Današnji strop dvorane je sekundaren. Kapnica, ki priteka skozi pretrti strop ob prelomu 40/80, ga še stalno oblikuje, nekje odlaga sigo, drugje pa korodira. Pivka obide podor ob desni strani skozi sifonski rov in le še izjemno visoka voda teče po starem rovu. Ta ima pokončne, močno razjedene stene, kjer so kljub temu ohranjene erozijske police, na njih pa ostanki apnenčevega proda in mlajše pasovite ilovice. Ovalni strop preide v višje ležeči Katerinov rov in v niže ležeči rov, ki se nadaljuje proti Sotočju. V teh dveh ločenih rovih je ohranjena dvoetažna zgradba Pivškega rokava, medtem ko je med Golgoto in Šmidlovim prehodom porušena (profila 8 in 9 na sl. 13).



Sl. 13. Planinska jama, Pivški rokav v profilu 8 in 9
 Fig. 13. Planinska jama, the Pivka Branch at the profiles 8 and 9

Mrtvaški rov

Med podornimi skalami vrh Golgote pridemo v 185 m dolgi Mrtvaški rov. V prvi polovici je cikcakasto usmerjen proti severu, v drugi polovici pa proti severozahodu. V začetku je sestavljen iz meter širokega in visokega rova, nato pa se strop zviša v posamezne kamine, stene se tu in tam tesno približujejo ena drugi, tako da je prehod zelo težaven. Kapnica nekje odlaga sigo, drugje pa izpira naplavine. Po nagnjenem skalnem rovu izgine blizu vhoda v rov (475 m) in teče verjetno v glavni rokav.

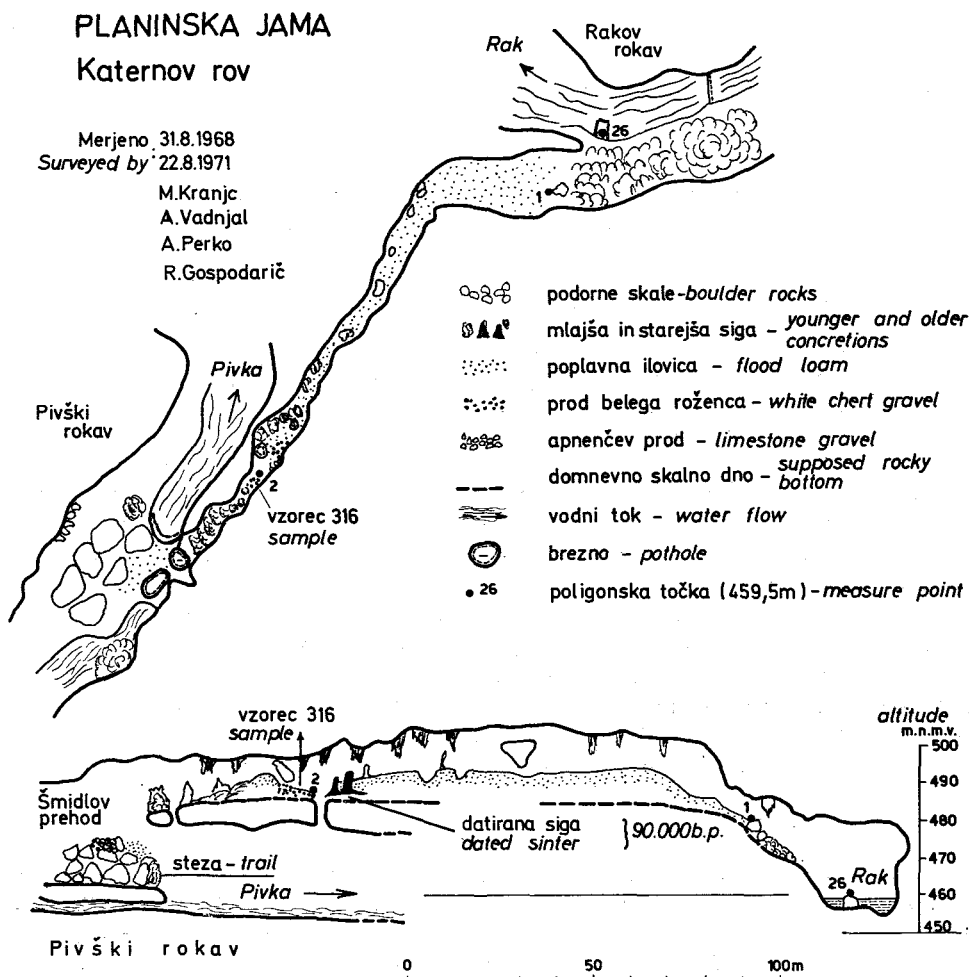
Prava oblika rova je precej zakrita z naplavinami. Te sledimo po vsem rovu v večjih in manjših kupih. V začetku rova je mlajša pasovita ilovica ohranjena v 3 m debeli plasti. Njen vzorec 361 ima oglata in zaobljena kremenova zrna, sljudo in rjavkasto ilovico, kar je značilno za to mlajšo naplavino v Pivškem rokavu. V skalnih zajedah pod opisano ilovico smo našli oglat in zaobljen prod belega roženca ter limonitni in zaobljeni kremenov pesek. Po zrnivosti in petrografski sestavi se ta alohtona naplavina razlikuje od vseh do sedaj obravnavanih. Kaže, da imamo opraviti z ostanki novega zapisa.

Katernov rov

Katernov rov (sl. 14) dosežemo brez težav iz Rakovega rokava, če se pri Slapu povzpne po skalni steni do višine 485 m. Tu je z rdečkasto ilovico pokrito skalno dno rova, ki poteka proti jugovzhodu vzporedno s spodnjim Pivškim rokavom. Korodirane in s sigo prevlečene stene se koničasto združujejo v strop. Curki kapnice so na več mestih izprali naplavino in v uravnanih tleh napravili luknje, ki skozi nje lahko pridemo po lestvicah do 30 m niže tekoče Pivke. V preluknjanih tleh vidimo, da ilovica pokriva starejšo sigo. V skalnih zajedah sten in pod sigo v višini 490 m pa je zopet ohranjen rahlo sprijet prod

belega roženca. Njegov vzorec 316 pri točki 2 je sestavljen iz 79 % zaobljenega proda, 10 % peska in 11 % rdeče ilovice (glej sl. 23). Prodniki so prevlečeni z rjavkasto patino. V pesku je poleg roženca nekaj kremenca ter ooidov in cevč limonita, ki se vedno pojavljajo v tej alohtoni naplavinu.

Katernov rov je izdelan tako visoko nad Pivškim rokavom, da ga tamkaj odložene naplavine, prod pisanega roženca in starejša pasovita ilovica, niso dosegle. Sedimentacijo proda belega roženca pa si je mogoče razložiti tako, da je



Sl. 14. Planinska jama, tloris in vzdolžni profil Katernovega rova z vrisanimi sedimenti in lego nad vodnim Pivškim rokavom

Fig. 14. Planinska jama, the ground plan and longitudinal section of Katern Gallery with sediments and its situation above the Pivka Branch drawn in

ponornica tekla nad sedimenti in pod stropom skoraj zasutega Pivškega rokava ter zašla v Katernov rov, ki ga je erodirala in v njem občasno odlagala prod belega roženca. V mehke naplavine Pivškega rokava je ponornica hitro poglobila svojo strugo in Katernov rov zapustila, da je v njem lahko nastajala siga starejše generacije. V Katernov rov se je povrnila še enkrat, ko je odložila poplavno ilovico nad sigo.

SEDIMENTI V RAKOVEM ROKAVU

Prvi sedimenti so šele v desnem pobočju rokava pri Slapu. Mogočna kopa sige pokriva prvi podorni grič in verjetno ilovico pod njim. Ilovica pa je razgaljena tam, kjer rokav krene proti NE k Veliki dvorani. Po skalnem dnu ob levi steni se preliwa Rak, kadar jeseni in poleti ne presuši, vanj pa se steka voda Rudolfovega rova. Ob suhi strugi vidimo ob skalnem dnu v višini 462 m odloženo starejšo pasovito ilovico, na njej pa počrnele podorne bloke stropovja. Črna prevleka prekriva ves rov in njegovo vsebino 3 m nad strugo.

Rudolfov rov

Vhod v Rudolfov rov (sl. 15) najdemo v desni navpični steni Rakovega rokava v višini 470 m na vrhu podornih skal, ki pokrivajo ob steno naložen apnenčev prod in ilovico pod njim. V prvi polovici rova je skalno dno v višini 460 m, 6 m nad skalnim dnom Rakovega rokava. Pri t. 1 je skalni rov najmanj toliko širok kot visok, prehodni prostor pa je sicer ožji, ker je ob stenah pasovita ilovica. Pri t. 2 je rov do višine 475 m zasipan po vsej širini z ilovico, prodrom, podornimi bloki in sigo. Onkraj tega zasipa pa je ponovno bolje prehodan, čeprav so skalne stene na debelo obložene s pasovito ilovico. Ta je prvotno popolnoma zakrivala skalni rov, a jo je kasneje voda delno erodirala. Voda se še danes pretaka po skalnem dnu in se zliwa v Rakov rokav.

Pri t. 4 je Rudolfov rov še danes zapolnjen z ilovico. Z odkopom ilovice pa se je uspelo preriniti pod stropom naprej v komaj pol metra širok in 2–3 m visok mlad vodni kanal. V skalnih zajedah v začetku tega kanala je ohranjen prod belega roženca z rdečo ilovico, kakršnega smo sicer našli na pasoviti ilovici in ob njej po vsem Rudolfovem rovu, a smo ga tudi že omenili v Katernovem in Mrtvaškem rovu.

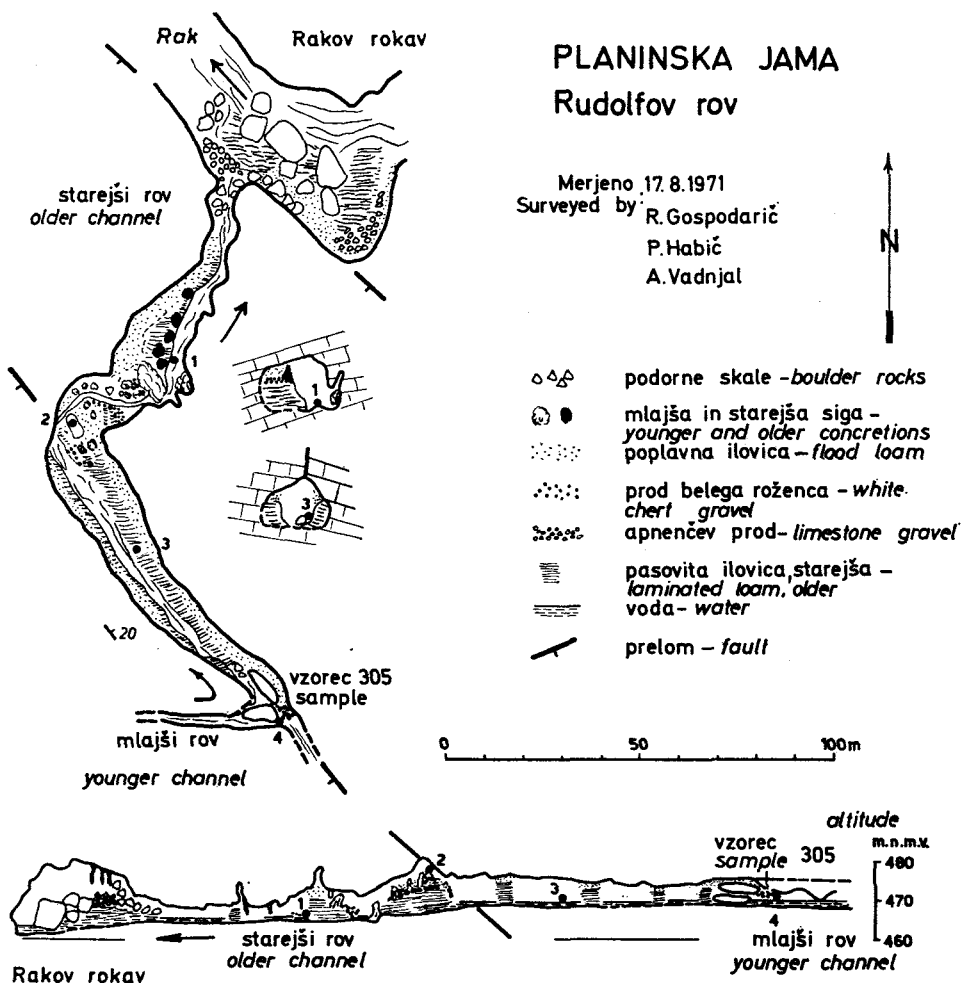
V Rudolfovem rovu je plast starejše pasovite ilovice debela najmanj 5 m. Kolikor je moč videti, leži na skalnem dnu. Na njej so posamezne leče proda belega roženca, sprijetega s sigasto limonitno skorjo, vse skupaj pa pokriva okoli pol metra debela plast prhke rdečkaste ilovice, najmlajša siga in podorne skale.

Pasovita ilovica je vzdolž rova odložena vodoravno, prečno nanj pa se njeni pasovi nagibajo k obema stenama. Delno strjena naplavina se v manjših blokih lomi v vodo, ki ilovico sicer spodjeda (tab. 8). V skoraj navpičnih ilovnatih stenah smo razlikovali okoli 500 prog svetlejše in temnejše, različno trde ilovice.

Naplavino belega roženca smo analizirali v štirih vzorcih. Najbolj značilno petrografsko sestavo in zrnavost ima vzorec 305. Prod sestavljajo samo zaobljeni kosi belega roženca, ki prevladujejo tudi v peščeni frakciji med limonitom in kremenom (tab. 9). Limonit nastopa v obliki ooidov in cevok. Ko smo primerjali

analizirane vzorce z vzorci iz Katernovega in Mrtvaškega rova smo ugotovili, da so petrografsko in po zrnivosti podobno sestavljeni (glej sl. 23), da pripadajo istodobnemu zasipu oziroma razvojni stopnji.

V Rudolfovem rovu je zelo jasno videti, da leži prod belega roženca na starejši pasoviti ilovici. Ta važen podatek pomaga osvetliti stratigrafski položaj tega sedimenta tudi v Katernovem rovu, Mrtvaškem rovu in Tihi jami, kjer ni več v neposrednem stiku s starejšo pasovito ilovico.



Sl. 15. Planinska jama, tloris, vzdolžni in prečni profili Rudolfovega rova z vrisanimi sedimenti

Fig. 15. Planinska jama, the ground plan, longitudinal and cross sections of Rudolf channel with sediments drawn in

Velika dvorana

Velika dvorana (sl. 16) ima sedimente v levi polovici dvorane do višine 472 m, v desni polovici pa se med počrnelimi bloki preliva Rak proti jamskemu vходу. Visoka voda spodjeda in odnaša naplavine, ki so nekoč prekrivale rov v vsej širini.

Na mestu profila 10 a se erodirane stene drži le 4 m visoka in 5 m dolga obloga apnenčevega proda, flišnega peska in ilovice. V spodnjem delu je obloga pol metra debela, navzgor pa se vedno bolj tanjša in prehaja v posamezne krpe (tab. 10).

V oblogi razlikujemo 7 različno debelih, sprijetih, vodoravno odloženih plasti.

Plast 1 je meter debela in leži neposredno na starejši pasoviti ilovici. Ima 78 % prodne, 15 % peščene in 7 % ilovnate frakcije. Med prodom je tretjina kosov s premerom nad 30 mm. Prod ima le slabo zaobljene in srednje sploščene kose svetlosivega zrnatega apnenca. V pesku je apnenčevih drobcov 75 %, ostalo so okrogla in oglata zrna kremenovega peščenjaka, kremenca, sljude in nekaj kosov limonitne skorje in bobovcev. V dveh vzorcih apnenčevega proda 355/1 in 355/3 je R. Pavlovč ugotovil mikrofavno cenomanijske starosti.

Plast 2 je 70 cm debela z 90 % proda, 6 % peska in 4 % ilovice. Prod je apnen, v pesku pa je 30–70 % kremenca in limonita. Prodniki so še slabše zaobljeni in sploščeni kot v spodnji plasti 1, kar sodimo po indeksih zaobljenosti in sploščenosti. Indekse smo izračunali iz podatkov o premeru najmanjšega včrtanega kroga (2r), največji (L) in najmanjši (l) dolžini ter debelini (E) posameznih kosov apnenca po navodilih R. Pavlovca (1957). Na sl. 16 podajamo skupen diagram za 150 večjih kosov iz prodnih plasti.

Plast 3 ima 80 % proda, 10 % peska in 10 % ilovice. Petrografsko se ne razlikuje od spodnjih plasti. Zaobljenost kosov je slaba, sploščenost nekoliko bolj izrazita.

Plast 4 je zastopana z 20 cm debelo lečo peska, ki je petrografsko enak pesku med prodom v plasti 3. Pomeni občasno umirjen pretok vode brez transporta apnenčevega proda. Odstotek kremenca, kremenovega peščenjaka in sljude narašča od 5 % pri frakciji 2–1 mm na 90 % v frakciji 0,2–0,1 mm.

Plast 5 kaže zopet na prejšnje hidrološke razmere. V peščeni frakciji je 40–80 % sestavin fliša in kosov limonita. Indeks zaobljenosti je zelo nizek, indeks sploščenosti pa nekoliko večji kot pri spodnjih plasteh.

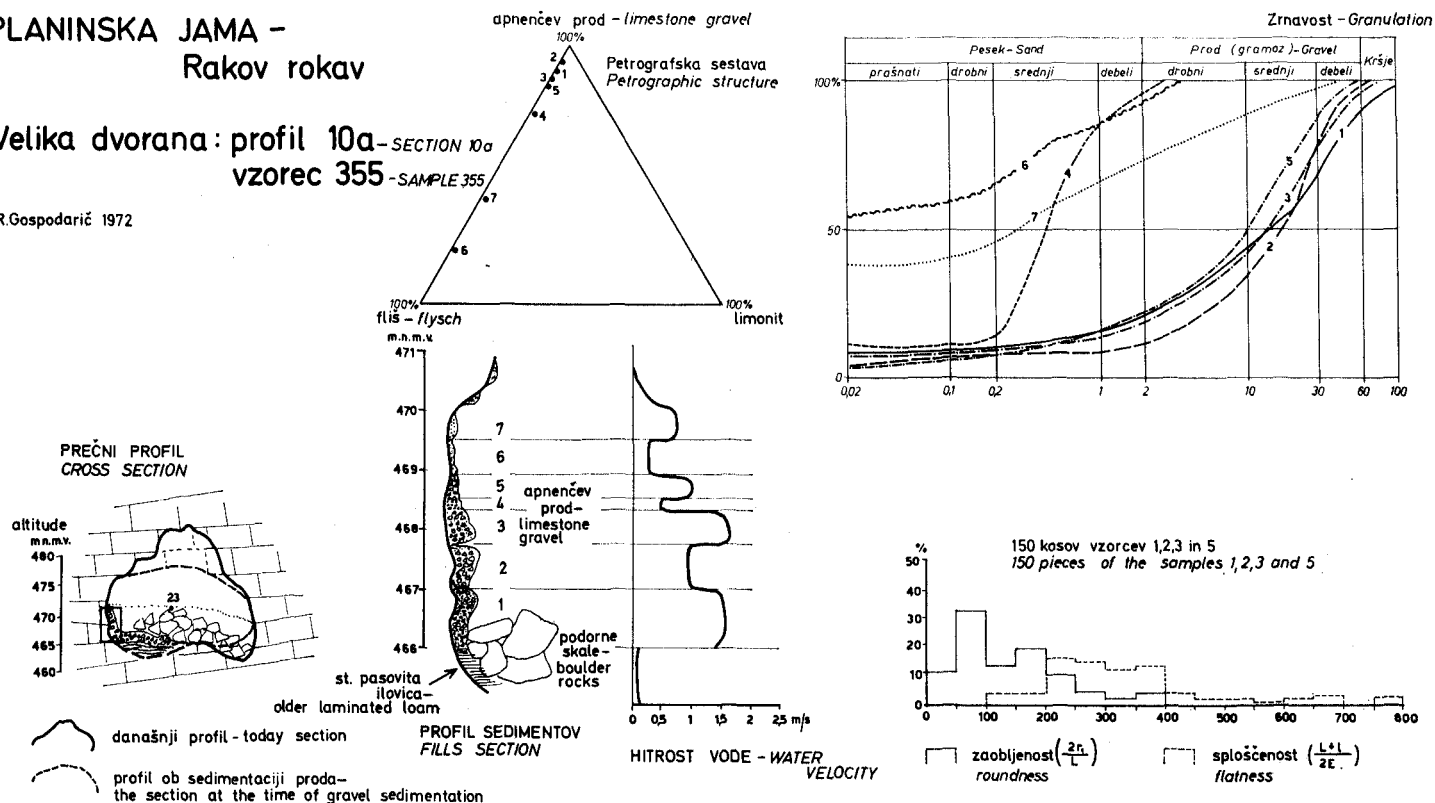
Plast 6 je ohranjena le v krpah. Razlikujemo pa lahko 9 po 1 cm debelih leč bolj debelega peska med ilovico, tako da je skupna plast debela 60 cm. Skupno ima 40 % peska in 55 % rjave ilovice ter 5 % proda. Apneni prod se ni več odlagal. Karbonatna komponenta je zastopana s sigo. Ta plast ima podobno pasovitost kot ilovica vrh apnenčevega gruča v Pivškem rokavu.

Plast 7 kaže na povečano hitrost vode, saj je zopet odloženo 27 % proda, 35 % peska in 38 % ilovice. Hitrost vodnega toka je zelo nihala, ker so med pasovi proda po štiri cm debele proge ilovice. S to plastjo je bilo odlaganje apnenčevega proda v Veliki dvorani zaključeno. Vrh nje se je kasneje le še odlagala ilovica občasne poplavne vode.

PLANINSKA JAMA - Rakov rokav

Velika dvorana: profil 10a - SECTION 10a
vzorec 355 - SAMPLE 355

R.Gospodarič 1972



Sl. 16. Planinska jama, Rakov rokav v profilu 10 a (Velika dvorana) z ohranjenim stolpcem apnenčevega proda; diagrami prikazujejo petrografske sestavo, zrnavost, zaobljenost in sploščenost proda

Fig. 16. Planinska jama, the Rak Branch at section 10 a (The Great Hall) with preserved limestone gravel column, its petrographic structure, granulation, roundness and flatness are presented by the diagrams

Analitični podatki kažejo, da se je apnenčev prod odložil na erodirano površino starejše pasovite ilovice. Spremenjena sedimentacija se je uveljavila nenadoma. Tok kalne ponornice s flišnega ozemlja (kremenov peščenjak, kremen, sljuda) je dosegal tako hitrost, da je lahko valil in prenašal po rokavu kose cenomanijskega apnenca.

Za vsako plast apnenčevega prodra smo s pomočjo eksperimentalnih krivulj (E. in W. White 1968) ugotovili kritično hitrost ponornice, pri kateri se je transportirani material že usedal. Največja hitrost 2 m/s je bila potrebna pri odlaganju plasti 3, najmanjša pa pri plasti 6. V razširjenem prostoru Velike dvorane se je prod odložil, ker se je zmanjšala transportna moč ponornice. Više ležeče plasti so se usedale že pri manjših hitrostih vode, najvišje celo pri povsem umirjenem pretoku. Rov je nato celo presušil, da se je na nasip mogla odložiti siga. Tedaj je bil Rakov rokav znatno manj prehodan kot danes, saj je bil do polovice zasut. Ob zopetni eroziji pa je bil zasip odstranjen, siga je popadala na nova tla rokava, udiralo se je tudi stropovje. Iz ponornice, ki je bila usmerjena proti današnji zatrepni dolini pri Planini, se je nato še izločila Mn snov v obliki prevleke na stene, skalne bloke ter sedimente. Zgornja meja prevleke je v Veliki dvorani nagnjena v smeri vodnega toka za 3 %.

Vodni rov

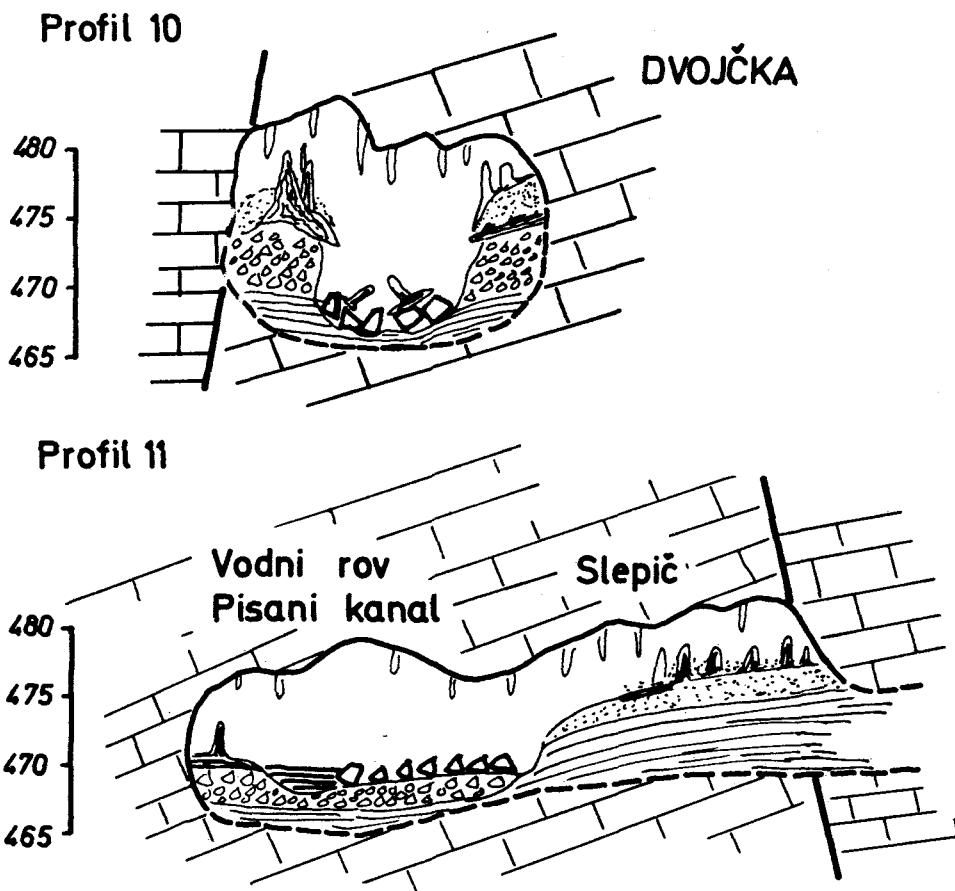
Pri Rudolfovem pristanišču je 10 m visok grič sedimentov. Zgoraj so stropne skale, spodaj pa apnenčev prod na pasoviti ilovici. Grič je naslonjen ob gladko steno do višine 472 m. Tako visoko sega tudi 3 mm debela Mn prevleka, ki jo današnji tok vode erodira. V nadaljnjem Vodnem rovu je zgornja meja Mn prevleke domala vodoravna, nagiba pa se proti Veliki dvorani. Iz tega sklepamo, da je sedimentni grič pri Dvojčkih in Rudolfovem pristanišču zadrževal ponornico v Vodnem rovu na stalni gladini v času, ko je bila sposobna izločati Mn snovi. Nizvodno pa je lahko istočasno prosto tekla proti izhodu ter prav tako izločala prevleko.

Zelo izrazita stalagmita Dvojčka sta zrasla na starejši pasoviti ilovici in apnenčevemrodu. Njuna siga pa že leži razlomljena v mlajšem vodnem koritu, ki ga je izdelala ponornica v naplavinah (profil 10, sl. 17). Tudi stalagmit je obvisel na steni, potem ko je voda erodirala njegovo podlago (tab. 11 A).

Prodni zasipi po dnu in med obema stenama so značilni in pogostni v preostalem Vodnem rovu (tab. 11 B). Zasipi omejujejo pri nizki vodi poedina jezera in oblikujejo valovita sekundarna tla rova. Zasipi, pod katerimi leži verjetno tudi pasovita ilovica, slabo prepuščajo vodo. Gladina nizke vode je za 1–2 m višja kot na obeh koncih Vodnega rova pri Dvojčkih in v začetku Pisanega kanala. Pri visoki vodi pa se poedina jezera združijo v sklenjeno reko, ki zaliva Vodni rov čez polovico, na dveh mestih oblikujejo celo sifone (1. in 2. sifonski zapirac).

Zaradi zasipov v Vodnem rovu ne vidimo skalnega dna. Domnevamo, da je na višini okoli 465 m, ker je gotovo nižje kot najgloblje jezero v rovu (467 m) in višje kot skalno dno Rakovega rokava pri Slapu (463 m).

Prehod Vodnega rova v Pisani kanal pri t. 44 je ob visoki vodi komaj opazen, ob nizki vodi pa se gladini na obeh krajih prehoda različno znižata, raz-



Sl. 17. Planinska jama, Rakov rokav v profilu 10 in 11, legenda na sliki 15

Fig. 17. Planinska jama, the Rak Branch at the sections 10 and 11, the legende on the fig. 15

krije se sedimentni prag iz podornih skal, apnenčevega proda, sige in starejše pasovite ilovice (profil 11 na sl. 17). Zahodno od prehoda je skalna zajeda, tako imenovani Slepič, na pol zadelan s pasovito ilovico in rdečo ilovico ter sigo nad njo. Ilovica je razgaljena v 3 m visokem profilu. Njene mehkejšje in trdnejše proge padajo proti vodnemu koritu, a se izravnavajo v prostoru samega Slepiča. Sestava pasovite ilovice je zelo podobna ilovici v Rudolfovem rovu in v Veliki dvorani. Tudi rdečo ilovico nad njo lahko dobro primerjamo z vrhnjo rdečo ilovico v Rudolfovem rovu. Manjka samo prod belega roženca. Pasovita ilovica je tako zadela rov med Slepičem in 400 m oddaljenim Rudolfovim rovom, da se v njem ni mogel kasneje več akumulirati apnenčev prod tako kot v Vodnem rovu.

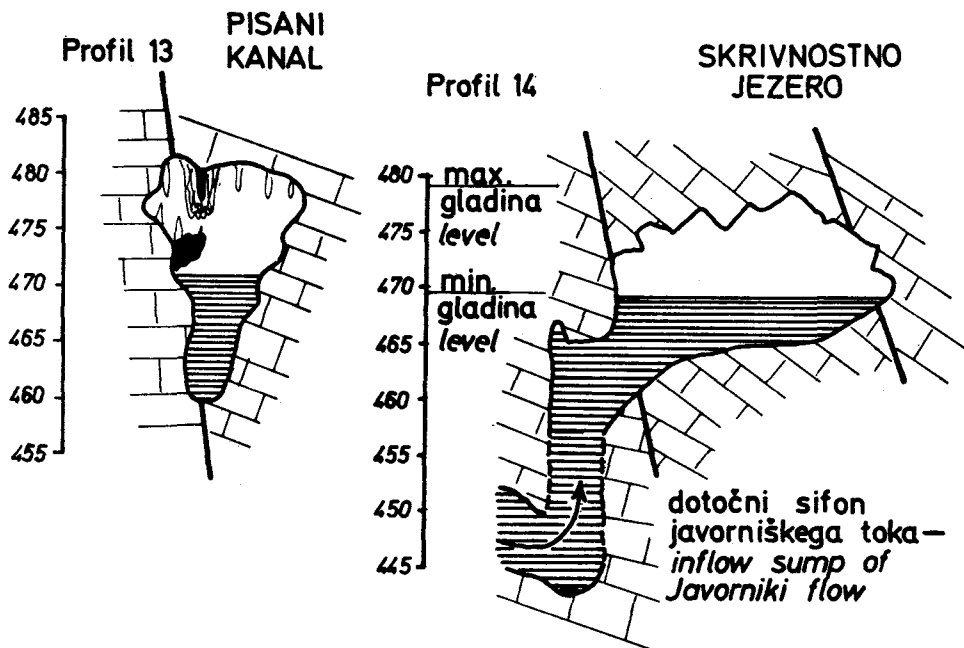
Pisani kanal

Pisani kanal poteka v več zavojih proti vzhodu 600 m daleč tja do Kapniške dvorane. Načrt (sl. 7) kaže Pisani kanal ob zelo nizki vodi na absolutni višini 468,5 m, kakor smo jo zabeležili v suhi jeseni l. 1971. Obrisi kanala so takrat bili drugačni kot med merjenjem jeseni l. 1969 ob 1,5 m višji vodi. Le ob nizki vodi je razvidna morfološka razlika med prvo in drugo polovico kanala.

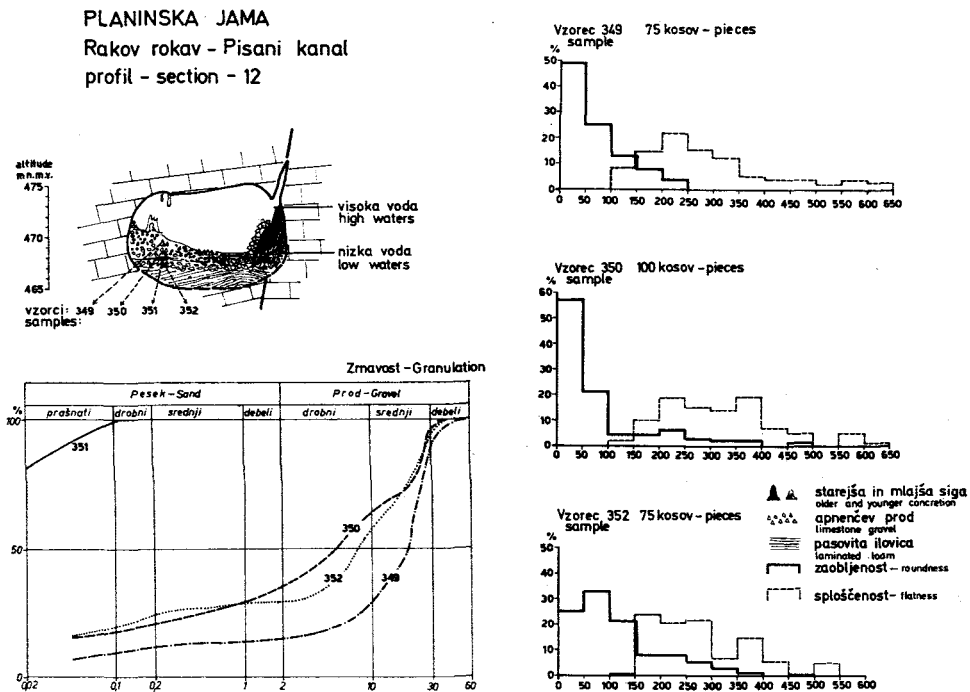
V prvi polovici so med obema stenama in ob njih številni zasipi apnenčevega proda, med njimi pa posamezna 1–3 m globoka jezera v 20 m širokem in 7 m visokem kanalu. Ob najbolj ugodnih pogojih za opazovanje pa nismo nikjer z gotovostjo videli skalnega dna kanala (tab. 12 A).

V drugi polovici kanala se stene približajo ena drugi na 10 m, strop nad vodo se poviša na 8 m, dno pa poglobi na 10 m (profil 13 na sl. 18, tab. 12 B). Tu nismo videli prodnatih kupov. Pisani kanal se konča s Šmidlovim zapiranjem, to je z znižanim stropom v 20 m širokem prostoru, ki ga visoka voda zalije.

Med zasipi smo bolj podrobno pregledali tistega pri profilu 12 (sl. 19). Ohranjen je po dnu in ob stenah rova do višine 471 m. Leži na skalnem dnu ali na starejši pasoviti ilovici, naslonjen pa je na gladko levo steno in na 6 m visok ter 3 m širok sigov stalagmit ob desni steni (tab. 12 A). Stalagmit je v spodnji polovici delno erodiran, globoke škraplje na njem so nastale ob nihajoči vodni gladini pred odlaganjem proda. Do zgornje meje zasipa sega tudi meja Mn prevleke.



Sl. 18. Planinska jama, Rakov rokav v profilu 13 in 14
Fig. 18. Planinska jama, the Rak Branch at 13th and 14th profiles



Sl. 19. Planinska jama, Rakov rokav pri profilu 12; diagrami prikazujejo zrnavost, zaobljenost in sploščenost apnenčevega proda (349, 350, 352) in vmesnega ilovnatga peska (351)

Fig. 19. Planinska jama, the Rak Branch at 12th profile, the granulation, roundness and flatness of limestone gravel (349, 350, 352) and intercalated loam's sand are presented by the diagrams

V kupu apnenčevega proda smo na vsak višinski meter analizirali povprečni vzorec. Najbolj spodnja plast (vzorec 352), ki jo je bilo še mogoče videti, je sestavljena iz 75 % proda, 10 % peska in 15 % rdečkaste ilovice. Prodniki so delno sprijeti s sigo. Vsi so iz svetlosivega apnenca z zgornjekredno foraminiferno favno, ki jo je določil R. Pavlovic. Med preiskanimi kosi je le eden iz dolomitiziranega apnenca, dva pa iz črnega apnenca, v kakršnem je izdelan Rakov rokav. Kosi imajo nizke indekse zaobljenosti do 150, indeks sploščenosti pa zavzema vrednosti 150—300 brez izrazitega viška. V pesku se manjša odstotek apnenih delcev od 90 % pri frakciji 1—2 mm, na 10 % v frakciji 0,2—0,1 mm, večja pa se odstotek v HCl netopnih snovi kot so kremen, kosi kremenovega peščenjaka, sljude in limonitnih ooidov. Kremen je večinoma oglat, le poedini kosi so zelo zaobljeni. Ilovica je rdeče barve, prav tako kot njena 20 cm debela plast (vzorec 351) nad obravnavano plastjo proda. Ta rdeča ilovica v spodnji plasti daje slutiti, da leži prod na pasoviti ilovici, ki je v drugih rovih, npr. v Slepčiču in v Rudolfovem rovu s tako ilovico pokrita.

Naslednja plast proda (vzorec 350) se od nižje ne razlikuje po zrnivosti, pač pa po slabši zaobljenosti in bolj sploščenih delcih. Ostri robovi ob zaobljenih so zelo pogosti. Poleg gladkih kosov svetlosivega apnenca je tudi 10 % avtohtonega apnenca. Peščena frakcija je enaka zgoraj omenjeni.

Vrhnja plast (vzorec 349) ima 85 % proda, največ srednje velikosti med 10—30 mm, tako kot obe spodnji plasti; peska in rjave ilovice pa je manj. Prod se je odlagal iz dokaj čiste vode. Kosi apnenca niso zaobljeni, so pa različno sploščeni. Posamezni kosi so precej razjedeni, ker so kot vrhnji najbolj izpostavljeni koroziji današnje vode. Siga, ki se je nabrala iz kapnice, je prod sprijela in obvarovala pred popolno erozijo.

Po velikosti prodnikov sklepamo, da jih je po rovu kotalila hitro tekoča voda. Odlagala jih je največ ob kolenih in razširjenih odsekih kanala, kjer se je njena hitrost oziroma transportna moč zmanjšala. Rdeča ilovica med plastema proda kaže na kratek zastoj v zasipavanju. Kot se je zasipavanje nenadoma začelo, tako se je tudi nenadoma končalo. Nad prodom ni peska in ilovice, tako kot v Veliki dvorani in v Pivškem rokavu. Voda se je umaknila iz rova, da je lahko nastajala siga vrh odloženega proda.

Iz opisanih pojavov lahko sestavimo naslednje stratigrafsko zaporedje sedimentov in razvojnih stopenj, ki velja za ves Rakov rokav:

- 1 — današnja situacija,
- 2 — črna prevleka,
- 3 — erozija sedimentov,
- 4 — siga na produ,
- 5 — apnenčev prod,
- 6 — siga,
- 7 — pasovita ilovica,
- 8 — skalni rov brez podorov.

SEDIMENTI MED SOTOČJEM IN JAMSKIM VHODOM

V Sotočju se združita Pivški in Rakov rokav, njun skupni rov je usmerjen proti jamskemu izhodu. Šest metrov globoka ponornica teče spočetka v 15 m širokem in 20 m visokem erozijskem rovu, nato pa pod Visoko dvorano kmalu doseže vhodno zatrepno dolino. V začetnem 80 m dolgem odseku rova je voda že erodirala skoraj vse sedimente. Le na skalni polici, 4 m nad vodo je ohranjenega nekaj proda pisanega roženca (vzorec 356), 8 m više pa se stene še drži sprijet ostanek apnenčevega proda (vzorec 306). Na stropu je obvisela kopa sige, potem ko je bil sediment, ki se je nanj odložila, odstranjen. Visečih kop je pri Sotočju še več (tab. 13 A).

Vzorec 356 na skalni polici ima 90 % proda in 10 % peska. V produ so zaobljeni kosi pisanega roženca in kremenovega peščenjaka. V pesku je zaobljen in oglat kremen, nekaj sljude in roženca. Petrografska sestava in zrnavost sta zelo podobni pisanemu rožencu v Pivškem rokavu (glej sl. 21). Obravnavano nahajališče je zadnje in najbližje današnjemu izhodu. Po legi sodeč je bilo skalno dno med njegovim odlaganjem v višini ohranjene police na 461 m, pozneje pa se je poglobilo za okoli 6 m.

Vzorec 306 je apnenčev prod sprijet v konglomerat na višini 471 m. Prodniki iz svetlosivega cenomanijskega apnenca so med vsemi do sedaj pregledanimi vzorci apnenčevega proda po jami najbolj zaobljeni.

Tu pri Sotočju vidimo znatno večji učinek zadenske erozije kot v ostali jami, saj je današnje skalno dno nižje za 6 m od fosilnega. Poglobitev zasledujemo še tja v Rakov rokav do skalne stopnje pri Slapu, še bolj izdatno erozijo pa v Pivškem rokavu do skalne stopnje pri Šmidlovem prehodu. Mlajša erozija se je v Pivškem rokavu bolj uveljavila kot v Rakovem rokavu.

Visoka dvorana in Tiha jama

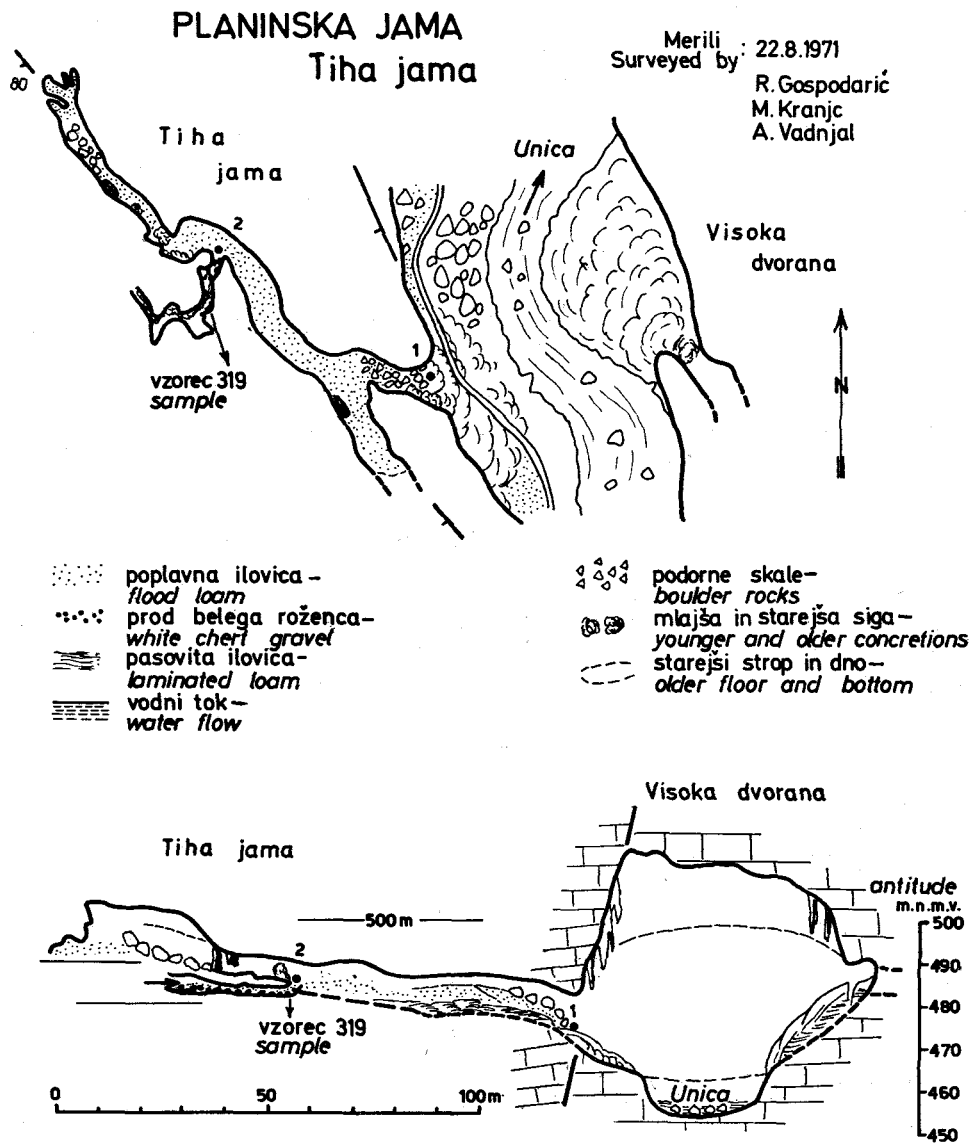
Za Sotočjem se rov razširi v Visoko dvorano (sl. 20), 60 m visok in širok prostor z dvema rovoma v višini njegovega srednjega, najširšega dela. Prvi rov ob desni strani je zasigan in zasut z mlajšo pasovito ilovico, drugi rov ob levi steni pa je 180 m dolga Tiha jama s poplavno ilovico in prodrom belega roženca.

Spodnja tretjina Velike dvorane je v območju današnjega vodnega toka. Voda teče v brzici proti izhodu. Le redkokdaj se povzpne 2—3 m, tedaj tudi doseže zgornjo mejo črne prevleke na višini 457 m. To mejo dobro vidimo v 20 m dolgem in širokem ter 6 m visokem skalnem kanalu, ki je bil vrezan v živo skalo tedaj, ko se je skalno dno po vsej jami poglobljalo tja do Slapa in Golgote. Pred poglobljanjem je ponornica tekla skozi više ležeči rov z dnom na višini okoli 465 m, ki ga danes pokrivajo podorne skale, ilovica in siga. Tudi zgornja tretjina Velike dvorane je mlajšega nastanka, saj se je strop zvišal zaradi odloma skal. Te skale je voda večinoma že odstranila.

V srednji tretjini Visoke dvorane sta ob levi in desni strani dva bregova sige. Nad njo so podorne skale, pod njo pa rjavo peščena ilovica, ki je podobna mlajši pasoviti ilovici v Pivškem rokavu. Tu nismo videli apnenčevega proda, ki pa je nedvomno bil odložen, saj smo ga ugotovili v neposredni bližini pri Sotočju.

Pod levo previsno steno je vhod v glavni rov Tihe jame, ki poteka v smeri severozahod-jugovzhod, in je na obeh krajih zadelan z rjavo ilovico. Verjetno se nadaljuje v obe smeri proti Mrtvaškemu rovu pri Golgoti oziroma k ostanku rova ob Sotočju. Primarni strop nekdanjega vodnega kanala Tihe jame poteka v višini okoli 490 m, dno pa okoli 480 m, kot je mogoče domnevati po višini vhoda pri t. 1 in višini skalnega rova pri t. 2. V glavnem rovu namreč skalno dno nikjer ni razgaljeno, ker ga pokriva rjava ilovica, podorne skale in siga dveh generacij. Osamljeni stebri iz rjave sige so iz starejše, stalaktiti in stalagmiti ter sigove ponvice pa iz mlajše bele sige. V skalnem, ozkem in vijugavem rovu pri t. 2 smo pod rjavo ilovico, na skalnem dnu in v zajedah sten našli prod in konglomerat belega roženca (vzorec 319). Po petrografski sestavi in zrnavosti, razmerju do skale in po višini odlaganja se ta zasip ujema s podobnim zasipom v Mrtvaškem rovu, Katernovem rovu in Rudolfovem rovu (sl. 23). Zato je več kot verjetno, da se je v teh rovih pojavil v isti razvojni stopnji.

Zaradi zakritih in slabo ohranjenih sedimentov je težko sestaviti razvojno sliko Visoke dvorane in Tihe jame. To še posebej iz razloga, ker tu ni videti stratigrafske zveze med prodrom belega roženca in apnenčevim prodrom, dveh pomembnejših naplavin v Planinski jami. Zato le domnevamo, da so bile v



Sl. 20. Planinska jama, tloris in vzdolžni profil Tihe jame ter njena lega ob podorni Visoki dvorani, kjer teče Unica proti jamskemu izhodu

Fig. 20. Planinska jama, the ground plan and longitudinal section of Tiha jama and its situation near collapsed Visoka dvorana (The High Hall) where Unica flows towards cave entrance

Visoki dvorani odložene naplavine proda pisanega roženca, starejša pasovita ilovica in nato apnenčev prod tako kot v Pivškem rokavu. Mlajša pasovita ilovica pa je že zapolnila oba rokava skoraj do višine 490 m. Prej pa je v Tihi jami še računati s skromnim zasipom novega skalnega rova s prodom belega roženca. Kasneje je ponornica erodirala naplavine in skalno dno v Visoki dvorani, v Tihi jami pa je nastajala siga.

Pri mlajši eroziji se je verjetno izoblikoval elipsasti prečni profil današnjega vhoda v Planinsko jamo (tab. 13 B). Starejši, više ležeči rov pa je še delno ohranjen v slepem rovu desno od vhoda, kjer ilovica lahko ustreza poplavni ali pasoviti iz notranjosti jame. Ta zasuti rov se verjetno nadaljuje v pobočju zatrepne doline proti severu. Lisična v Nartu (kat. št. 2992) z nadmorsko višino vhoda 480 m in dolžino 80 m v desnem pobočju doline je morda še sestavni del tega starejšega rova in jamskega izhoda. Pred nastopom mlajše erozije je bila verjetno zatrepna dolina Planinske jame takšna, kot je današnja sosednja zatrepna dolina Malenščice, kjer pa mlajša erozija ni uspela odstraniti podornega materiala, ker se je voda Raka usmerila proti prodonosni in niže tekoči Pivki.

SKLEPI O SEDIMENTIH IN RAZVOJNIH STOPNJAH PLANINSKE JAME

Iz pregleda in opisa nahajališč jamskih sedimentov lahko izluščimo več sklepov o vrstah in relativni starosti, o načinu odlaganja in transporta ter o izvoru sedimentov v Planinski jami. Prav tako so možni sklepi o tem, kako se je v obdobju nanosa prvega sedimenta do danes spreminjala oblika Planinske jame.

Po značilni sestavini in izvoru razlikujemo alohtoni

- prod pisanega roženca kot najstarejšo naplavino, nato
- starejšo pasovito ilovico,
- prod belega roženca,
- apnenčev prod kot delno paravtohtono naplavino,
- mlajšo pasovito ilovico in
- poplavno ilovico kot najmlajšo naplavino.

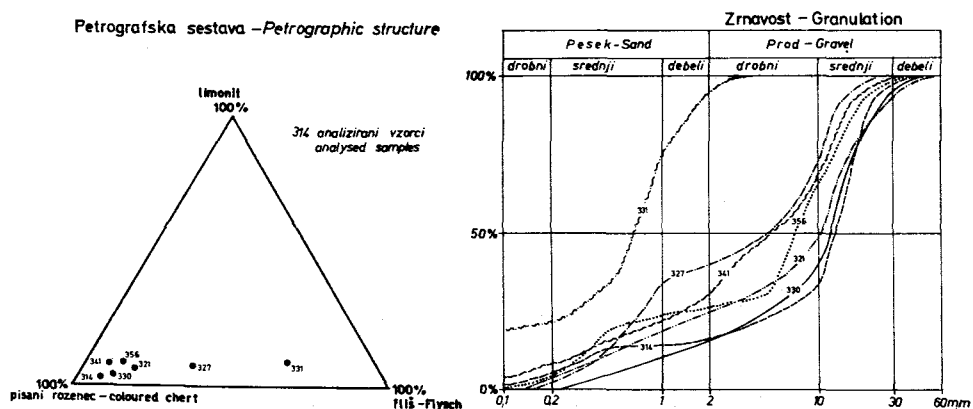
Med avtohtonimi sedimenti poznamo več generacij sige, črno Mn prevleko in podorne skale.

ALOHTONI SEDIMENTI

Prod pisanega roženca

Prod najdemo v Pivškem rokavu na nekdanjem skalnem dnu v višini 467 m pri pritočnem sifonu in na 461 m pri Sotočju. Nastopa v največ meter debeli, s karbonatnim vezivom v rahel konglomerat sprijeti plasti. Plast ni sklenjena, ker se naplavina ni povsod odložila, na mnogih mestih pa je bila kasneje tudi erodirana.

Petrografska sestava obravnavane naplavine pokaže na povprečno 70 % roženca v prodni frakciji ter 30 % flišnih in limonitnih sestavin v peščeni frakciji (sl. 21). Slednje sestavine povedo, da je naplavino odložila Pivka iz flišne in s kvartarnimi sedimenti pokrite Pivške kotline. Le tako si je mogoče tudi raz-



Sl. 21. Planinska jama; diagrama petrografske sestave in zrnivosti pisanega roženca iz Pivškega rokava

Fig. 21. Planinska jama; the diagrams of petrographic structure and granulation of coloured chert from the Pivka Branch

ložiti prisotnost zelo zaobljenih prodnikov pisanega roženca, ki se niso zaoblili le pri podzemeljskem pretoku, ampak so že zaobljeni bili odnešeni najprej v podzemlje Postojnskih jam, nato pa v Pivški rokav Planinske jame.

Zrnavost analiziranih vzorcev je pokazala najmanj 60 % srednjega in drobnega proda in največ 40 % peska. Le en vzorec (331) iz zasipa pri profilu 2 in 5 ima samo pesek in ilovico. Tu smo ugotovili postopni prehod prodne v ilovnato plast.

Če uporabimo empirične podatke o minimalni hitrosti vode, pri kateri se začne usedati na skalo dno v podzemlju srednji prod (E. in W. White 1968, 124), ugotovimo, da je v našem primeru morala teči Pivka najmanj 1 m/s hitro, tedaj ko je prod prenašala in odlagala. Če nadalje upoštevamo dobro viden prehod v krovno pasovito ilovico potem lahko rečemo, da pomeni naplavina pisanega roženca neko končno erozijsko razvojno stopnjo v podzemlju in njen prehod v izrazito akumulacijsko razvojno stopnjo, ki jo nakazuje krovna starejša pasovita ilovica. V poglavitnem erozijskem obdobju je Pivka tekla hitreje in pri tem s pomočjo proda tudi erodirala skalni rov. Tedaj je morda tudi zahajala v Rakov rokav, vendar je bil njen poglavitni tok le usmerjen proti današnjemu izhodu, kajti v Rakovem rokavu pisanega roženca nismo našli.

Starejša pasovita ilovica

Starejša pasovita ilovica je v Planinski jami najbolj razširjena alohtona naplavina. Pri sifonu v Pivškem rokavu sega do višine 471 m, v zasipih po rokavu pa še meter ali dva višje. V Rakovem rokavu, v Rudolfovem rovu, je razgaljena v debelini 5 m do višine 575 m, zadnje najdišče pa je v Pisanem kanalu prav tako visoko. Te ilovice nismo našli niti v Kapniški in Podorni dvorani ter v Skrivnostnem jezeru, niti okoli Sotočja in ob današnjem jamskem

vhodu, ker je od tod verjetno že erodirana. Spodnja meja odlaganja je vezana na višino odložene plasti pisanega roženca, na nagnjeno skalno dno ter obliko rovov. Po ohranjenih erozijskih ostankih lahko nedvomno sklepamo, da je starejša pasovita ilovica prekrila domala vse rove Planinske jame do polovice, nekatere odseke pa celo do stropa.

Pasovitost je najbolj značilna na zunaj vidna lastnost obravnavane naplavine, ki je ni mogoče zgrešiti. Naplavino namreč sestavljajo 1 do 100 mm debeli pasovi raznobarvne ilovice. Debelejši pasovi so iz svetlejše sive do rjavosive ilovice, tanjši pa iz temnejše rjave rdeče in črne ilovice. Vsak svetlejši in tudi mehkejši pas prehaja navzgor v temnejšega in trdnjega, ta pa je od naslednjega svetlejšega pasu ostro ločen. Na zgornji površini trših pasov so vidne paralelne raze, verjetno odtisi tokovnic ali drsenja peščenih zrn krovnega mlajšega pasu. Takšno zaporedje pasov je dalo povod za sklepanje o nekakšnih podzemeljskih »varvah«. Na nek način smo želeli med seboj primerjati različne profile pasovite ilovice in ugotoviti eventualno skupno ali enako zaporedje ilovnatih pasov, ki bi govorili o podobnih klimatskih ali hidroloških pogojih usedanja. Zato smo »varve« preštevali in sestavili njihove diagrame po metodi, ki jo je izdelal G. de Geer (F. Zeuner 1952, 20) za prave ledeniške varve.

Princip de Geerove metode je v nanašanju posameznih varv na dolžinsko enoto abscise, njihove debeline pa na ordinato. Tako dobljeni črtni diagram z različno izraženimi vrhovi ali konicami odraža zaporedje različno debelih pasov. Po skupnih izrazitih konicah, ki pri pravih ledeniških varvah kažejo na letno in zimsko sedimentacijo, je možno tudi ugotoviti relativno starost varov sosednjih in zelo oddaljenih profilov (sl. 22).

»Varve« smo prešteli v šestih nahajališčih starejše in mlajše pasovite ilovice po Pivškem rokavu in v Rudolfovem rovu. Plasti te ilovice se razpenjajo med plastjo pisanega roženca v talnini in apnenčevim prodrom v krovlini v višinah med 464 m in 475 m, mlajša pasovita ilovica pa sega še više. Ko smo sestavili ustrezne diagrame, ki jih prikazuje sl. 22, pa se je pokazalo, da se med seboj le malo ujema. Tako ni bilo mogoče izluščiti nič zanesljivega o skupnih klimatskih, hidroloških ali kronoloških pogojih usedanja ilovice. Opreti pa se ni bilo mogoče niti na podatke iz literature. A. Bögli (1970, 55) sicer meni, da pasovi ilovice (Bändertöne), kot jih je spoznal v švicarski jami Hölloch, na splošno pomenijo nastopanje in umikanje kalne vode, ni pa ustrezne sedimentacije bolj podrobno pojasnil. M. W. Reams (1968) je pasovito ilovico preučeval v ameriških jamah Missourija in menil, da se je vsaka lamina odložila v jamo med občasnimi nevihtami. Ker je npr. v Wales Spring Cave (1968, 52) našel 10 lamin na mm, je ob upoštevanju debeline in pogostnosti današnjih neviht sklepal, da se je 3 m debela plast pasovite ilovice odložila v 610 letih. To bi veljalo za ponorne jame, kjer je vpliv poplav na sedimentacijo neposreden. Znatno daljše časovno razdobje (okoli 70 000 let) sedimentacije pa je dobil za podobne ilovice v pretočnih ali izvirnih jamah, kjer se morejo uveljaviti le ekstremne poplave v 50- ali 100-letnem presledku. Mnenje, da se pasovite ilovice v ponornih jamah odložijo lahko v zelo kratkem času, zastopa tudi Th. Wolfe (1973).

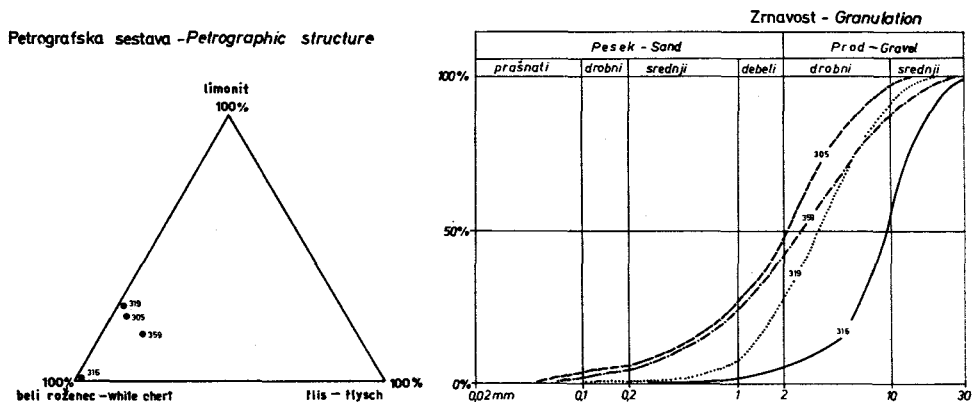
Ker izvedeni poskus preštevanja »varv« pasovite ilovice v Planinski jami zaenkrat ni bil uspešen, se moramo v okviru zastavljene naloge zadovoljiti samo

z ugotovitvijo, da starejša pasovita ilovica govori za neko akumulacijsko obdobje v razvoju jame, ko se skalni rovi niso širili in poglobljali, pač pa konzervirali. Umirjene hidrološke razmere v dotočnem podzemlju pa so bile nujno povezane s pritočnim zaledjem v Pivški kotlini, saj je od tam prihajala ponornica z ilovnatim blatom, a tudi s hidrološkimi in morfološkimi razmerami na Planinskem polju ali vsaj ob jamskih izhodih, ki so povzročale napenjanje vodne gladine do 475 m. Vodna gladina eventualnega Planinskega jezera je morala tedaj pogosto nihati in se dvigovati prav tako visoko.

Tu se je treba vprašati, ali se je tedaj bila tudi v Planinsko polje odložila pasovita ilovica ali podobna naplavina. Dosedanji viri omenjajo na polju le tanke holocenske naplavine pod ravnino polja na 450 m. Pač pa je iz razprave I. Gamsa (1963, 41) o Logarčku, etažni jami pri Lazah, razbrati, da je njen Glavni rov na višini okoli 470 m na debelo pokrit z ilovico rdeče in bele barve. Ta višina sedimentacije bi ustrezala tisti v Planinski jami. Če pa gre v obeh primerih za istodobno naplavino, bi bilo treba še ugotoviti s podrobnimi preiskavami naplavin v vseh jamah na severnem in zahodnem obrobju Planinskega polja. Zaenkrat lahko rečemo, da je istodobna akumulacija v jamah okrog Planinskega polja bila možna in verjetna.

Prod belega roženca

To naplavino smo našli v Mrtvaškem rovu na 475 m, v Katernovem rovu na 490 m, v Rudolfovem rovu na 480 m in v Tihi jami na 485 m višine. Ostanke naplavine so ob skalnih zajedah mlajših rogov in le v Rudolfovem rovu ležijo vrh starejše pasovite ilovice. Ponornica je odložila naplavino v zapolnjeno Planinsko jamo, v zgornje tretjine njenih rokavov pod strop ali v samostojne, višje ležeče rove, ki so bili izoblikovani okoli Sotočja nad višino 475 m.



Sl. 23. Planinska jama; diagrama petrografske sestave in zrnivosti proda belega roženca

Fig. 23. Planinska jama; petrographic structure and granulation diagrams of white chert gravel

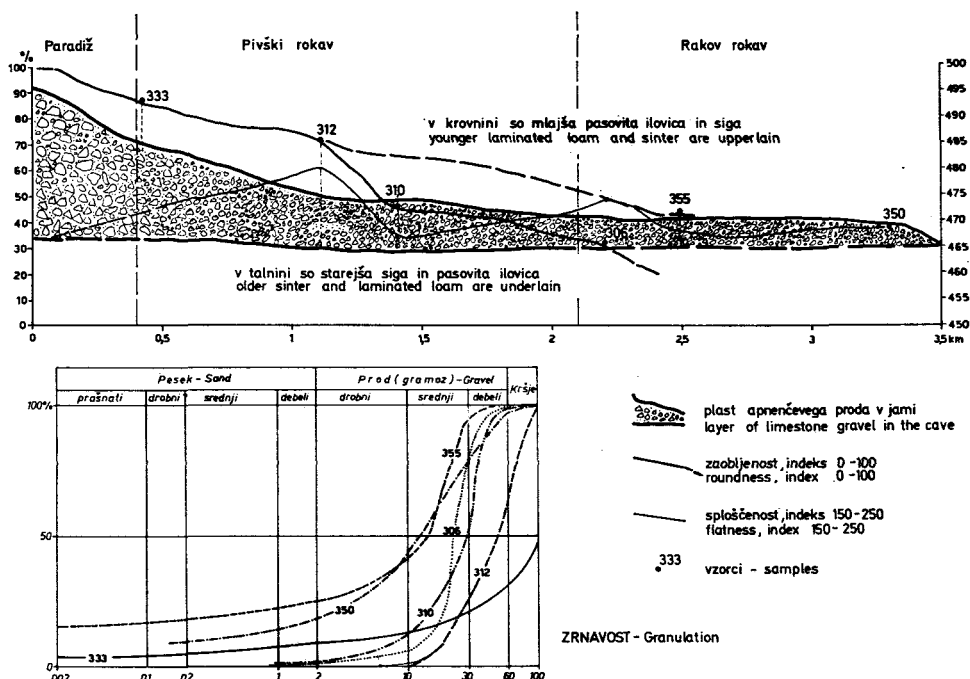
Analize so pokazale, da ima ta naplavina okoli 50 % drobnega in 10–40 % srednjega proda, ostalo pa je pesek (sl. 23). Prodniki so iz belega in svetlosivega roženca. Zelo zaobljeni imajo rjavkastordečo površino, a tudi delno preperel limonitiziran zunanji ovoj. Dva zbruska prodnikov iz Katernovega in Rudolfovega rova sta pokazala na enakomerno drobnozrnato osnovo kalcedona s sledovi opala in kalcita. V osnovi nastopajo iglice in palčke iz nekoliko večjih zrn kalcedona (tab. 20 A, B, C). Te palčke so proti okolici ostro omejene, po dve usločeni oklepata pogosto oster kot. To niso igle silicijskih spongi, ampak prej fosilni ostanki makroforaminifer. Podobne primere lepše ohranjenih fosilnih ostankov bomo videli kasneje v prodnikih enakega roženca v naplavinah Postojnske jame. Zelo številni so tudi okrogli in ovalni skupki večjih zrn kalcedona, ki predstavljajo ostanke radiolarij. Posamezni deli zbruska so obarvani z rjavim železovcem. Tako kot prodniki so tudi peščena zrna roženca, kremenca in kremenovega peščenjaka limonitizirana. V ooidih, delcih skorij in cevkah pa nastopa tudi sam limonit.

Opisana petrografska sestava naplavine z belim rožencem dokazuje njen alohtoni izvor iz paleogenskih kamenin ter kvartarnih sedimentov Pivške kotline. Naplavina z belim rožencem dokazuje, da so po odložitvi starejše pasovite ilovice nastopili v Planinski jami drugačni pogoji sedimentacije. Ponornica je mogla zopet hitreje (najmanj 0,5 m/s) iztekati na Planinsko polje. V zapolnjenem podzemlju je imela zelo neuravnan strmec, njena gladina je močno nihala med 475–490 m višine, saj je v tem razponu odlagala tu in tam nepravilne leče proda belega roženca. Ker ga je v primerjavi z drugimi naplavinami zelo malo, se zdi, da ga je voda le občasno in v zatišnih mestih sedimentirala, večinoma pa odnesla skozi podzemlje. Obravnavani prod nakazuje erozijsko razvojno obdobje podzemlja, ali pa vsaj razvojno obdobje, ki se je bistveno razlikovalo od prejšnjega akumulacijskega obdobja.

Apnenčev prod

To naplavino (sl. 24) zasledujemo v Pivškem in Rakovem rokavu kako pokriva starejšo pasovito ilovico, roženčev prod in starejše skalno dno. Drži se tudi sten v večjih ali manjših krpah. V splošnem je proda znatno več v pritočni polovici Pivškega rokava kot v odtočni. V Rakovem rokavu so njegovi zasipi po dnu med obema stenama. Najbolj je prodna plast erodirana med Sotočjem in jamskim vhodom.

Pri podrobnem obravnavanju posameznih nahajališč smo videli, da sega apnenčev prod v Paradižu 495 m, v sredini Pivškega rokava 480 m, za Sotočjem pa 471 m visoko. V Rakovem rokavu sega plast do višine 470 m. Trdna, delno manganizirana zgornja meja prodne plasti ima največji strmec v Paradižu, manjšega pa proti Sotočju in v Rakov rokav. Spodnjo mejo plasti pa je bilo mogoče rekonstruirati s pomočjo najnižje ležečega kontakta s talno starejšo pasovito ilovico v srednjem delu Pivškega rokava in v Rakovem rokavu, kjer je okoli 465 m visoko. V posameznih nahajališčih je plast različno debela in različno visoko odložena, ker se je odlagala ustrezno razsežnostim vodnega kanala in valoviti podlagi pasovite ilovice. Tudi erozijski ostanki na stenah so različno visoko. Za skupen zasip lahko trdimo, da se je usedal kot vršaj v pod-



Sl. 24. Planinska jama; shema vršaja apnenčevega proda s krivuljami zaobljenosti in sploščenosti analiziranih vzorcev (333, 312, 310, 306, 355, 350). V Paradižu je prod najdebelejši, krajem Pivškega in Rakovega rokava pa najdrobnejši kot kažejo krivulje zrnivosti

Fig. 24. Planinska jama; the scheme of the limestone gravel fan with roundness and flatness curves of analysed samples (333, 312, 310, 306, 355, 350). The gravel is the thickest in Paradise, at the end of the Pivka and Rak Branches it is the thinnest as it is shown by the granulation curves

zemeljski prostor, izvor materiala pa je iskati v zaledju Pivškega rokava oziroma Paradiža (R. Gospodarič & R. Pavlovac 1974).

V vršaju postaja razmerje med prodom (kršjem), peskom in ilovico v smeri transporta ugodnejše za nižje frakcije. V Paradižu znaša to razmerje 92 : 4 : 4, v Rakovem rokavu pa 75 : 10 : 15. V smeri transporta so kosi apnenca vedno bolj zaobljeni, medtem ko se sploščenost močno spreminja (glej krivulje na sl. 24).

Petrografsko imamo v vseh preiskanih vzorcih in nahajališčih opraviti v prodni frakciji in v frakciji debelega peska z belim in svetlosivim zrnatim apnencem, v frakciji srednjega in drobnega peska pa še z zrni kremenovega peščenjaka, kremenca, roženca in sljude ter limonita. Med apnencem so le redki kosi avtohtonega temnosivega apnenca.

V vzorcih (333, 312, 310, 314) iz Pivškega rokava in Rakovega rokava (355, 355/1, 350, 352) je R. Pavlovac pregledal z bruske apnenčevih kosov in v njih našel sledečo mikrofavno cenomanijske starosti:

Species	R	P
? <i>Aeolissacus</i> sp.		?
<i>Bacinella irregularis</i> Radoičić		+
? <i>Thaumatoporella</i> sp.		?
<i>Textulariidae</i> na splošno	+	+
<i>Textularia</i> sp.		+
<i>Cuneolina</i> sp.	+	+
<i>Cyclolina</i> sp.	+	+
<i>Dicyclina</i> sp.	+	
<i>Spiroloculina</i> sp.	+	+
<i>Miliolida</i> na splošno	+	+
<i>Quinqueloculina</i> sp.	+	+
<i>Triloculina</i> sp.	+	+
<i>Nummoloculina</i> sp.		+
<i>Nezzazata simplex</i> O m a r a	+	+

R = Rakov rokav Planinske jame
P = Pivški rokav Planinske jame

+ = ugotovljen mikrofossil
? = podatek je nezanesljiv

V obliki vršaja, zrnivosti in petrografski sestavi ter v fosilni mikrofavni imamo dovolj dokazov za trditev, da apnenčev prod izvira iz neposrednega zaljedja Pivškega rokava, verjetno iz območja udornice Planinske koliševke. Ta je v cenomanijskem apnencu kot je razvidno iz geološke karte Postojnskega krasa (sl. 3 in 4), od Paradiža je oddaljena 150 m, njeno današnje dno je 70 m nad tlemi Paradiža. Apnenčev prod je možno imeti za paravtohtoni jamski sediment.

Flišni pesek med prodom kaže, da je jamska reka pritekala iz Pivške kotline. Na poti k današnji Planinski jami je trčila na kršje nastajajoče udornice. Bila je sposobna to kršje odstranjevati, valiti in nato odlagati po podzemlju v smeri svojega toka najmanj 3,5 km daleč. Za tak transport in zasipavanje ni bilo dovolj, da je voda morala teči zadosti hitro in imeti ustrezen strmec tja do izтока na Planinsko polje, ampak je moralo biti na voljo tudi dosti razpadajočega apnenca. Po približnih izračunih je v Planinsko jamo preložila najmanj pol milijona kubikov apnenčevega proda iz udornice Planinske koliševke, ki je nastajala na površju pri mehanskem razpadanju v hladni klimi.

Pomembno je poudariti, da se spodnji del vršaja razteza tudi v Rakov rokav. Jamska reka tedaj ni samo tekla proti današnjemu izhodu, ampak tudi proti Malnom. Ker je tu tekla že prej, ko je odlagala starejšo pasovito ilovico in verjetno tudi prod belega roženca lahko trdimo, da je Rakov rokav in zatrepno dolino v Malnih oblikovala prodonosna Pivka bolj kot brezsedimentni Rak.

Odpira se vprašanje, čemu v drugi polovici Pisanega kanala ni zasipa apnenčevega proda. Če ga je voda odložila v prvi polovici v enakomerni debelini 4 m na debelo, potem je bolj verjetno, da se je njegova plast v tej debelini

nadaljevala po vsem Pisanem kanalu in v rovih pod Podorno in Kapniško dvorano kot pa, da bi se izklinila. Možno je torej, da je bil od tod apnenčev prod kasneje odstranjen z zadensko erozijo, skalno dno pa pogobljeno, tako kot v današnjem vhodnem delu Planinske jame do Sotočja, Slapa in Šmidlovega prehoda. Tu se izpraznjenje odvija še danes, v Pisanem kanalu in tja do Malnov pa je bilo prekinjeno, ker Pivka kasneje ni več tekla v Rakov rokav, ampak samo še proti Planini. Nekdanjo vodno pot proti Malnom na Planinsko polje je izkoristil za svoj odtok Javorniški tok.

Pri podrobnem opisu profilov smo spoznali, da apnenčev prod ne leži samo na starejši pasoviti ilovici, ampak tudi na erodirani sigi najstarejše ugotovljene generacije. To pomeni, da je avtohtoni sedimentaciji v topli dobi sledila najprej erozija, nato pa odlaganje apnenčevega proda v hladni klimi, ko je na golem površju nastajal mehanski grušč. Površje je seveda tedaj razpadalo tudi ob južnem robu Planinskega polja nad tankim stropom izvirnih rogov Planinske jame. Podrti material je jamska reka nekaj časa uspešno odstranjevala in oblikovala obe zatrepni dolini. Ko pa se je njena sposobnost erodiranja zmanjšala, je začela odlagati na apnenčev prod v jami mlajšo pasovito ilovico, podorne skale pa so verjetno zasule jamske izhode v zatrepnih dolinah.

Tu je treba še pojasniti stratigrafsko razmerje apnenčevega proda do proda belega roženca. Nikjer v jami nismo našli profila z obema naplavinama skupaj. Zato lahko le posredno ugotovimo, da je prod belega roženca starejši zato, ker leži neposredno na starejši pasoviti ilovici in pod rdečkasto najstarejšo sigo, ki jo apnenčev prod kot mlajši, pokriva.

Mlajša pasovita ilovica

Na vršaju apnenčevega proda v Pivškem rokavu je do 1,5 m debela plast pasovite ilovice. V nahajališču pri 4. in 5. mostu smo v njej našli 100—120 »varv«, ki pa imajo za razliko od varv v starejši pasoviti ilovici pod apnenčevim prodom več tankih pasov peska. Po ostankih v Mrtvaškem rovu in v Visoki dvorani sklepamo, da je ta naplavina pokrivala Pivški rokav in starejše naplavine do višine nekaj nad 480 m. Ker se vršaj proti Paradižu dvigne nad to višino, tam ilovice nismo opazili. V Rakovem rokavu je ta ilovica v Veliki dvorani in pri Dvojčkih, drugod pa je verjetno bila erodirana. V Rudolfov rov verjetno sploh ni bila odložena, ker je bil njegov vhod zadelan z apnenčevim prodom.

Mlajša pasovita ilovica kaže, da se je po odložitvi apnenčevega proda vzpostavilo akumulacijsko obdobje, kakršno je vladalo med sedimentacijo starejše pasovite ilovice.

Poplavna ilovica

Na gričih starejših sedimentov vidimo v Pivškem in Rakovem rokavu do 1,5 m debelo plast rjave do rdeče ilovice. Najdemo jo tudi v stranskih rovih nad prodom belega roženca in sigo. Zanimiva je ilovica med najmlajšo in mlajšo sigo pri 5. mostu v Pivškem rokavu, ker kaže, da je med dvema sigotvornima dobama visoka Pivka občasno zalila jamo do stropa v višini 490 m in čez.

Izvor ilovice je iskati v ustrezni prsti na kraškem površju in v zaledju obeh ponornic Pivke in Raka. Poplavno ilovico med dvema različno starima

sigama poznamo tudi iz sosednjih Zelških jam, Male in Velike Karlovice ter Postojnske jame, kar dovoljuje sklepati, da je bilo podzemlje Postojnskega krasa v eni mlajših razvojnih stopenj poplavljenno.

AVTOHTONI SEDIMENTI

Siga

Po stratigrafski legi smo spoznali v Planinski jami tri generacije sige.

Starejša siga leži pod apnenčevim prodrom v Pisanem kanalu Rakovega rokava, pri 7. in 5. mostu v Pivškem rokavu, njeni erozijski ostanki so še vidni na stenah Paradiža ter v Tihi jami, Katernovem rovu in vrh proda belega roženca v Rudolfovem rovu.

Mlajša siga leži nekje nad mlajšo pasovito ilovico, drugje nad apnenčevim prodrom. Posebno obilno je ohranjena vrh proda v Paradižu. Sem spada tudi siga pod stropom pri Zadnjem stebru, pri 5. mostu ter okrog Sotočja, kjer so njene kope in stalagmiti obviseli na stropu potem, ko je bila erodirana njihova naplavljena podlaga. Iz mlajše sige so stalagmit Samotar v Veliki dvorani in Dvojčka v Rakovem rokavu ter druge sige, ki so nad apnenčevim prodrom v tem rokavu. Mlajša siga je nastajala v zapolnjeni jami, ko v njej ni bilo ponornice. Kasnejša erozija jo je precej erodirala, njene kose najdemo tudi med podornimi skalami.

Najmlajša siga nastaja v vseh rovih, kjer doteka skozi strop ustrezna kapnica. Poleg tega, da curljajoča voda odlaga sigo v osamljene stalagmite, skupine stalaktitov in pobočne pragove, pa ponekod tudi korodira starejše naplavine in sigo. Najmlajša siga se odlikuje po raznih barvah, kristalnih površinah in homogenosti. V tem pogledu se močno razlikuje od starejših sig, ki so manj trdne in homogene, a bolj porozne in pretežno rdečkaste barve.

Absolutna starost sige

Nekatere primerke sige, ki smo jih stratigrafsko spoznali za različne, so s posredovanjem dr. W. Frankeja in dr. M. Geysa analizirali v »¹⁴C in ³H Laboratorium Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung« v Hannoveru, s pomočjo dr. D. Forda in R. Harmona pa na Mac Master University v kanadskem Hamiltonu. Za posredovane analize se navedenim kolegom na tem mestu najlepše zahvaljujem.

Vrhnja siga prevrnjenega stalagmita pri 5. mostu v Pivškem rokavu (vzorec Pl 323 a) je pokazala na 8205 ± 355 let. Stalagmit (vzorec 323 b), ki raste na prevrnjenem, kot je razvidno na tab. 6 A pa je za približno 5000 let mlajši. V obeh primerih gre za najmlajšo holocensko sigo.

Takšna siga je bila ugotovljena na stalagmitu iz Paradiža (vzorec Pl 36 b z 9735 ± 285 leti), katerega jedro iz rjavkaste sige (vzorec Pl 36 a) pa je starejše od 30 715 let. To je že naslednja generacija ali mlajša siga, h kateri prištevamo tudi stalagmit vrh gruča pri Dvojčkih v Rakovem rokavu (vzorec Pl 40 a z $32 875 \pm 1810$ leti). Analizirana je bila tudi konica stalagmita, kar pomeni, da ugotovljena starost kaže na čas, ko je stalagmit nehal rasti. Žal, ni bilo pregledano jedro tega 20 cm visokega stalagmita, da bi spoznali, kdaj in kako hitro

Podatki o absolutni starosti so sledeči:

Vzorec	^{14}C starost v letih	U/Th starost v letih
Pl 36 a	> 30 715	
Pl 36 b (vrhnja plast)	9 735 \pm 285	
Pl 40 a (konica)	32 875 \pm 1810	
Pl 41 a (jedro)	> 49 900	
Pl 41 a (konica 1)	> 45 265	
Pl 41 a (konica 2)	> 45 780	
Pl 318 a (jedro)	> 45 610	79 700 \pm 1600
Pl 318 b (vrhnja plast)	32 225 \pm 1450	
Pl 339	44 240 \pm 2125	
Pl 323 a	8 205 \pm 355	
Pl 323 b	3 630 \pm 260	
Pl 334	> 44 635	
Pl 42	> 46 025	
Pl 24		77 800 \pm 8400

se je oblikoval. Če pa upoštevamo že iz Postojnske jame ugotovljeno zelo počasno rast sige v tisti dobi (okoli 0,75 mm/100 let; R. Gospodarič 1972), potem lahko sklepamo, da je oblikovanje stalagmita trajalo lahko 15 in več tisoč let. Ker obravnavana siga pokriva apnenčev grušč, datira njegova sedimentacija najmanj v prvo polovico zadnjih 100 000 let.

Tudi s sigo vzorca Pl 41, ki pokriva grušč v začetku Pisanega kanala, smo želeli spoznati zgornjo časovno mejo gruščnatega zasipa. Žal, pa so analizirani primerki pokazali le starost nad 45 000 let, ker preko te dobe radioogljikova analiza ni več možna.

Analiza vzorca Pl 339, ki spada k sigi pod gruščem v Pivškem rokavu, pa je presenetljivo pokazala na starost 44 240 \pm 2125 let, kar pa se s prejšnjimi podatki ne ujema. Ker je to edini tak podatek, ga iz previdnosti ne upoštevamo.

Erozijski ostanek rdeče sige na steni ob vhodu v Paradiž (vzorec Pl 334) je starejši od 44 630 let, pravtako rebro baldahina pod gruščem (vzorec Pl 42) v Pisanem kanalu Rakovega rokava. Za stratigrafsko opredelitev naplavin tudi ti dve analizi nista uporabni.

Bolj koristna je analiza vzorca Pl 24 s starostjo 77 800 \pm 84 000 let določena z U/Th metodo. To je rjavkasta siga delno erodiranega stalagmita iz starejše sige vrh starejše pasovite ilovice pri 5. mostu Pivškega rokava, ki ga grušč in mlajša pasovita ilovica ne pokrivata. Da imamo v Planinski jami zares opraviti s tako staro sigo, pove tudi stalagmit iz Katernovega rova. Gre za vzorca Pl 318 b in 318 a. Prvi vzorec iz oboda stalagmita je po ^{14}C analizi star 32 225 \pm 1450 let, drugi vzorec iz jedra istega stalagmita pa nad 45 610 let. Starost istega vzorca

pa je zopet bolj natančno opredelila U/Th metoda in sicer na $79\,700 \pm 1600$ let. To pomeni, da je stalagmit v Katernovem rovu sestavljen iz mlajše in starejše sige. Starejša siga ustreza omenjeni sigi pri 5. mostu in sigam vzorcev Pl 334 in 42, ki jih s ^{14}C metodo nismo mogli opredeliti, a ležijo pod apnenčevim gručem. Kljub številnim tehničnim problemom in nezanesljivosti, ki ju poznamo pri absolutnem datiranju sige z obema uporabljenima metodama, lahko vendarle verjamemo, da imamo v Planinski jami opraviti s tremi generacijami sige in sicer:

najmlajšo, holocensko sigo s starostjo do 10 000 let b. p.,
mlajšo srednjewürmsko sigo med 30 000—50 000 leti b. p. in
starejšo-starowürmsko ali predwürmsko sigo pred približno 80 000 leti.

Lahko tudi rečemo, da so po stratigrafski, relativni starosti ugotovljene tri generacije sige potrjene tudi z absolutnimi številkami. To bo pomagalo razvrstiti speleogenetske procese Planinske jame in Postojnskega jamskega sistema v celoti.

Podorne skale

Podorne skale nastopajo v današnji vodni strugi, v večji količini pa v podornih dvoranah. Nikjer jih nismo našli med alohtonimi naplavinami.

Pivški rokav kaže nasploh le malo podorov, verjetno je ponornica uspela kar sproti odnašati in topiti posamezne odkrušene skale. V večjem kupu so ohranjene le v dvorani Golgoti in ob Šmidlovem prehodu. Tu ležijo na višjem skalnem dnu in v morfološkem okolju, kjer sta se slučajno združili dve etaži rokava ena v drugo. Strop se je najbolj krušil v mlajšem erozijskem obdobju, ko je dobivala Planinska jama današnjo obliko.

Rakov rokav je nekoliko bolj razrušen, saj ima več podornih dvoran. Strop se kruši do današnjih dni, podiranje je bilo najbolj intenzivno po eroziji alohtonih naplavin. V tem pogledu sta se Pivški in Rakov rokav enako razvijala. Videti pa je, da Rak ni uspeval tako sproti odnašati podornega materiala kot Pivka, ki je znatno manj zajezena in ima enakomeren strmec, pa tudi več alohtonih naplavin je uspela odstraniti. Mlajša erozija v Rakovem rokavu ni dosegla skalnega dna iz dobe pred naplavitvijo starejše pasovite ilovice, medtem ko je to dno v Pivškem rokavu že poglobljeno.

Podorni material v Planinski jami nima stratigrafske vrednosti pri ugotavljanju razvojnih stopenj podzemlja kot alohtone naplavine in siga.

Črna prevleka

V Pivškem in Rakovem rokavu smo zasledovali s črno prevleko pokriti spodnji del skalne vodne struge in njene sedimente. V Rakovem rokavu je zgornja meja prevleke domala vodoravna na višini 473 m, padati začne pri Dvojčkih in doseže nad Slapom višino 461 m. Od tod enakomerno pada proti jamskemu izhodu na 455 m. V Pivškem rokavu je pri dotočnem sifonu na 472 m, nato pa polagoma pada do podorne Golgote. Onkraj te dvorane se naenkrat zniža na 461 m, nato pa polagoma pada k jamskemu izhodu. Prevleke ni pod vodno gladino današnjega vodotoka. Danes prevleka ne nastaja, ker jo Pivka in Rak erodirata.

Tabela 1. Razvoj Planinske jame

Sedimenti		Hidrološki razvoj	Morfološki razvoj	Proces
alohtoni	avtohtoni			
poplavna ilovica	sigla do 10 000 let b. p.	jezera, brzice, sifoni, Pivka: gladina ± 1 m, strmec 10 ‰ Rak: gladina ± 4 m, strmec 3 ‰	poglobljeno skalno dno, odplavljanje sedimentov, sekundarno višanje stropa	erozija
poplavna ilovica	črna Mn prevleka podori	sifon Javorniškega toka, Rak: gladina ± 4 m, strmec 8 ‰ Pivka: gladina ± 8 m, strmec 8 ‰ sifonski pretok pod Paradižem	skalne stopnje pri Slapu in Šmidlovem prehodu, struge v sedimentih, zatrepne doline pri Planini in Malnih	
mlajša pasovita ilovica	sigla 30 000—50 000 b. p.	tokovi kapnice, umik ponornic?	jama zapolnjena s sedimenti do višine 480 m in čez	akumulacija
	?	nihajoča gladina ponornice, počasen tok v obeh rokavih	jama zasuta z vršajem oblikovanje Planinske koliševke struga v starejših sedimentih	erozija
apnenčev prod		Pivka: hitrost do 3 m/s, strmec 15 ‰, tok po Pivškem in Rakovem rokavu		
rdeča ilovica	sigla nad 80 000 let b. p.	tokovi kapnice umik ponornic?	novi rovi v skali in starejših sedimentih	akumulacija
prod belega roženca	?	tok ponornic v zgornji etaži jame nad 470 m		erozija
starejša pasovita ilovica		nihajoča gladina ponornice Pivke po vsej jami		akumulacija
prod pisanega roženca ?		prosta gladina Pivke in Raka, hitrost do 2 m/s, tok proti Planini, skalno dno na 460 m, ponornici dolbeta jamo		erozija

Pod spektrografom se je pokazalo, da je snov prevleke sestavljena iz Mn, Fe in Si kot glavnih prvin, vezanih verjetno v oksidih kot za sestavo podobnih prevlek v jamah meni H. Trim mel (1968, 59). Avtor navaja, da prevleke nastajajo s posredovanjem bakterij *Leptothrix ochracea* K ü t z in *Leptothrix crassa* Ch ol, ki za življenje rabijo železove in manganove snovi iz sedimentnega, vodnega in apnenčevega substrata. Ali gre v našem primeru za podobne bakterije oziroma navedeni nastanek prevleke, bi bilo treba še raziskati.

RAZVOJNE STOPNJE

Pri obravnavanju posameznih nahajališč sedimentov smo poskušali spoznati razvojno pot nekaterih odsekov jame, nadalje stratigrafsko zaporedje sedimentov, način njih transportiranja in sedimentacije po jami. Te podatke združujemo v tabeli 1, kjer prikazujemo tudi ustrezni hidrološki in morfološki razvoj jame ter prevladujoči speleogenetski proces. Vse skupaj pokaže na razvojne stopnje Planinske jame v obdobju med odlaganjem prvega sedimenta do danes.

POGLAVITNE SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI POSTOJNSKIH JAM

(slika 25)

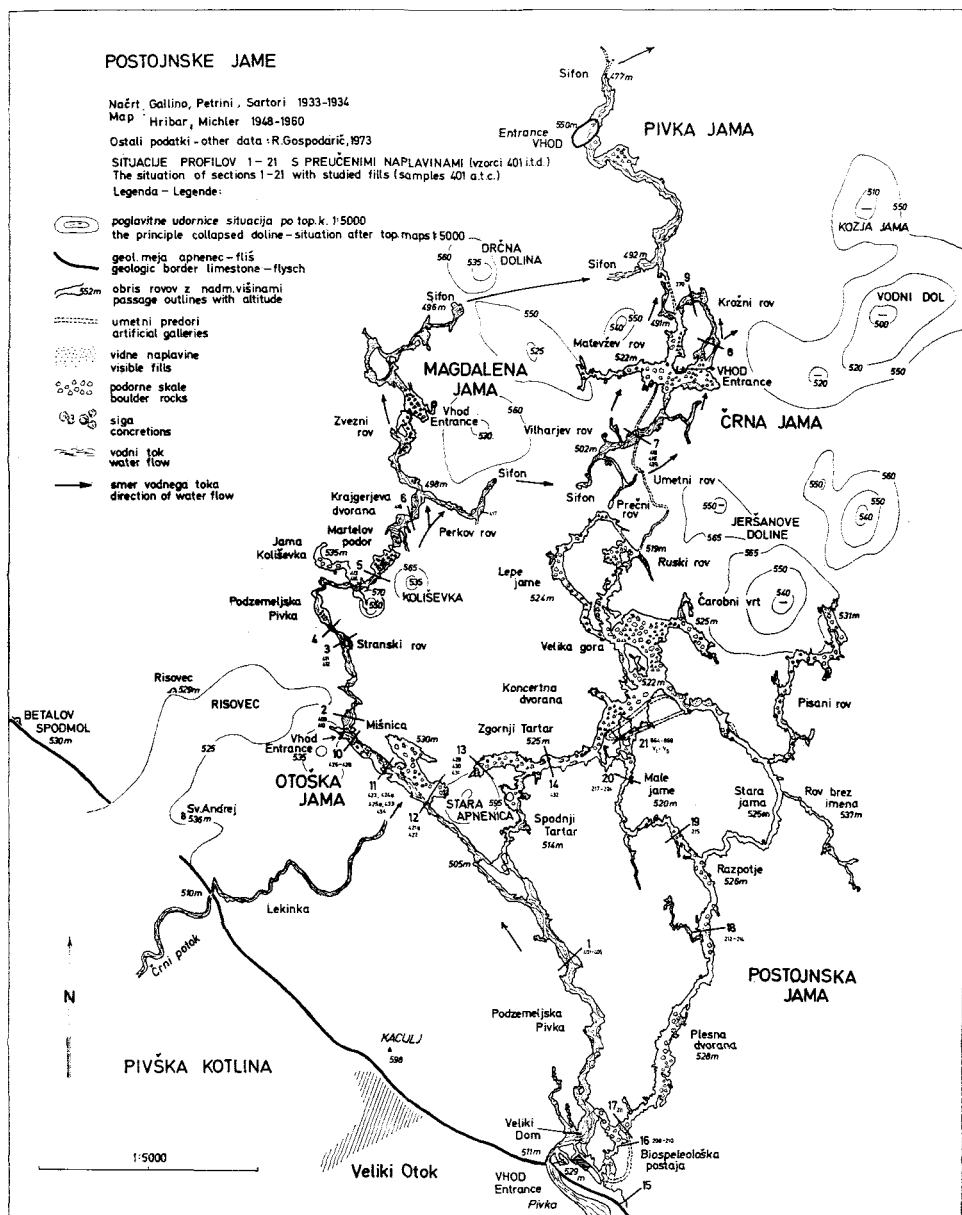
Dolžina 16 500 m,
nadmorska višina ponora 511 m,
jamski sistem z vodnimi in suhimi rovi.

Odkrivanje Postojnskih jam po letu 1818 je bilo že večkrat zelo podrobno opisano. V zadnjem kronološkem pregledu (R. Gospodarič 1968) so navedena tudi vsa pomembnejša geološka, morfološka, hidrografska in speleogenetska preučevanja.

Med odkrivanjem so nastajali različni, vedno bolj popolni načrti, od prve skice A. Schaff en rath a (1829) do najbolj popolnega tlorisa in prečnih profilov iz l. 1933-34 v merilu 1 : 500 in 1 : 2500, ki so jih na podlagi teodolitske izmere sestavili Gallino, Petrini in Sartori. Povojne najdbe rogov v Črni in Magdaleni jami niso bile tako natančno merjene, vendar jih je še vedno možno dobro vključiti v skupni tloris. Manj natančno je izmerjen rov podzemeljske Pivke med Otoško in Magdaleno jamo, ker je I. Michler (1959) širine rova le cenil. V jeseni l. 1972 je ekipa R. Gospodarič, P. Habič in I. Kenda delno popravila grobe napake. Tako dopolnjeni načrt prikazuje sl. 25, kjer so zarisane tudi lege udornic v obsegu dostopnega podzemlja.

Postojnske jame sestavljajo jame s samostojnimi vhodi in sicer:

Podzemeljska Pivka z vodnimi rovi,
Lekinka z vodnim rovom,
Pivka jama z vodnim rovom,
Črna jama z vodnimi in suhimi rovi,



Sl. 25. Postojnske jame; tloris, lega udornic na površju, situacije profilov (1) in analiziranih vzorcev naplavin (401)

Fig. 25. The Caves of Postojna; ground plan, the situation of the collapsed dolines on the surface, profiles (1) and analysed sediments samples (401) situation

Magdalena jama z vodnimi in suhimi rovi,
 Otoška jama s suhimi rovi in
 Postojnska jama s suhimi rovi.

Po prirodni poti so prehodne in povezane Postojnska jama, Otoška jama, Magdalena jama in Podzemeljska Pivka na eni ter Pivka jama in Črna jama na drugi strani.

Trije odseki: Magdalena jama—Pivka jama v premi razdalji 370 m, Perkov rov—Vilharjev rov Črne jame v premi razdalji 195 m in Pivka jama—Pivški rokav Planinske jame v razdalji 2200 m so neprehodni ter se začno in končajo s sifoni ponornice Pivke, ki so jih le delno preplavali (P. Krivic in A. Pra-protnik 1973).

Med navedenimi jamami so s podori prekinjeni, po večini pa z različnimi sedimenti zapolnjeni rovi, ki jih še ni uspelo odkopati ali prebiti. Najbližja zveza suhih rogov v razdalji 10 m je med Lepimi jamami Postojnske jame in Prečnim rovom Perkovega rova Črne jame.

Načrt nam torej izdaja mrežasti splet hidrološko in morfološko zelo različnih rogov, ki se nedvomno tudi po nastanku in razvoju med seboj razlikujejo. Zaradi zapolnitve s pestrimi alohtonimi in avtohtonimi naplavinami pa je težko najti skupen kriterij za uspešno razčlenjevanje na razvojne stopnje. Ker pa ponikalnice oblikujejo podzemlje že morda ves pleistocen je pričakovati, da v jamah ohranjene alohtone naplavine odražajo nekdanje hidrološke razmere, a tudi pomagajo razlikovati mlajše in starejše podzemeljske kanale (sl. 26).

OPIS NAHAJALIŠČ IN STRATIGRAFIJA JAMSKIH SEDIMENTOV

SEDIMENTI V PODZEMELJSKI PIVKI

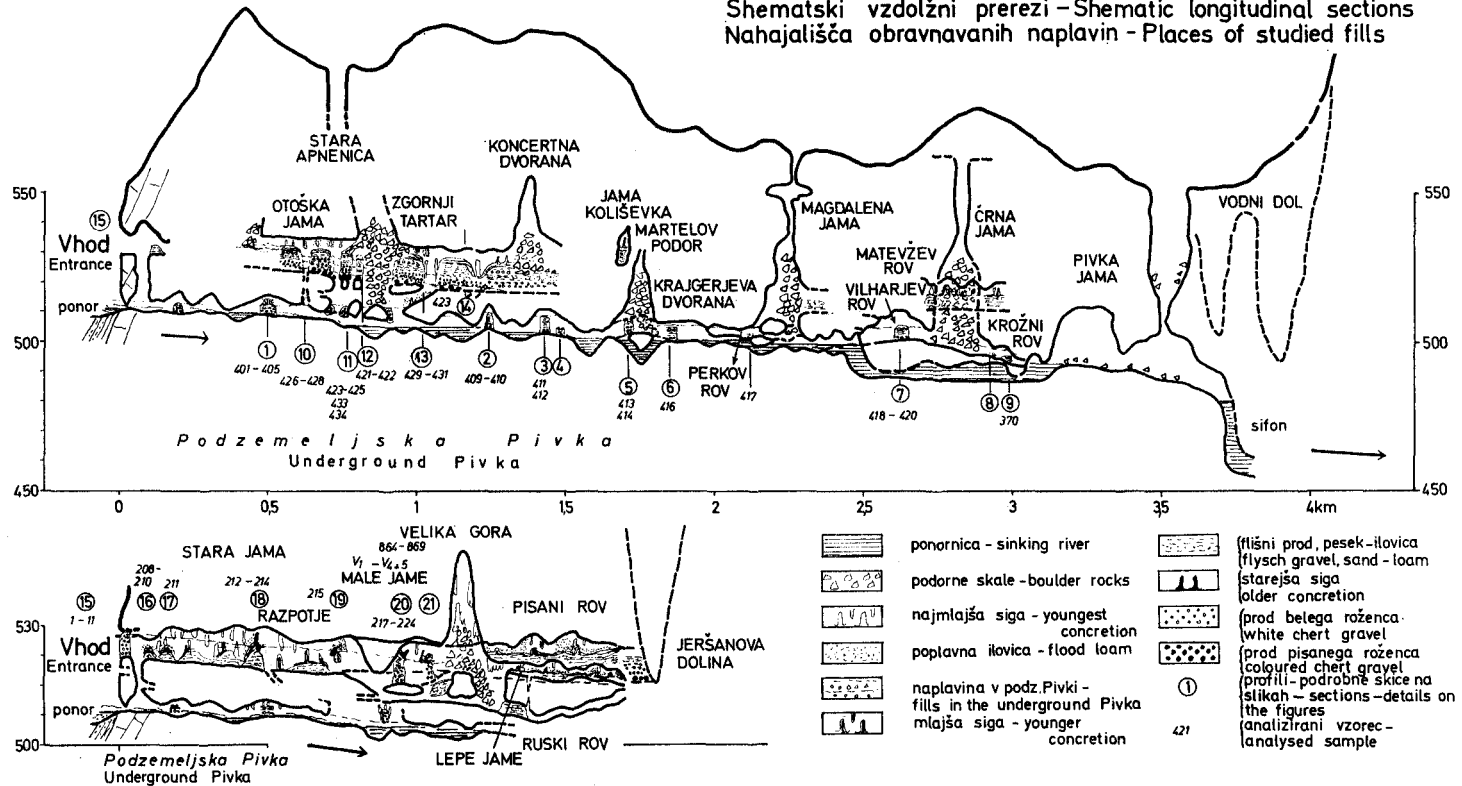
Med vhodnim ponorom v višini 511 m in med Spodnjim Tartarjem se nizka Pivka zadržuje v plitvih jezerih med prodnatimi plitvinami v povprečno 12 m širokem in 5 m visokem rovu. Na dveh, treh mestih se strop zniža na 2 m, kjer nastopajo že ob srednji vodi sifoni. Grušcnate in ilovnate naplavine po dnu in stenah so večinoma recentno preloženo gradivo. Na več mestih pa so ob stenah s sigo pokriti kupi naplavin, ki niso recentni. Največji kup je na mestu profila 1 (sl. 27).

V vzdolžnem preseku vidimo več plasti naplavin, ki jih je pred popolno erozijo obvaroval pokrov sige. Prva plast je vsaj pol metra prekrita z nizko vodo, leži pa verjetno na skalnem dnu. V vseh treh vzorcih (401—403) te plasti prevladuje grušč apnenca nad prodrom kremenovega peščenjaka (tab. 14 A, B). Nekaj odstotkov je drobcev roženca ter limonita. Procentualno razmerje med temi sestavinami v posameznih frakcijah vseh treh vzorcev skupaj je razvidno iz šra-firanega diagrama zrnivosti na sl. 27.

Apnenčev grušč je iz zgornjekrednega zrnatega in brečastega apnenca ter iz kosov numulitnega apnenca, torej iz kamnin iz okolice ponornega roba ponikalnice in iz same jame. Kosi kremenovega peščenjaka so zelo zaobljeni in nič prepereli; ponirajoča reka jih je erodirala pri svojem toku po Pivški kotlini in

POSTOJSKE JAME

Shematski vzdolžni prerezi - Schematic longitudinal sections
Nahajališča obravnavanih naplavin - Places of studied fills



Sl. 26. Postojnske jame; shematska vzdolžna prereza površja in poglavitnih rovv z nahajališči sedimentov in situacijo obravnavanih profilov

Fig. 26. The Caves of Postojna; schematical longitudinal sections of surface and principal galleries with sediments finding-places and treated profiles situation

jih skupaj z gruščem odložila, kjer se je ob razširjenem podzemeljskem prostoru zmanjšala njena hitrost in transportna sposobnost.

Druga plast (vzorec 404) je pasovita ilovica s prevladujočo ilovno rjavo barvo (2.5 Y 4/4). Oznake barv smo našli v barvni lestvici za prst *Munsell Soil Color Charts* (1954), ki jo uporabljajo tudi za jamske sedimente. Plast leži na rahlo upognjeni, z limonitno skorjo obdani podlagi prve plasti. Ilovico sestavljajo svetlejši in temnejši pasovi kot v podobni pasoviti ilovici v Planinski jami.

Tretjo plast (vzorec 405) sestavljajo zopet apnenčev grušč in delci fliša, ki prevladujejo šele v peščeni frakciji. Zrnavost in petrografska sestava sta podobna prvi plasti in kažeta, da so nastopili v jami poprejšnji sedimentacijski pogoji. Ker pa se ilovnata (404) in gruščnata (405) plast zajedata ena v drugo na način, ki izključuje vmesno erozijo domnevamo, da sta se obe plasti, vsaj v zgornjem delu, odlagali več ali manj istočasno. Sigova skorja nad plastema pove, da se je ponornica umaknila iz rova potem, ko ga je skoraj zasula. S sigo pokrite naplavine je ponornica začela erodirati, občasno pa je rov zalila v celoti, o čemer priča poplavna ilovica nad sigovim pokrovom, na stalaktitih na stropu ter po stropu samem. Do danes je razgalila prvotno skalno dno rova, delno pa še teče po tleh sprijetega grušča.

Odsek Podzemeljske Pivke med Otoško jamo in Martelovim podorom nima posebnega imena. Prvi vodni del, kjer s stropa in sten molijo skalne osti, je *E. A. Martel* (1894, 442) imenoval *Zobati rov*, naslednji nizek prehod pa *Mišnico*. Za *Mišnico* se rov razširi v dvorano (glej profil 2 na sl. 28). Ta dvorana ima skalno dno in levo steno pokrito z naplavinami. Na skalnem dnu je pol metra debela plast pretežno kremenovega peščenjaka (vzorec 410), vrh te leži pasovita ilovica, ki se dviguje proti levi steni 9 m visoko. Siga in poplavna ilovica nista ohranjeni. V spodnjem delu ilovnate plasti je 0,5—1 m debel vložek apnenčevega grušča (vzorec 409).

Vzorec 410 ima 16 % oglatih kosov zgornjekrednega in paleogenskega apnenca, 10 % zaobljenih prodnikov pisanega roženca, ostalo pa so dobro zaobljeni s črno prevleko obdani kosi kremenovega peščenjaka. Vzorec 409 ima največ debelega proda, eden med prodniki ima celo 60 mm premera.

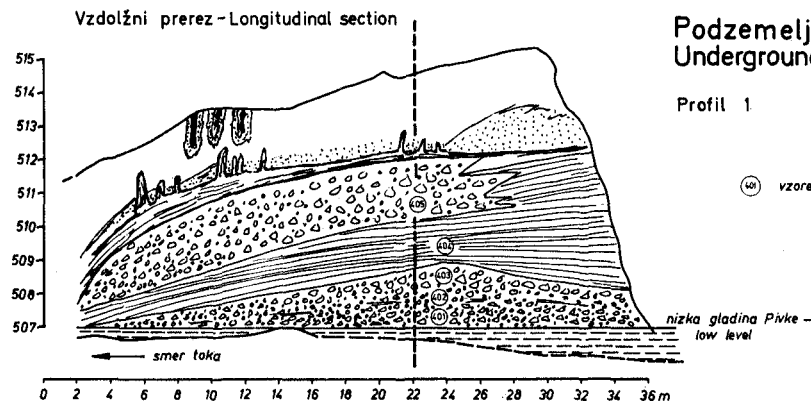
Obravnavane naplavine so zelo podobne tistim pri profilu 1. Zelo izrazita je na višje ležečem skalnem dnu odložena plast vzorca 410 z malo apnenca in roženca, a več kremenovega peščenjaka, ki je morda v profilu 1 skrita pod gruščem. Delno različna petrografska sestava in debelina posameznih plasti pa je razumljiva, saj so se naplavine odlagale enkrat v širših, drugič v ožjih prostorih, kjer sta se hitrost in transportna moč ponornice spreminjali. Pretok se je povsem umiril pri odlaganju ilovice. Večji del naplavin je bil tudi v tem nahajališču odstranjen pri kasnejši eroziji. Današnja voda pogloblja skalno dno, s stropa pa se lomijo podorne skale.

Nadaljnje naplavine so ohranjene v suhem Stranskem rovu, ki se cepi od glavnega vodnega kanala, da bi se po 40 m dolžine zopet povrnil vanj (profil 3, sl. 28). Rov ima meter višje ležeče skalno dno kot vodni kanal in 5 m na debelo naplavin, ki so v sosednjem rovu domala že erodirane. V Stranskem rovu je ohranjena podoba nekoč zasutih rovov Podzemeljske Pivke (tab. 15 A, B).

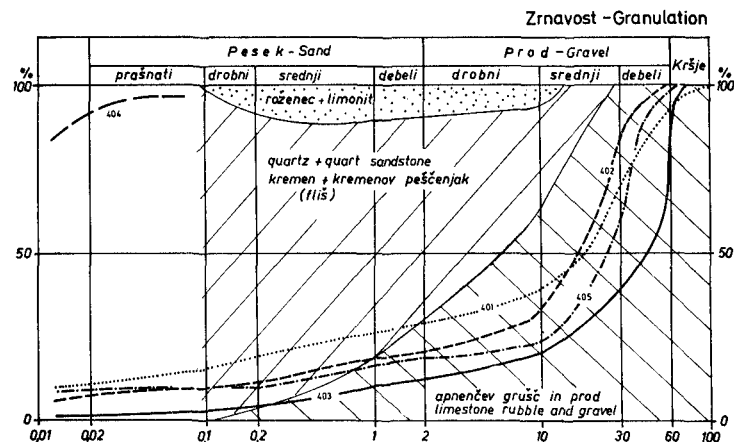
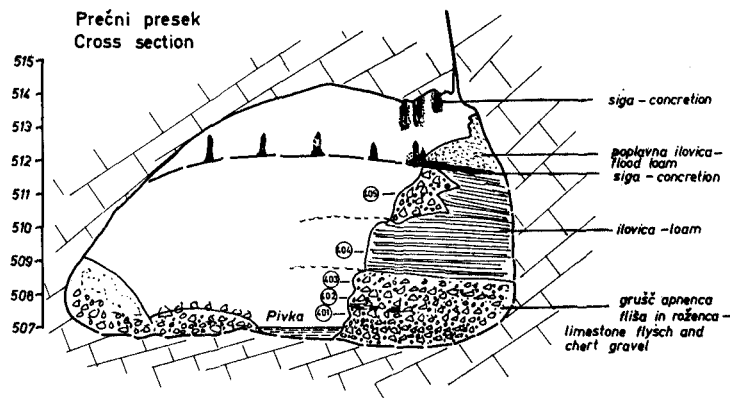
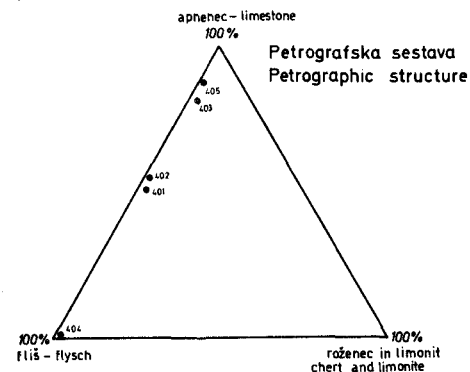
POSTOJSKE JAME

Podzemeljska Pivka Underground Pivka

Profil 1



401 vzorec - samples



Sl. 27. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka v profilu 1; vzdolžni in prečni prerez zasipa v rovu, diagrama petrografske sestave in zrnivosti analiziranih vzorcev zasipa (401—405). Diagram zrnivosti prikazuje tudi petrografsko sestavo naplavin v posameznih frakcijah. Debel grušč je samo iz apnenca, drobni pesek pa le iz flišnih kamnin

Fig. 27. The Caves of Postojna, the Underground Pivka at 1st profile; longitudinal and cross sections of the deposit in the channel, the diagrams of petrographic structure and granulation of analysed deposit samples (401—405). The granulation diagram represents also the sediments petrographic structure in singular fractions. The thick gravel originates from the limestone only, while the thin sand from flysch rocks

V 5 m visoki nasipini pod sigo je možno razlikovati plast z več apnenca (vzorec 411) in plast z manj apnenca (vzorec 412). Vzorec 411 ima kose zgornjekrednega in paleogenskega apnenca, prodnike kremenovega peščenjaka iz fliša in prodnike ter odbitke pisanega roženca v utežnem razmerju 20 : 65 : 15. Vzorec 412 ima v rjavi (10 YR 4/4) ilovici prod in pesek, kjer so kosi apnenca, peščenjaka in roženca v razmerju 35 : 40 : 25. Na tab. 15 B lepo vidimo, kako je naplavina bila odložena na fasetirano in izžlebljeno skalno steno. Posamezni kosi apnenca so na steno prilepljeni s črno Mn skorjo, ki se je odločila iz vode, ko je bila naplavina že sedimentirana.

Podobne razmere ugotavljamo še v nadaljevanju Podzemeljske Pivke (profil 4, sl. 28). V koničastem rovu ob strmih lezikah teče ponornica v brzici in razgalja na višje ležečem skalnem dnu 2 m visoko nasipino, kjer si od spodaj navzgor sledijo plasti gruča, peska, gruča in pasovite ilovice; to pokriva vodoravna skorja sige (tab. 16 A).

Pred Martelovim podorom se Podzemeljska Pivka skriva v 8,5 m globok sifon, da bi se onkraj podora zopet pojavila v Krajgerjevi dvorani. Višja voda najde pot v to dvorano tudi še med bloki podora. Pod 30 m visokim stolpom podornih skal so ob strmih stenah ohranjene prodne naplavine, nismo pa videli pasovite ilovice (profil 5 na sl. 28).

V 5 m visokem stolpu naplavin ob levi steni so vidni med drugim tudi sploščeni kosi apnenca in kremenovega peščenjaka izjemne velikosti do 150 mm. Takšne kose je mogla seveda odložiti voda z izjemno transportno močjo in hitrostjo (preko 3 m/s). Pod temi velikimi kosi in tudi ob desni steni sta po dve plasti bolj drobne materiala.

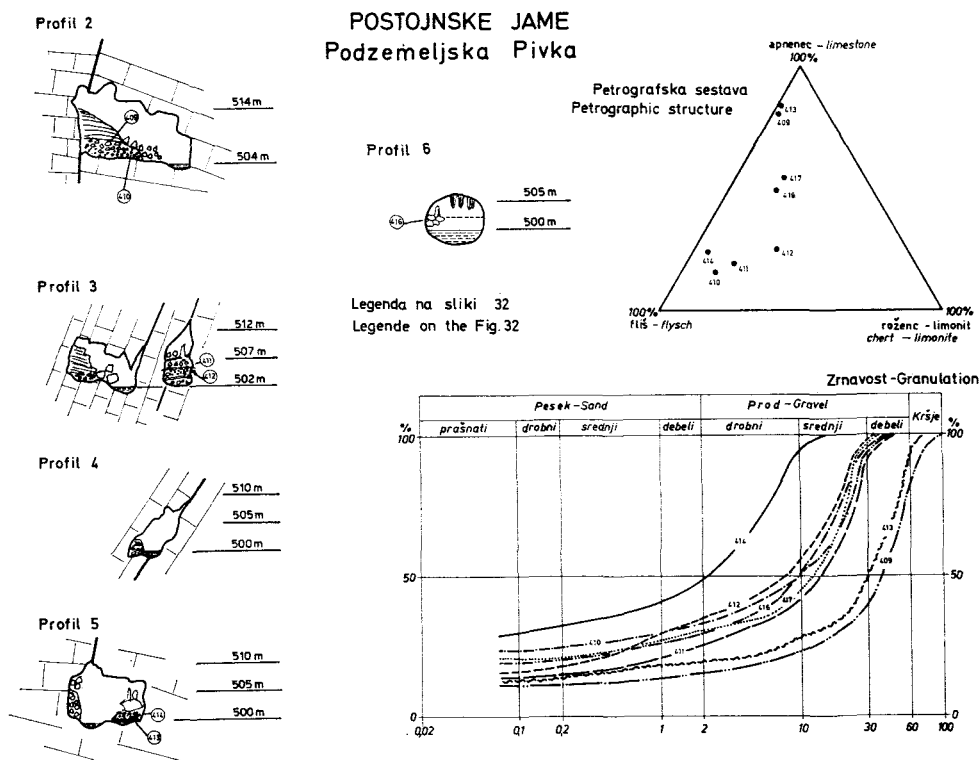
Vzorec 413 je iz meter debele plasti, ki leži verjetno na skalni podlagi. Vsebuje 80 % oglatih kosov zgornjekrednega in paleogenskega apnenca. Prodники peščenjaka in pisanega roženca so le v drobnemrodu. Vzorec 414 iz 0,8 m debele plasti ima pretežno le zaobljene, do 10 mm velike prodnike peščenjaka, ki jih je mogla odložiti ponornica ob hitrosti največ 0,5 m/s.

Pestra zrnavost naplavin kaže, da je ponornica pred podorom in ob njem delno zastajala; v glavnem je odtekala skozi nižji skalni rov v nadaljnji širši prostor — Krajgerjevo dvorano. Vanjo je kotalila skale nastajajočega podora. Te so skupaj z alohtonim sedimentom ohranjene v zasipu po tukajšnjem dnu.

Vzorec 416 kaže prodnike krednega in paleogenskega apnenca, peščenjaka in roženca ter zaobljeni pesek kremenca in limonita. Najdemo tudi zaobljene kose sige, ki povedo, da je bil rov že zakapan pred odlaganjem teh naplavin.

V Krajgerjevi dvorani je zasip napolnjeval več kot polovico prostora (profil 6, sl. 28, tab. 16 B). Nad njim se je odložila siga v stalagmite in stalaktite. Nad zasipom so stene in delno strop ter konice daljših stalaktitov počrnele z Mn prevleko, delno pa so tudi pokrite s poplavno ilovico. Tisti del sten, ki jih zakriva 3 m visok zasip, pa ni počrnen. Iz tega je moč sklepati, da je črna prevleka nastala, ko je bil zasip že odložen in zasigan.

V neposredni bližini Martelovega podora 25 m nad Podzemeljsko Pivko je omeniti Jamo Koliševko, ostanek nekdanjega vodnega kanala (I. Michler 1959, 168). Ob ponovnem pregledu jeseni l. 1972 smo v njej ugotovili podorne skale med dvema generacijama sige in poplavno flišno ilovico pod bogato starejšo sigo. To je vse drugačno gradivo kot v Podzemeljski Pivki. Dva različna horizonta podzemeljskih prostorov sta vsaj navidezno povezana z mlajšo udor-



Sl. 28. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka v profilu 2, 3, 4, 5 in 6; diagrama petrografske sestave in zrnavosti analiziranih vzorcev naplavin (409—414, 415, 416)

Fig. 28. The Caves of Postojna, the Underground Pivka at 2nd, 3rd, 4th, 5th and 6th profiles; the diagrams of the petrographic structure and granulation of the analysed sediments samples (409—414, 415, 416)

nico Koliševko in Martelovim podorom. Zanimivo je, da je to zvezo prav dobro skiciral že A. E. Martel (1894, 448).

Iz Krajgerjeve dvorane teče ponornica v Zvezni rov Magdalene jame, ob srednjem in visokem vodostaju pa tudi v Perkov rov ter naprej v Vilharjev rov in Krožni rov Črne jame. Ta podzemeljska pot je bila predvsem aktivna v dobi odlaganja apnenčevega in flišnega proda, peska in ilovice, saj so ti sedimenti tu povsod ohranjeni.

Perkov rov ima na skalnem dnu, ki je višji za meter do dva od onega na koncu Krajgerjeve dvorane, 4 m visoke zasipe. Na skalnem dnu je največ proda in peska (vzorec 417) iz ploščnatih, zaobljenih kosov rjavosivega apnenca, ki je po numulitih sodeč paleogenski, nadalje iz kremenovega peščenjaka, kremenca in limonita. Petrografska sestava in zrnavost sta podobni kot pri vzorcu 416 iz Krajgerjeve dvorane (glej diagrama na str. 77). V Perkovem rovu pa ni oblic apnenca iz Martelovega podora; kot je videti, jih ponornica ni mogla kotaliti daleč proč od podora. Zasipi so pokriti s sigo in poplavno ilovico.

izhaja verjetno iz bližnje Podorne dvorane. Tu ni več alohtonega proda pisanega roženca, ki smo ga poslednjič srečali v naplavini pri Martelovem podoru.

Vzorec 419 je iz pol metra debele plasti s sigo sprijetega peska, ki se pojavlja na skalni podlagi. V vzorcu je 30 % sigastega veziva, ostalo so zrna peščenjaka, kremenca in sljude ter roženca in limonita. Plast je bila odložena ob umirjeni vodi. Vzorec 420 zastopa zopet gruščnato plast, kjer so oglati kosi avtohtonega belega in sivega zrnatega apnenca ter sivega apnenca z rožencem.

Prečni profil Vilharjevega rova z ohranjenimi naplavinami in sigo kaže na sledeče razvojne stopnje:

erozijo sige in naplavin do take mere, da je že doseženo in poglobljeno staro skalno dno.

poplavljeni rov z odloženo črno prevleko in poplavno ilovico,

nastanek sige,

zasipavanje z avtohtonim apnenčevim gruščem in alohtonimi naplavinami, aktivni skalni rov z dnom v višini 502 m.

Tu je omeniti kotanjo v Umetnem rovu med Postojnsko in Črno jamo, ki jo opisujeta R. Gospodarič (1964, 7) in S. Brodar (1966, 66). Kotanja je v višini 520 m in 80 m južno od Vilharjevega rova, tako da se nahaja nad njegovim Prečnim rovom. Vsebuje pa 4 plasti flišnega peska in ilovice ter rdečo ilovico, kakršne v 10 m nižje ležečih rovih nismo ugotovili. Glede na različno višino odlaganja in delno različno petrografsko sestavo ter zrnavost sklepamo, da so naplavine v kotanji starejše, vezane na nekdanjo sedimentacijo iz smeri Lepih jam ali Ruskega rova v Postojnski jami.

V Krožnem rovu vidimo ostanke pasovite ilovice na skalnem dnu in ob stenah v debelini 4 m (profila 8, 9 na sl. 29). Pokrite so s sigo in poplavno ilovico.

V profilu 9 so med ilovico leče ilovnatega peska, katerega vzorec 370 ima največ peščenjaka in kremenca ter sljude, zelo malo pa limonitnih ooidov in kosov oglatega roženca. Tu ni avtohtonega apnenčevega grušča, verjetno ga ponornica ni mogla transportirati iz osrednje podorne dvorane Črne jame, ker ni imela ustrezne transportne moči.

Po sedimentih in morfoloških ter hidroloških razmerah smo poskusili razlikovati v Črni jami tri poglavitne razvojne stopnje in sicer:

— mlado stopnjo, ki vključuje rast sige, podiranje stropovja ter sifonski pretok ponornice v višini okoli 495 m z občasnim dvigom za 2—3 m, tudi erozijo naplavin in poglobljanje skalnega dna,

— starejšo stopnjo pred udrtim stropom, ko je nastajala siga in so nastopale občasne poplave do 520 m iz spodnjega Vilharjevega rova, kjer je ponornica odlagala tudi alohtone naplavine,

— najstarejšo stopnjo aktivnega rova v smeri zahod-vzhod (Matevžev rov) s skalnim dnom na okoli 510 m.

Zanimivo je, da so v Črni jami najstarejši rovi usmerjeni od zahoda proti vzhodu, mlajši rovi pa od juga proti severu. Naplavine poznamo le v mlajših, ne pa tudi v starejših rovih, kar preprečuje razvojne stopnje še bolj podrobno razčleniti. Po višini skalnega dna pa se tu različno stari rovi približujejo drug drugemu mnogo bolj kot rovi, ki so bliže ponornemu robu. Ta ugotovitev velja tudi za Magdaleno jamo, medtem ko je iz morfologije Pivke jame razvidno, da so v današnjem podzemeljskem kanjonu takšni rovi že združeni.

SEDIMENTI V OTOŠKI JAMI IN ZGORNJEM TARTARJU
(slika 30)

Zvezo med suhimi in vodnimi rovi jam smo podrobneje pregledali v Otoški jami. O nekdanj povezani Otoški jami z Zgornjim Tartarjem Postojnske jame, ki sta danes prekinjeni z udornico Staro apnenico, je govoril že A. E. Martel (1894, 448). I. Gams (1965, 177) je tod skozi domneval pretok predhodnice Nanoščice v višinah 539—545 m, 537 m in 519 m, R. Gospodarič in P. Habič (1966, 25) pa sta domnevni pretok ponikalnice zamislila v višinah 535 do 515 m, nato pa zasipavanje rova z naplavinami do višine 528 m. Z Otoško jamo se je поблиže ukvarjal S. Brodar (1951). Iz dveh plitvih izkopov je analiziral sedimente. V udrtni, kmalu za današnjim, l. 1893 odkopanem vhodom, je domneval 20 m debel nasip flišnih naplavin. Situacijo udrtine prikazuje profil 10 na sl. 30. V suhem rovu je razgaljen obokan strop. Preden preide v steno, se nanj naslanja skorja sige s stalagmiti. Pod to skorjo je meter debela plast prhke sige z rdečkasto rumeno ilovico (7.5 YR 6/8), ki ima le 1 % kremenca, sljude in ooidov limonita (vzorec 428). Brez posebnega izkopavanja smo iz te plasti potegnili molar in kos fibule jamskega medveda. Podobne kosti je našel S. Brodar (1951, 211) v ilovici med sigo 0,74—1,71 m globoko pod jamskimi tlemi v sondi sredi največje dvorane v notranjosti Otoške jame.

Naslednja nižja, meter debela plast v udoru (vzorec 427) je apnenčev grušč z ilovico in peskom. Ostrorobat grušč je avtohton iz stropa in sten. V pesku je največ frakcije 0,5—0,2 mm, kjer je poleg oglatih zrn kremenca in sljude še največ okroglih limonitnih ooidov. Pod to plastjo je rahlo pasovita olivnorjava ilovica (2.5 Y 4/4). Njen vzorec 426 je imel le 1 % peščene frakcije, pa še to $\frac{3}{4}$ kalcijevega karbonata, $\frac{1}{4}$ pa ilovnatih skupkov z zrnji kremenca in sljude. Možno je videti le 4 m te plasti, saj se udor z njo koničasto zaključi, ne da bi videli skalno dno. Verjetno je pod to plastjo ponovno apnenčev grušč. Deset metrov pod udorom je že špranjasti strop vodnega rova Podzemeljske Pivke. Sem so bile odnešene naplavine obravnavanega udora. Lega obeh rogov kaže, da more biti v suhem rovu največ 10 m naplavin, njegovo skalno dno pa v višini okoli 517 m.

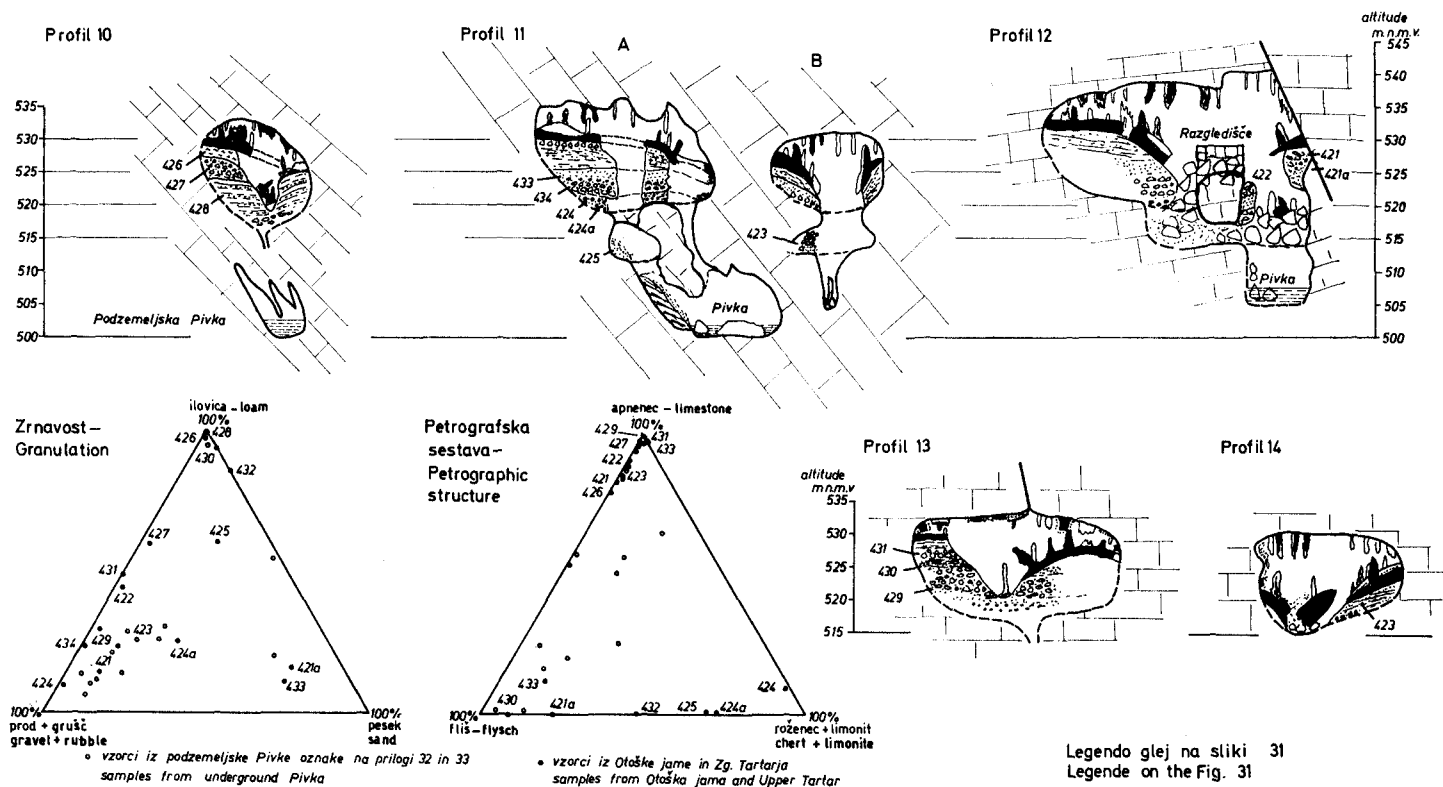
Nadaljnji udrtni (profila 11 A in 11 B) sta blizu Razgledišča v osrednjem delu Otoške jame. Zanju S. Brodar (1951, 210) meni, da se poglobljata do Podzemeljske Pivke na 504 m in da imata ohranjen okoli 25 m debel naplavinški zasip. Pri pregledu obeh udrtin in tudi rova Podzemeljske Pivke pod njima smo ugotovili, da so naplavine sestavljene iz več različnih plasti in da niso tako debele.

V udoru A vidimo meter debelo skorjo sige s kapniki, ki sicer sestavlja tla cele jame. Pod sigo je nekaj grušča, nato pa 3 m debela plast peščene ilovice. Sledi 0,5 m debela plast peska (vzorec 433), kjer prevladuje frakcija 0,5—0,2 mm s kremenom in sljudo, manj pa je kosov peščenjaka, laporja, pisanega in belega roženca ter limonitnih ooidov in cevč.

Pod peščeno plastjo je videti 3—4 m avtohtonega apnenčevega grušča (vzorec 434) v alohtoni temnorjavi (7.5 YR 4/4) ilovici in pesku. V pesku so kremen, peščenjak, roženec in limonit približno enake sestave kot v krovnii plasti. Vse kaže, da se je v blatno vodo ali tla krusil drobir stropovja.

Grušč leži na produ in pesku vzorcev 424 in 424 a. Ta naplavina se drži ovalnih skalnih zajed, ostankov nekdanjega skalnega dna, ki je še ohranjeno

POSTOJNSKE JAME, Otoška jama - Zgornji Tartar - Podzemeljska Pivka



Sl. 30. Postojnske jame, Otoška jama, Zgornji Tartar in Podzemeljska Pivka v profilih 10, 11, 12, 13 in 14; trikotni diagrami zrnivosti in petrografske sestave analiziranih vzorcev, podrobnejši opis v tekstu

Fig. 30. The Caves of Postojna, Otoška jama, the Upper Tartarus and the Underground Pivka at 10th, 11th, 12th, 13th and 14th profiles; triangular diagrams of granulation and petrographic structure of the analysed samples, detailed description in the text

med obema udoroma. To dno je bilo kasneje preluknjano in zvezano z nižjim rovom okoli 515 m in še z rovom Podzemeljske Pivke.

Vzorca 424 in 424 a sta sestavljena iz zelo zaobljenih oblic in prodnikov pisanega roženca, kremenovega peščenjaka oziroma apnenca ter roženčevega in kremenovega peska, sljude in limonita je zelo malo. V pesku ni flišnega peščenjaka, kakor v više ležečih plasteh. Tudi naslednja plast z vzorcem 425 ima takšno petrografsko sestavo pa čeprav leži na okoli 515 m višine, kamor je bila sekundarno prestavljena iz zgornje plasti.

V naplavini vzorca 424 so predvsem pomembne oblice pisanega roženca s premerom do 15 cm. Tako velikih kosov doslej še nismo srečali v nobenem jamskem sedimentu. Ker so neposredno vezani na starejše skalno dno Otoške jame, 20 m nad današnjimi vodnimi rovi in tamkajšnjimi sedimenti, gotovo sodijo k primarnim naplavinam te jame. Ohranili so se v starem sifonskem kolenu ali kotlici skalnega dna na višini okoli 520 m, kjer so jih kasneje zasule druge naplavine, pri spodjedanju zasipa od spodaj navzgor pa so bile vnovič razgaljene in delno preložene navzdol.

Žal poznamo v Otoški jami le eno nahajališče oblic in proda pisanega roženca. V spodmolu Risniku v bližini Otoške jame pa je S. Brodar (1970, priloga 1, 12—14) našel na skalnem dnu v višini 530 m tanko plast prodnikov roženca, kremenov pesek, nato pa flišno ilovico, grušč in rdečo ilovico. To zaporedje plasti se kar ujema s plastmi v notranjosti Otoške jame. R. Gospodarič in P. Habič (1966) pa navajata najdbe roženčevega proda na terasah ponornega roba in bližnjega flišnega terena na višinah okoli 530 m. Ti podatki kažejo, da je povsem možno hkratno odlaganje roženčevega proda na površju in v bližnjih ponornih jamah, ki med nje sodi tudi nekdanji vodni rov Otoške jame.

V spodnji Podzemeljski Pivki vidimo nekaj pasovite ilovice ob poševni steni, ki se dviguje navzgor k udoru. Nad njo je poplavna ilovica, odložena komaj do višine 510 m in torej ne dosega više ležečih starejših naplavin. Vertikalna zveza med obema različnima rovoma in sedimenti je bila vzpostavljena po korozijsko razširjenih lezikah.

V udoru B so skalne police v višinah 520 m in 512 m. Na njih so avtohtoni grušč ter alohtoni pesek in ilovica. Posebej smo pregledali gradivo na spodnji polici (vzorec 423) in ugotovili podobno zrnavost in petrografsko sestavo kot v gruščnati plasti vzorca 434 v udoru A. Največ je grušča avtohtonega apnenca, manj pa kremenovega peščenjaka, kremen in limonita. Udor je pri dnu zasigan, zato mlajša zveza s podzemeljsko Pivko ni prehodna tako kot pri udoru A.

Profil 12 preko Razgledišča Otoške jame in Podzemeljske Pivke prav tako odkriva različne sedimente v višinah, ki ustrezajo zgoraj obravnavanim.

Pri sestopu z Razgledišča vidimo ob stenah pod sigo več plasti grušča, peska in ilovice med višinami 528—518 m. Pod sigo je plast z vzorci 421 in 421 a. Zgoraj je zlepljen avtohtoni grušč, pomešan z alohtonim peskom iz zaobljenega kremen in rdečega prepererelega kremenovega peščenjaka ter limonitnimi sestavinami. Spodaj pa ima prav tak pesek tudi kose belega roženca, ki jih doslej še nismo srečali v taki množini. Ker so temu vzorcu podobni vzorci 433, 434 in 422 lahko vse smatramo za ostanke iste naplavine, odložene po vsej Otoški jami v višinah okoli 525 m.

Genetsko se Otoška jama nadaljuje v Zgornjem Tartarju, dosegljivem iz Postojnske jame. Profil 13 je zarisán preko udorine pri sklepu Zgornjega Tartarja, gledano iz vzhodne smeri. Pod sigo na višini okoli 530 m je vsaj 10 m sedimentov, ki zapolnjujejo najmanj $\frac{2}{3}$ skalnega rova. Njegovo skalno dno ni razgaljeno, lahko ga domnevamo nekje na 518 m, ker je v tej višini razgaljeno tam, kjer se od Zgornjega cepi Spodnji Tartar. Udor v sedimentih je nastal, ko so bile naplavine že pokrite s starejšo sigo, a pred odlaganjem mlajše sige, kajti v lijakastem udoru že stoje do 5 m visoki stalagmiti iz mlajše sige. Poplavna ilovica med obema sigama govori za obdobje, ko je bil rov do stropa poplavljen.

V naplavinah smo razlikovali spodaj 5 m debelo plast apnenčevega grušča in olivnorjavo ilovico (vzorec 429). Plast se debeli proti bližnji udornici Stari apnenici, a se tanjša in končno izklini vzdolž Zgornjega Tartarja. Tu imamo opraviti s stožčastim vršajem grušča iz udornice, kakršnega je možno ugotoviti tudi v Otoški jami (glej diagrama na sl. 30).

Žal ni mogoče videti, na čem grušč leži. Glede na stratigrafsko podobnost sedimentov na obeh straneh Stare apnenice lahko domnevamo, da bi pod gruščem našli alohtoni prod in pesek kot kažeta vzorca 424 in 424a v Otoški jami. Grušč pokriva olivnorjava (2.5 Y 4/4) ilovica s 14 % peska, v katerem so zrna kremená in sljude ter ooidi limonita (vzorec 430). Pesek je v 5 mm širokih progah med delno strnjeno ilovico, ki se poligonalno lomi. Lahko govorimo o nekakšni pasovitosti teh naplavin tako kot pri vzorcu 426 v Otoški jami. Nad to ilovico je pol metra debela plast apnenčevega grušča v olivnorjavi ilovici (vzorec 431), ki se po sestavi ujema z gruščem vzorcev 422 in 427 v Otoški jami. Mislimo, da je ta grušč vsepovsod nastajal istodobno pri razpadanju jamskega stropa, posebej pri oblikovanju udornice. Pokril je ilovnata tla, lahko ga je zalivala tudi blatna ponornica.

Analizirali smo še vzorec 432 iz peščene plasti pod sigasto kopo pred odcepom Zgornjega in Spodnjega Tartarja (profil 14). Zrnávnost in petrografska sestava sta podobni vzorcema 430 in 433 iz Otoške jame. Ker pa je plast pokrita s sigo, lahko sklepamo, da vršaj zgornjega grušča ni segal več tako daleč v notranjost jame, pa tudi pasovita ilovica tu ni bila odložena. Podoben pesek bomo zopet srečali ob Koncertni dvorani in drugod v suhih rovih Postojnske jame.

Potek sedimentacije in oblikovanja Otoške jame in Podzemelske Pivke

V Podzemelski Pivki so naplavine na višinah med 507—512 m, oziroma 505—512 m, če upoštevamo ohranjene ostanke v profilu 1 in 2, ki sta Otoški jami najbližja. V Otoški jami in Zgornjem Tartarju so alohtone naplavine med skalnim dnom na 518 m in višino 530 m, kjer so današnja tla (profili 10, 11, 12 in 13). V profilu 11 je alohtoni pesek najden na 515 m, vendar v sekundarni legi.

Procentualno razmerje proda, peska in ilovice pregledanih vzorcev naplavin iz spodnjega in zgornjega jamskega horizonta prikazuje trikotni diagram zrnávnosti na sl. 30. Vsi gruščnati oziroma prodnati vzorci zasedejo v diagramu skupno področje, čeprav je material dvojnega izvora: alohton in paravtohton

v Podzemeljski Pivki in avtohton v Otoški jami. Prvi grušč se je sedimentiral iz hitro tekoče ponornice (okoli 2 m/s), drugi grušč je padal s stropa in sten med pesek in ilovico umirjenega vodotoka. V Podzemeljsko Pivko so bili sedimenti naplavljeni skozi ponor ob današnjem jamskem vhodu pri Postojnski jami. Ponornica je tekla proti severozahodu v obratni smeri kot prej ponornica v Otoški jami, ki je ponikala v slepi dolini Risnik, in tekla proti vzhodu oziroma jugovzhodu.

V Podzemeljski Pivki so naplavine zelo mešane, posebno v gruščnatih plasteh. Ponornica je iz Pivške kotline nanese material eocenskega fliša, paleocenskega apnenca in površinske kvartarne naplavine (ilovico, pisani roženec, beli roženec in limonit). V Otoški jami pa je odložila petrografsko dokaj enotno naplavino prodnikov pisanega roženca, peščenjakovega in kremenovega peska, ki jih v Podzemeljski Pivki ni. Manjši prodniki pisanega roženca tu sicer nastopajo, vendar vedno skupaj z enako velikimi, če ne še večjimi kosi peščenjaka in apnenca. K komponenti roženca v diagramu na sl. 30 so vštete tudi limonitne sestavine in kosi belega roženca. Tega materiala iz kvartarnih sedimentov v Pivški kotlini je v naplavinah Otoške jame znatno več kot v Podzemeljski Pivki. Zato sklepamo, da je ponikalnica erodirala več kvartarnih sedimentov, ko je ponikala na višini okoli 530 m kot pa kasneje, ko je ponikala na okoli 510 m. Sklepamo, da je bil relief Pivške kotline v prvem primeru mnogo bolj pokrit s kvartarnimi naplavinami kot v drugem primeru, ko je bil vnovič poglobljen v primarne flišne kamnine.

V Otoški jami in Zgornjem Tartarju so naplavine pokrite s sigo rdečkaste barve, porozne in nehomogene teksture. Siga je tesno povezana z rdečkasto prstjo in kostmi jamskega medveda v njej. To starejšo sigo pokriva mlajša siga, ki je odložena v že izoblikovanih udorih. Med obema sigama je v Zgornjem Tartarju rjava poplavna ilovica celo do višine preko 540 m. Na naplavinah v Podzemeljski Pivki pokrov sige ni tako sklenjen, siga sama pa je bele barve, homogena in s številnimi, velikimi kristali. O rdečkastoobarvani prsti in kosteh jamskega medveda ni sledu. Leži na neuravnani podlagi enkrat gruščnatih, drugič ilovnatih plasti, a tudi ob živi skali. Niti v Otoški jami, niti v Podzemeljski Pivki ni med naplavinami videti druge sige. Pač pa so kosi rdečkaste sige med apnenčevim gruščem v Podzemeljski Pivki (vzorec 416). Iz teh ugotovitev lahko sklepamo, da je rdečkasta siga na naplavinah v Otoški jami starejša od sige na naplavinah v Podzemeljski Pivki.

Nadaljnjo pomoč pri starostni opredelitvi obojnih naplavin in skalnih rogov nudijo udori v Otoški jami in precejšnje množine odnešenih naplavin na mestu, kjer Otoška jama križa Podzemeljsko Pivko. Udori so mogli nastati šele tedaj, ko je aktivna ponornica s spremenljivo gladino in erozijsko močjo spodjedala skalno dno više ležečega rova in odnašala tamkajšnje naplavine, ki jih je ponornica posredovala tudi kapnica. Tam, kjer rov Podzemeljske Pivke ni križal starejših rogov ali potekal pod njimi, udori in medsebojne zveze niso mogle nastati, npr. v turističnem delu Postojnske jame. Tudi tam, kjer je razdalja med obema horizontoma večja, npr. med Jamo Koliševko in Martelovim podorom, ali pa tam, kjer ponornica ni bila več sposobna erodirati in sproti odnašati grušč nastajajočih podorov in starejših naplavin (npr. v Črni jami), je zveza le delno vzpostavljena.

Po obravnavanih podatkih o sedimentih in oblikah rovov okoli Otoške jame lahko sklepamo na več razvojnih stopenj (sl. 31 v prilogi), ki si od najmlajše k starejšim sledijo takole:

1. V recentni razvojni stopnji ugotavljamo rast sige v suhih rovih, erodiranje naplavin, poglobljanje skalnega dna pa v vodnih rovih. Poplavna ilovica kaže na nihanje gladine Pivke med 0—10 m, to nihanje je bilo večje bliže ponoru kot v notranjosti vodnega kanala. K tej stopnji je šteti poprejšnje nastajanje Mn prevleke na stenah, sigi in naplavinah.

2. Siga na gruščnatem in ilovnatem zasipu v rovih Podzemeljske Pivke in višje ležečih rovih Otoške jame je nastajala tedaj, ko se je ponornica umaknila iz podzemlja.

3. Podzemeljska Pivka je enkrat erodirala in prenašala alohtoni in avtohtoni grušč in prod, drugič pa le alohtono ilovico. K reki so se stekali številni vodni curki, ki so korodirali jamski strop. Večino podornega grušča je ponornica sproti odnašala. Zaradi izpiranja naplavin so se v suhih rovih podala tla, podirali kapniki, nastajali udori in vertikalne zveze med rovi. V tej razvojni stopnji se je udornica Stara apnenica najbolj intenzivno razvijala. Podorni grušč je prekinil zvezo Otoške jame s površjem in Zgornjim Tartarjem. Ponornica je občasno segala tudi v suhe rove do višine 540 m, kjer je vrh sige odlagala poplavno ilovico.

4. Debela skorja, stalagmiti in kope iz rdečkaste sige so prekrili starejše naplavine v suhih rovih. Spodnji vodni rovi pa so tedaj šele nastajali.

5. Ponornica, ki je ponikala v slepi dolini Risniku, je odlagala pasovito ilovico in pesek, nanje se je nasul avtohtoni grušč. Rova Podzemeljske Pivke tedaj še ni bilo, pač pa so bili že zasnovani vodni kanali v horizontu okoli 515 m.

6. Po zasiganem avtohtonem grušču in alohtonem pesku sklepamo na umik ponornice in nastajanje sige.

7. Ponornica je odlagala kremenov pesek in pesek belega roženca ter limonita. Med naplavino se je odložila stožčasta plast avtohtonega grušča, predvsem pod stropom kasnejše udornice.

8. Avtohtone oblice, prod in pesek pisanega roženca kažejo na neko starejšo razvojno stopnjo Otoške jame in Zgornjega Tartarja. Ponornica je ponikala na mestu današnje slepe doline Risnik in je s transportiranim materialom tudi izdatno dolbla skalni rov.

SEDIMENTI ZA NOVIM HOTELOM PRI POSTOJNSKI JAMI (slika 32)

Leta 1969 so pri izkopu zaseka za hotelsko poslopje nasproti Modrijanovega mлина zadeli v živi skali na številne kraške luknje. Med njimi sta bili dve popolnoma zapolnjeni z naplavinami, pa zato primerni za topografski posnetek in natančnejšo obdelavo (profila 15 A in 15 B na sl. 32). Danes ju ni več mogoče videti in doseči, ker ju zakriva betonska hotelska stena. Oba profila sta razmeroma visoko, na abs. višini 529—547 m, nad današnjim ponorom Pivke na 510 m. Pokazala sta intaktne naplavine v debelini 8 m. Iz vseh plasti smo vzeli

poprečne vzorce, jih označili, analizirali in opisali pod isto številko kot so označene posamezne plasti. Iz analiz smo sestavili trikotna diagrama petrografske sestave in zrnivosti.

Opis profila 15 A

Profil ima pet plasti različnih naplavin.

Plast 5 pokriva skalno dno v debelini 1 m. Spodaj so ilovica, pesek in prod pomešani v enakih odstotkih (vzorca 5 in 5 b), zgoraj pa je v dveh podolgovatih lečah (vzorec 5 a) zbrana peščena ilovica. Prodniki plasti 5 so iz peščenjaka in laporja ter belega roženca. V pesku je peščenjaka in laporja manj, števini pa so njih sestavni deli — oglata zrna raznobarnega kremena in sljude. Prisotni so še ooidi in cevke limonita.

V lečah rumene ilovice s peskom (**plast 5 a**) prevladujejo peščena zrna velikosti 0,5—0,2 mm. Poleg kremena, sljude in peščenjaka so ooidi in cevke limonita.

Plast 4. V rumenorjavi pasoviti ilovici z infiltrirano rdečo ilovico se menjavajo povsem ilovnati in manj ilovnati pasovi. Plast konča sredi profila. Redki peščeni delci so iz peščenjaka in laporja, kremena in sljude; limonitnih ooidov pa je le 10 %. V plasti je 20 % avtohtonih konkcij CaCO_3 , ki jih v krovlini in talnini ni. Izločile so se iz vode med sedimentacijo obravnavane plasti.

Plast 3 je 0,5 m debela ter sestavljena iz rdečkaste in rumenorjave ilovice s peskom in prodom. Maloštevilni prodniki peščenjaka imajo rdečkast zunanji obod z manganovo prevleko. Počrneli so tudi oglati delci belega roženca. V peščeni frakciji prevladujejo zrna peščenjaka in kremena, manj je ooidov limonita in mehkih grudic infiltrirane rdeče ilovice.

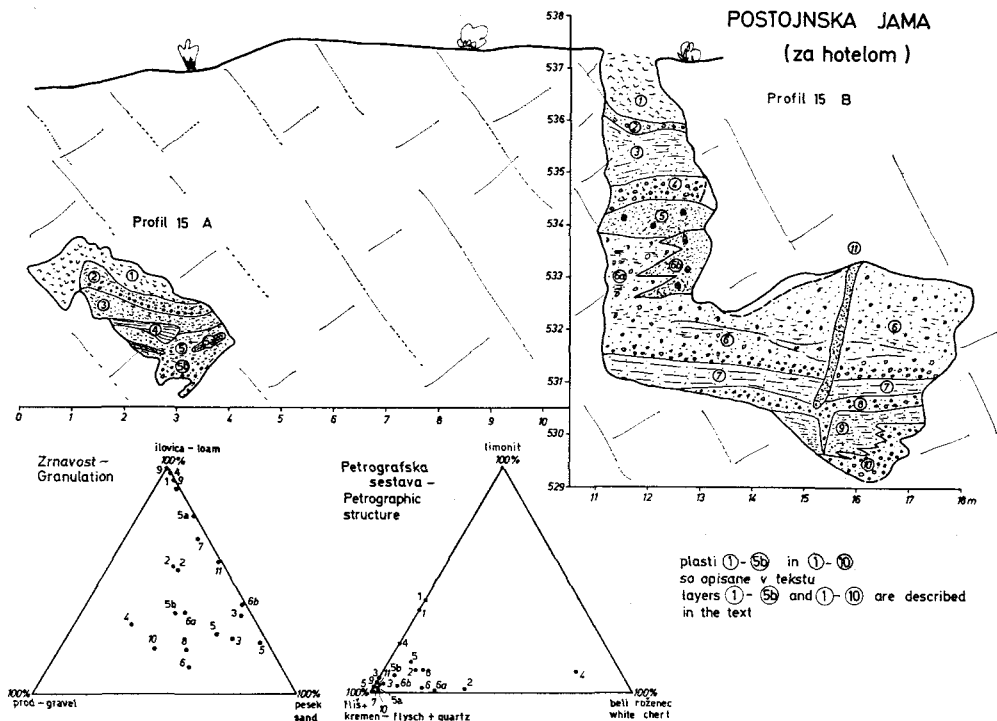
Plast 2 pokriva zopet le del profila. Sredi golice je pol metra debela, proti desni steni pa se stanjšuje. Leve stene ne doseže, ker se zaključi pravokotno nad plastjo 3. To je ilovica (57 %) s peskom (29 %) in prodom (14 %). Proda je več v spodnjem, peska pa več v zgornjem delu plasti. Prod sestavljajo kosi belega, poroznega, delno zaobljenega roženca, ploščati kosi peščenjaka in laporja. Drugod pogostni kosi limonitnih skorij tu manjkajo. Med peščenimi zrni je največ kremena in sljude, manj je cevč limonita.

Plast 1 je rdeča ilovica, ki je zapolnila prostor in se infiltrirala še med starejše naplavine. Peska iz kremena, ooidov limonita in grudic rdeče ilovice je le 5 %. To niso več naplavine iz Pivške kotline, pač pa ilovica kot preostanek kemičnega preperevanja apnenca. V jamski prostor, na neravno podlago naplavin, jo je s površja naprala prenikujoča voda. Profil se navzgor zaključi z jamskim stropom, zato je ilovica lahko zašla v obstoječi rov po kakšnem poševnem kaminu.

Opis profila 15 B

Profil 15 B ima 10 različno sestavljenih in debelih plasti.

Plast 10 — prod (45 %) in pesek (35 %) z ilovico (20 %) na skalnem dnu v višini 529,3 m — je ob desni steni meter debela, ob levi steni pa jo nadomesti plast 9. Obe plasti se stikata cikcakasto sredi profila, po čemer sklepamo, da sta se zgornji del plasti 10 in spodnji del plasti 9 odlagala nekaj časa izmenoma.



Sl. 32. Postojnska jama; profila 14 A in 15 B sedimentov za hotelom »Jama« ter trikotna diagrama zrnivosti in petrografske sestave analiziranih vzorcev; v profilu 15 B vidimo ledna klima

Fig. 32. Postojnska jama; the sediments sections 15 A and 15 B behind the hotel »Jama« and triangular diagrams of granulation and petrographic structure of analysed samples; at the section 15 B the ice wedges are seen

Prodniki plasti 10 so skoraj izključno flišni, oglatega belega roženca je komaj 3 %, še manj pa je limonita. Prodniki kremenovega peščenjaka imajo okrog sivega jedra rjavkast preperel obod, ki je nastal pri preperevanju na površju izven jame. V peščeni frakciji so delci peščenjaka, kremenca in sljude, redki so ooidi in cevke limonita.

Plast 9 je debela skoraj meter. Prehod v krovno plast 8 je oster. Na enem mestu je plast poprek presekana s klinom krovnega materiala. Plast 9 ima 92 % ilovice in 8 % peska. Pesek je sestavljen iz kremenovega peščenjaka in njegovih sestavin. Največ je zrn med 0,2—0,1 mm. Material se je usedal iz domala mirujoče vode, v nasprotju od materiala v krovlini in talnini, kjer je morala teči ponikalnica najmanj 1 m/s hitro, da ga je lahko prenašala.

Plast 8 je debela pol metra in se izklini na skalnem dnu, ki se rahlo dviguje proti levi steni. Sestavlja jo močno manganizirani pesek (54 %) s prodom (27 %) in ilovico (19 %). Prod ima dobro zaobljen peščenjak, nekaj oglatega roženca in kremenca ter limonita v cevastih oblikah. Vsi kosi so prevlečeni z

manganom. Med peščenjakom najdemo kose z 0,5—1 cm debelim preperelim plaščem okrog nepreperelega sivega jedra. Tudi ta material je prepereval izven jamskega okolja.

Plast 7 pokriva profil v debelini 0,5 m. Plast sestavljajo menjavajoče se proge rdeče ilovice in rumenega peska. Pesek je iz kremenovega peščenjaka in njegovih sestavin ter še limonita in grudic rdeče ilovice. Prevladujoča velikost zrn 0,5—0,1 mm kaže na odlaganje v mirni, komaj premikajoči se vodi. Plast kaže pasovito sedimentacijo. Primerjamo jo lahko z ilovnatim peskom (vzorec 5 a) v leči profila 15 A.

Plast 6 je v obravnavanem profilu najbolj debela, saj zapolnjuje razširjeni spodnji del rova in sega še v njegov kaminasti podaljšek. V njej razlikujemo več različno zrnatih in obarvanih sedimentov, pogostne so tudi tanke proge rdeče in rjave ilovice. Takoj nad plastjo 7 je proda največ, sredi plasti pa se med peskom pojavljajo tanke proge rdeče ilovice; v kaminastem delu profila pa je plast sestavljena celo iz dveh petrografsko in po zrnivosti različnih materialov (6 a in 6 b), ki se križno združujeta. Nadalje je posebej zanimiv 0,3 m širok klin svetlorumenega peska, ki deli plast 6 in 7 v dve polovici in se konča v zajedi plasti 8. V dveh poprečnih vzorcih plasti 6 smo spoznali največ peska (46 %) manj proda (35 %) in ilovice (19 %). Vrodu je zopet največ zaobljenega peščenjaka, največji kos meri celo $54 \times 26 \times 15$ mm. Oglati kosi belega roženca so najbolj številni v največji frakciji, medtem ko jih je v drobnejši manj. Ugotovili smo še nekaj bobovca in že večkrat omenjene cevke limonita. Vso to gradivo je počrnelo z mangansko prevleko. Pesek te plasti je iz kremenovega peščenjaka; v zrnih pod 0,5 mm pa nastopajo samo še kremen in sljuda. Frakcije 0,5—0,1 mm je največ.

Plast 6 prehaja v kaminastem delu prostora v nekoliko bolj prodnato plast 6 a in peščeno plast 6 b. Meja med obema različnima naplavinama je cikcakasta, se pravi, da se jeziki obeh naplavin zajedajo drug v drugega, ne da bi se izgubila njuna jasna razmejitev. Ker je plast 6 a zelo podobna spodnji plasti 6, plasti 6 b pa krovni plasti 5, lahko tudi v tem primeru sklepamo na izmenično odlaganje različno zrnatega materiala.

Prod vzorca 6 a je sestavljen iz zaobljenega peščenjaka in oglatega belega roženca ter kosov limonita. Vse je prevlečeno z manganovo snovjo. Peščenjakov prod je še posebej močno preperel. Na enem kosu belega roženca je ohranjen odtis rebraste školjčne lupine. Pesek ima kremenova zrna in zrna sljude ter kose peščenjaka in laporja. Tudi tu je frakcija 0,5—1 mm najmočnejša.

Plast 6 b ima 40 % peska in 60 % ilovice. V pesku je najmočnejša frakcija med 0,2—0,06 mm, kjer so zrna kremenova, sljude in rdečih grudic ilovice. V debelem pesku, ki ga je nekaj odstotkov, je največ peščenjaka. Dosti kremenovih zrn in zrn sljude je povezanih s karbonatnim vezivom v konkrecije, kakršne smo srečali že v plasti 4 v profilu A. Ker se tudi krovne in talninske plasti v obeh profilih ujemajo po sestavi in odloženi višini, jih je možno imeti za ekvivalentne.

Plast 5 ima (78 %) peska in (22 %) ilovice. V pesku je zopet najmočnejša frakcija 0,5—0,2 mm, kjer so v glavnem slabo zaobljena zrna kremenova, zaobljeni roženec ter le nekaj limonita. Ves material je limonitiziran. Kemična analiza je pokazala 88,45 % SiO_2 , 2,76 % Fe_2O_3 in 4,53 % Al_2O_3 ter 4,26 % ostalih

snovi (analiza po E. Grobelšek). V tej plasti se zopet pojavljajo karbonatne konkrecije.

Na tem mestu omenjamo še pesek z vzorcem 11 v klinu, ki deli plast 6, 7 in delno 8 na dvoje. Ta pesek je po zrnivosti podoben pesku v drugih plasteh, le da nima karbonatnih sestavin. Bolj zanimiva pa je njegova plast v obliki skoraj navpičnega klina med starejšimi naplavinami. Pred sabo imamo nek krioturbacijski pojav ali nemara celo »ledni klin«, zelo značilen pojav za trajno zamrznjena tla v periglacialnem svetu kot meni P. Woldstedt (1961, 160).

Plast 4 se jasno razlikuje od spodnje in zgornje peščeno ilovnate plasti, ker ima 50 % proda, 20 % peska in 30 % ilovice. Prod je sestavljen pretežno iz oglatega, le delno zaobljenega belega roženca. Kosi so na površini prepereli, sicer pa prevlečeni s manganom. Največji kos meri $70 \times 40 \times 25$ mm. V trikotnem diagramu (sl. 37) leži vzorec najbližje vogalu s samimi roženci in se po tem razlikuje od drugih vzorcev.

Plast 3 je debela 1 m in sestavljena iz rdečkastih in sivkastih pasov ilovnatega peska. Vsebuje 60 % peska, 36 % ilovice in komaj 4 % proda iz flišnega materiala, prav malo je roženca in limonita. Opaziti je močnejšo naknadno infiltracijo rdeče ilovice. Zrnavost je močno podobna zrnivosti vzorca 5, petrografske pa se razlikuje po odsotnosti karbonatnih konkrecij.

Plast 2 je debela komaj 30 cm in visi proti desni steni. Vsebuje največ ilovice, pesek in prod pa sta v enakih odstotkih. Na višini 536 m je bila z njo sklenjena sedimentacija alohtonih fluvialnih naplavin v obravnavani rov.

Plast 1 je iz rdeče ilovice, kjer je precej limonitnih ooidov.

Izvor in starost naplavin v profilih 15 A in 15 B

Opisane prodne in peščeno ilovnate plasti kažejo na enostavno ciklično dogajanje, kjer je hitro tekoči vodi (okoli 1 m/s) sledila umirjena, skoraj stoječa voda in obratno. Hidrološke razmere so se postopoma spremenile pri sedimentaciji plasti 10 in 9 ter 6 in 5, drugod pa naenkrat.

Pretežni del naplavin je flišnega izvora. To je razumljivo, saj je še velik del današnjega povirja ponikalnice Pivke na eocenskem flišu Pivške kotline.

V prodnih plasteh najdeni kosi roženca so bili nanešeni bolj iz obrobja Pivške kotline. Gre namreč za izključno enak roženec bele do sive barve. Tu ni prodnikov pisanega roženca, ki so pogostni v naplavinah Podzemeljske Pivke in v Otoški jami. Nekdanja ponikalnica je torej imela povirje tudi na ozemlju, kjer je bila razgaljena kamnina s takim rožencem. V poštrev pride paleocenski numulitni apnenec na zahodnem obrobju Pivške kotline, ki vsebuje gomolje in leče podobnega roženca.

Nekaj prodnikov belega roženca iz plasti 6 in 4 v profilu 15 B je pod mikroskopom analizira V. Osterčeva. Ugotovila je roženec v enakomerno drobnozrnato osnovo kalcedona in sledovi kalcita, nadalje nekaj radiolarij, zapolnjenih s kalcedonom (tab. 19 B in C). Lepo so ohranjeni ostanki numulitov (tab. 19 A) in drugih foraminifer. Tudi številne paličaste oblike in večja zrna kalcedona so preostanki numulitov, le da sta prekrystalizacija in silifikacija močno zabrisali prvotno obliko teh fosilov.

Prodni roženca so na površini mestoma obdani s tanko plastjo limonita. Ta nastopa v majhnih skupinah tudi v notranjosti prodnika. Skupine štejejo le

po nekaj kockastih zrn, ki predstavljajo psevdomorfoze limonita po piritu. Od limonita izvira tudi barva rumenih lis, ki jih tu in tam opazujemo v zbruskih.

Tretja sestavina v naplavinah so kosi, ooidi in cevaste tvorbe limonita. Tak material je sicer zelo pogosten na sedanjem kraškem in flišnem površju. R. Gospodarič in E. Grobelšek (1970) sta opisala limonitno geodo v zgornjekrednem apnencu in zanjo menila nastanek iz vode, nasičene z železom in kremenom. V primernih votlinah zakraselih apnencev pod flišnim pokrovom so se izločale limonitne substance v lupinaste geode, ki jih je pozneje površinska voda odnesla in skupaj z ostalim prodom nakopičila v depresije na površju in v ponorne luknje.

Tudi ooidi limonita so nastali iz spojin bogatih z železom. Cevaste oblike limonita pa so mogle nastajati po mnenju A. Šerclja (ustno sporočilo) ob rastlinju z globokimi tankimi koreninicami, kakršne imajo praproti in preslice, ob tipu toplodobne savanske vegetacije. Na tab. 17 A prikazujemo nekaj cevč iz analiziranih vzorcev in jih primerjamo z limonitnimi cevčkami, ki smo jih našli in situ v najstarejših naplavinah Cerkniškega polja (tab. 17 B). Ugotavljamo precej podobne oblike. Možno je torej sklepati, da so tudi v Pivški kotlini nastajale cevke limonita in situ v kvartarnih naplavinah. Pestro sestavljene in limonitizirane naplavine so bile nato s površja erodirane in odložene v ponorne jame, katerih ostanek je ohranjen v profilih 15 A in 15 B.

Za kronološko opredelitev obravnavane sedimentacije je pomembno ponovno opozoriti na pojav lednega klina v spodnjem delu profila B. Ledni klin je namreč tipičen pojav v trajno zamrznjenih tleh periglacialnih območij (P. Woldstedt 1961, 160).

Naš ledni klin je sestavljen iz dveh delov: spodnjega v plasti 9 in zgornjega v plasteh 7 in 6. Spodnji del je zapolnjen z materialom plasti 8, zgornji pa z materialom plasti 5 in 6 b. To govori za dva različno stara klina, saj bi v primeru le enega klina moral biti tudi zapolnjujoč material enak, se pravi iz krov-nih plasti 6 b oziroma 5. Ker to ni slučaj, vse kaže, da se je led iz špranje v plasti 9 pri sledeči otoplitvi umaknil krovnemurodu in pesku (plast 8), v naslednjih plasteh 6 in 7 pa je ponovno nastala ledena špranja, ki jo je pri sledeči otoplitvi zapolnil material mlajših plasti 6 b oziroma 5. Plasti 4 do 2 ne kažejo več znakov trajno zamrznjenih tal; glede na petrografsko podobnost in normalno stratigrafsko zaporedje pa nedvomno spadajo k istemu sedimentacij-skemu obdobju.

Ledni klini dokazujejo, da so se alohtoni sedimenti v profilu 15 odlagali v neki hladni pleistocenski klimi z več kratkotrajnimi otoplitvami. Zaporedne prodne in ilovnato peščene plasti ustrezajo hladnejšim in toplejšim sunkom v okviru ene poledenitve.

SEDIMENTI V POSTOJSKI JAMI

Naplavine v predoru za Biospeleološko postajo (profil 16, slika 33)

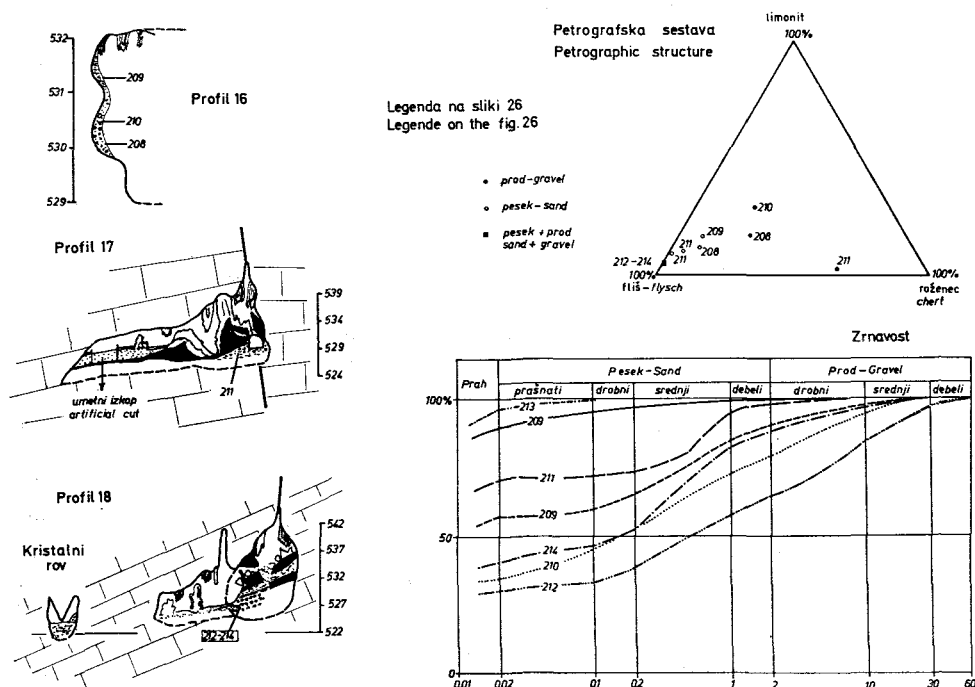
V umetnem rovu za začetno postajo jamske železnice je bilo v živi skali nekaj kotanj zapolnjenih z naplavinami in avtohtonim gruščem, ki jih je delno že opisal S. Brodar (1966, 93—112). Pred iztekom predora v glavni rov Stare jame so zadeli na zasuto kotanjo, ki verjetno spada k prostoru bližnje Bio-

speleološke postaje. Ta kotanja je nekaj nad 500 m oddaljena od ponornega roba, 400 m pa od profila 15. Skalno dno ima na koti 529, strop na 532 m. Pri izdelavi predora so naplavine večinoma odstranili, ohranjene so le še na vzhodni steni.

Vzhodna stena ima v višinskem razponu enega metra dve lepo izoblikovani erozijski polici. Na spodnji polici ležijo bolj prodnate in peščene naplavine (vzorca 208 in 210), na zgornji pa je več rdeče in sive ilovice ter le malo peska (vzorec 209). Gradivo je različno sprijeto s sigo.

Vzorec 208 vsebuje skoraj polovico sige in oglatih kosov avtohtonega apnenca. V alohtonem materialu smo izprali 55 % ilovice in razlikovali nato 35 % peščene in 10 % prodnate frakcije; v vzorcu 210 iz iste plasti pa je 35 % ilovice, 20 % proda in 45 % peska. Vrodu so poglavitne sestavine flišni delci, manj pa je roženca in limonita. Delci fliša so zaobljeni, a tudi odkruškov zaobljenih delcev ne manjka. Na površini so prodniki pokriti s črno prevleko. Mnogi kosi so po površini rdečkasti in prepereli. Kosi belega poroznega roženca

POSTOJNSKA JAMA , Stara jama



Sl. 33. Postojnska jama; Stara jama v profilih 16, 17 in 18, diagrama petrografske sestave in zrnavosti analiziranih vzorcev naplavin (208—210, 211, 212—214)

Sl. 33. Postojnska jama; Stara jama at 16th, 17th and 18th profiles, the diagrams of petrographic structure and granulation of the analysed sediments samples (208—210, 211, 212—214)

so oglati in zaobljeni, prevlečeni mestoma z limonitno snovjo. Limonit nastopa v obliki ooidov, cevč in delcev skorje. V pesku so podobne sestavine kot v prod. Vendar je dosti več peščenjakovih zrn, ki prevladujejo celo v frakciji 0,2—0,1 mm, kjer smo videli sicer še kremen in sljudo.

Vzorec 209 je vzet iz zgornje erozijske police. Pokaže dosti sivorjave ilovice (90 %) in pa naknadno primešane rdeče ilovice. Peščena frakcija (10 %) ima več limonitnih sestavin kot ostala dva vzorca.

Opisane naplavine so po petrografski sestavi podobne tistim v profilu 15. V obe lokaciji je ponornica naplavila alohtono gradivo istočasno in neposredno na skalne police. Hitro tekoča voda je ob takratnem transportu odtrgala tudi nekaj avtohtonega apnenca in ga pomešala med alohtono naplavino. V profilu 16 je kapnica kasneje delno povezovala sipko gradivo s sigo.

Na naplavine naletimo ponovno pri kraju umetnega predora tam, kjer dosežemo Staro jamo pri Slonovi glavi (profil 17, sl. 33). Pokrite so s plastovito sigo, ki prehaja navzgor v stalagmite, segajoče do stropa. Siga pokriva naplavine po vsej širini rova (33 m), njena plast pada od desne proti levi steni. Tla so pa kljub temu izravnana, ker je bil nižji del rova ponovno pokrit z naplavinami. Te je izkopaval S. Brodar (1966, 63) do globine treh metrov. Od zgoraj navzdol je ugotovil sledeče plasti:

- srednjedebl in ostrorobat grušč sprijet s sigo;
- rdečo ilovico z apnenčevim gruščem in odkruški sige. V ilovici je polovica zrn CaCO_3 , 8 % peščenih delcev in 42 % ilovice, v peščeni frakciji prevladujejo »totalno zaobljena« zrna kremenca, tu so tudi kosti medveda;
- sipko plast od jamskega stropa odpadlih kosov sige;
- grušč s flišno ilovico in peskom ter kremenovimi prodniki velikosti do 9 mm, kjer je le 10 % CaCO_3 , prisotne so tudi kosti jamskega medveda;
- sigovo skorjo.

Spodnja sigova skorja se dviguje proti desni steni. Pod njo razgaljena rjava ilovica je torej starejša kot pa naplavine, ki jih je izkopaval S. Brodar.

Starejša naplavina (vzorec 211) ima 70 % ilovice in 28 % peska ter 2 % proda. V pesku prevladujejo zrna med 0,1—0,2 mm. Kar zadeva prod, je omeniti visok odstotek roženca, ki se približuje odstotkom v vrhnji plasti profila za hotelom (plast 4). Srečamo pa prvič kose rjavega in sivega roženca, kar bi govorilo za nek drugačen izvor naplavine kot v profilih 16 in 15. Na naplavino se je odložila sigova skorja, ne da bi vedeli, kolikšen je vmesni časovni presledek.

Profil 17 ima torej spodnje starejše in zgornje mlajše naplavine, ki jih deli vmesna sigova skorja. Material nad sigo se je usedal iz poplavne vode (flišni pesek in ilovica), iz kapnice (siga, rdeča ilovica) in kot podorni material (grušč). V suhih dobah je v takratni rov zahajal jamski medved. Z njim je S. Brodar postavil spodnjo sigo v srednji würm.

V obravnavanem prostoru je strop najvišji na vzhodni strani, proti zahodu pa se zniža in uravnano preide v neizrazito, s sedimenti prekrto zahodno steno. Ker so pod višjim stropom vidne na steni erozijske police, je verjetno tu ohranjen višje ležeči starejši rov. Prostor z nižjim stropom pa je sestavni del mlajšega rova. Takšno morfološko dvojnost skupnega rova zasledujemo še naprej po Stari jami. Vsepovsod so podori in sige v vzhodnem starejšem delu rova, ilovnate

in peščene naplavine skoraj do pod stropa pa v zahodnem delu rova. Tu se cepijo proti zahodu nekateri nižji rovi, med njimi Kristalni rov, ki kažejo na prestavljanje ponornice iz horizonta 529 m v horizont okoli 525 m in še nižje.

Naplavine v Pralnici

(profil 18, slika 33)

Flišne naplavine so pod rdečkasto sigo in podornimi bloki v desni polovici rova. Vidimo 3 m visoko nasipino, ki je lahko še bolj debela, saj ni videti skalnega dna rova. V višini sekundarnih tal rova je spodaj razgaljena meter debela plast rjavega proda, peska in ilovice (vzorec 212). Od više ležečih plasti jo deli počrnela, morda Mn proga. Vrhno plast sestavlja rumena pasovita ilovica (vzorec 213), nato pa ponovno plast z ilovico, peskom in prodom (vzorec 214).

Vzorec 212 iz talnine ima enake odstotke flišnega proda, peska in ilovice. Prod je iz zaobljenega grobozrnatega peščenjaka, kjer je nekdanja počrnela površina oguljena. Laporni delci prevladujejo na prehodu proda v pesek. Tudi v pesku so flišne sestavine, zelo redek je limonit, roženca pa sploh ni. To daje slutiti, da imamo opraviti z drugačno, morda mlajšo naplavino od tiste v profilu 15 in 16. Nobene razlike pa ni v zrnavosti. Ob podobnih hidroloških razmerah se je spremenil le značaj transportiranega gradiva.

Krovna peščena plast 214 ima enolično petrografsko sestavo iz flišnega materiala. Nekateri prodniki so prepereli. V pesku je do najnižje frakcije največ peščenjakovih zrn. Vzorec ima okoli 10 % CaCO_3 , po čemer se razlikuje od drugih tukajšnjih plasti. Plast leži pod sigo, ki po rdečkasti barvi sodeč spada k starejši generaciji.

V morfološkem oziru je tukajšnji rov prav tako kot pri Slonovi glavi sestavljen iz dveh delov. Nižji zahodni del se nadaljuje v Kristalni rov, kjer je skalno dno pod 520 m, naplavine pa ga zapolnjujejo nekje celo do 525 m. Vidimo torej postopno prestavljanje rovov proti zahodu v dobi, ki je sledila nasipavanju proda. Prod se je ohranil ob desni steni, voda pa je poglobljala in prestavljala strugo proti zahodu.

Med obravnavanimi sedimenti profilov 16, 17 in 18 smo ugotovili razlike v petrografski sestavi. Material v kotanji umetnega predora (profil 16), odložen med 529–531,5 m, ima značilno sestavo z belim rožencem, ki ga v materialu pri Slonovi glavi (profil 17) in Pralnici (profil 18) ni. Če upoštevamo še pod koto 529 m odložene naplavine in neposredno prekritje s sigo starejše generacije in podornimi bloki, je videti zasip v profilih 17 in 18 mlajši kot v profilih 16 in 15.

Naplavine v Malih jamah

(slika 34)

Prvo nahajališče je ohranjeno v prostoru Male Kalvarije (profil 19). Leve stene 20 m širokega prostora se držijo ostanki v konglomerat sprijetega proda, peska in ilovice na višini 528,5 m. Naplavine najdemo tu nad sigo še na višini 536 m, vendar je to mlajša rjava in rdeča ilovica. Prod na steni je povezan z rjavo sigo, ki je v vzorcu 215 bilo skupaj z nekaj kosi avtohtonega apnenca

41 %. Alohtoni material je imel 8 % proda, 40 % peska in 52 % ilovice. V produ je 39 % zaobljenega in oglatega belega roženca, 43 % rdečkastega grobozrnatega in limonitiziranega peščenjaka ter 18 % limonita. V pesku najdemo podobne sestavine, le da je roženca in limonita 10 %, ostalo pa so zrna peščenjaka ter pretežno zaobljenega prosojnega kremenca. Peščenjakovih zrn ni pod frakcijo 1 mm, po čemer se razlikuje ta pesek od peska pod sigo v profilih 17 in 18. Razlika je tudi v večji zaobljenosti kremenovih zrn vzorca 215. Drugo nahajališče je pri sklepu Malih jam, pri Damoklejevem meču (profil 20). Naplavine so ohranjene v zajedi 10 m širokega in 20 m visokega rova. Izravnana jamska tla v višini 520 m so posuta z dolomitnim peskom turistične poti, tako da ne vemo, kje je skalno dno. Kup naplavin v zajedi je že precej odstranjen, delno pri nekdanji eroziji, delno pri nadelavi turistične poti, saj so gradivo tudi uporabljali za posutino. Na erodirani kup kažejo prelomljeni stalagmiti in sigova skorja, ki je nekoč pokrivala več naplavin. Na podani skorji mlajše sige raste najmlajša siga. Plasti naplavine so nagnjene proti desni steni zajedi; kažejo na nekdanje pobočje nasipnega griča, ki je nastajal ob boku poglobitve vodne struge. Plasti imajo naslednjo zrnatost in petrografsko sestavo:

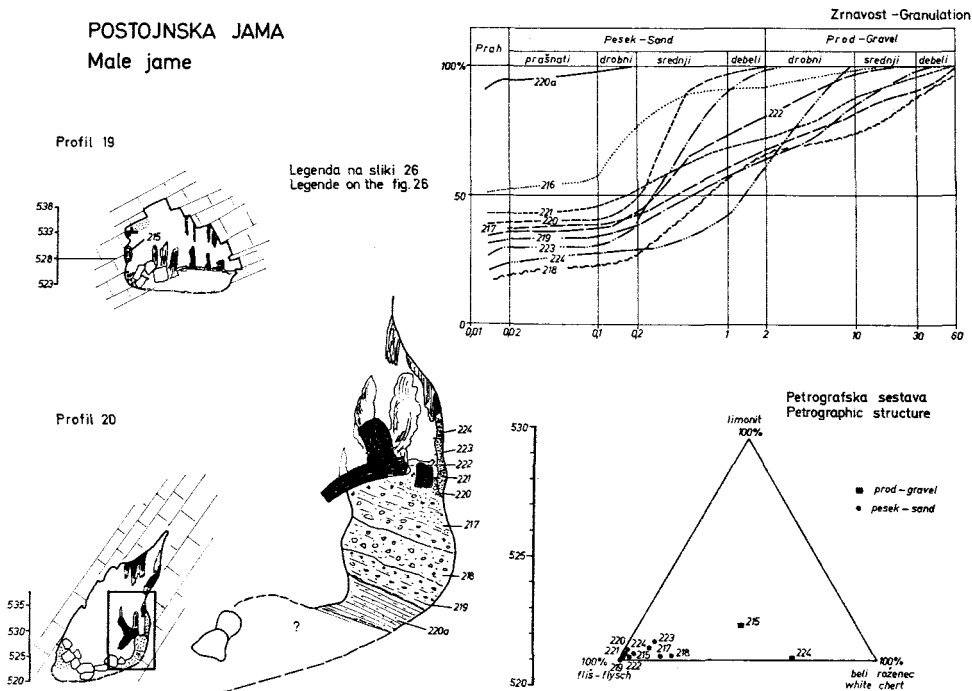
Plast 220 a ima rjavorumeno pasovito ilovico s 5 % peska, večinoma iz peščenjaka, a tudi zaobljenih zrn kremenca.

Plast 219 je debela skoraj meter. Od spodnje ilovice jo jasno loči črna manganizirana proga. Plast odlikuje drobna pasovitost s prodnimi, peščenimi in ilovnatimi progami ter enakomerna zrnavost. Petrografsko imamo opraviti s skoraj samim peščenjakom in laporjem. Omeniti je dobro zaobljena zrna kremenca v peščeni frakciji 1–2 mm.

Plast 218 je sestavljena iz 34 % proda, 45 % peska in 21 % ilovice. V produ je 80 % peščenjaka in 20 % roženca. Limonita ni. Zaobljeni kosi peščenjaka merijo tudi $4 \times 15 \times 25$ mm. Eni so obstojni, drugi razpadejo, če jih izkopljemo iz plasti. Zaradi tega razpadanja je krivulja zrnivosti bolj nagnjena v odseku debelega in srednjega peska, kot bi dejansko smela biti. Tudi kosi roženca so veliki, eden meri celo $70 \times 45 \times 40$ mm. Njegove gladke ploskve poleg zaobljenih robov pričajo, da je od kosa odlomljenih dosti drobcev, prvotno transportirani kos je bil še večji.

Plast 217 ima v srednjem delu več ilovnatga peska, v zgornjem in spodnjem delu pa več proda, ki je ponekod prav čist brez drobnih frakcij. Krivulja pokaže dobro poprečno zrnavost, ki se domala ujema z obema spodnjima plastema. Lahko celo rečemo, da gre pri vseh teh plasteh za podoben tip sedimentacije iz hitro tekoče vode. V produ te plasti so eni kosi zelo manganizirani, drugi pa prav nič. Dosti kosov rdečkasto preperlega peščenjaka govori, da je bil še na površju izpostavljen oksidacijskim procesom, v jamskem okolju pa neenakomerno prevlečen z manganovo prevleko. Pogostni so namreč kosi, ki imajo nad rdečim še črn ovoj. Limonita je le 20 % v ooidih in cevkah, kakršne smo videli tudi v materialu za hotelom (profil 15). Vrh plasti 217 leži meter debela plast sige, ki se je odložila na erodirane naplavine.

Plast 220 ima v pesku ploščnata zrna peščenjaka in laporja ter njune sestavne dele. V največji frakciji 0,5–0,2 mm je 42 % vseh zrn. Tu je razmerje med kremenom in sljudo na eni strani in zrna peščenjaka na drugi strani 70 : 30. To je praviloma razmerje za naplavine, kjer ni prodnikov peščenjaka, ki bi



Sl. 34. Postojnska jama; Male jame v profilu 19 in 20; diagrama zrnavosti in petrografske sestave analiziranih vzorcev naplavin (215, 217—224)

Fig. 34. Postojnska jama; Male jame at 19th and 20th profiles; granulation diagrams and petrographic structure of analysed sediments samples (215, 217—224)

pri razpadanju v jami povečal odstotek peščene frakcije. Vodni pogoji usedanja so bili v tej tanki plasti s slabo zrnavostjo mnogo bolj umirjeni kot pri plasteh v talnini in krovlini.

Plasti 221 in 222 sta v krovlini in imata pesek (28 % in 43 %) z ilovico (44 % in 37 %) in prodom (28 % in 20 %). Vrodu je rdečkast, zaobljen peščenjak v večini, limonitni ooidi, oglati kosi belega roženca pa v manjšini.

Plast 223 je ohranjena le kot obloga na steni v širini pol metra. Njena krivulja zrnavosti se ujema s krivuljo vzorca 220, v obeh primerih prevladuje frakcija med 1—0,2 mm. Tu je zastopan oglat kremen s sljudo, zrn peščenjaka je še 20 %. Opaziti je pasovito razporejene proge peska in ilovice.

Plast 224 je najvišja, saj doseže 530 m višine. V povprečnem vzorcu je petina sigastega veziva, 40 % proda in 35 % peska roženca in kremenca. Rdečkastorjave ilovice je 25 %. Večinoma prozoren, bel in temnosiv kremen je zelo zaobljen. Družbo mu dela zaobljen in oglat roženec. Ta koncentracija roženca in kremenca je izjemna med vsemi obravnavanimi plastmi. Po zaobljenosti in petrografski sestavi sta mu še najbližja vzorec 215 v Mali Kalvariji in vzorec v₄₊₅ v profilu 21 iz bližnje Koncertne dvorane.

Naplavine med Koncertno dvorano in Malimi jamami (slika 35)

Pri gradnji krožne proge in novega perona blizu Koncertne dvorane so zadeli na več lukenj z naplavinami, razgalili pa so tudi profile v že obstoječih rovih.

V desni steni rova, ki povezuje Male jame in Koncertno dvorano, so zadeli na takšno luknjo potem, ko so že izvrtali 8 m predora (profil 21 A); naplavine je bilo možno posneti tudi nad progo v rovu samem (profil 21 B).

V profilu 21 A je bilo možno ugotoviti štiri plasti med stenama, dve plasti pa taki, ki sta se klinasto zaključili sredi profila.

Spodnji plasti V_4 in V_5 imata 20 % ilovice, 45 % peska in 35 % prod, kar ju uvršča med tiste plasti, ki so pri doslej obravnavanih najbolj prodnate. Vrodu je 40 % oglatih in zaobljenih kosov poroznega svetlosivega in belega roženca. En prodnik meri $25 \times 20 \times 10$ mm. Prodniki peščenjaka (30 %) so zaobljeni, conarno prepereli in z manganizirano površino. Limonitne sestavine (30 %) so iz kosov skorje, ooidov in cevč. Prod je v celoti močno podobenrodu v profilih 15, 19 in 20, verjetno je to vsepovsod istodobna naplavina.

V klinasti plasti V_{4a} prevladuje ilovica (63 %) nad peskom (37 %), tako da sovпада ta vzorec s tistimi, ki se v profilu 15 za hotelom javljajo med prodnimi plastmi. Vzorec v jami pa ima več limonitnih sestavin.

Plast V_3 je sestavljena iz vodoravno odložene pasovite ilovice. Vrhnja klinasta plast V_2 pokaže zopet na hitrejši vodni tok, kjer so se usedali pretežno flišni peščenjak in lapor. Plast V_1 — rjava in rdeča ilovica s 5 % peska — je zapolnila kotanjo, tako da se ni mogla v njej odlagati avtohtona siga.

V profilu 21 a je torej ohranjena spodnja prodnata plast in zgornja ilovnata plast, obe sta prekinjeni z vložkom naplavine drugačne zrnivosti. Pri odlaganju spodnje plasti je tekla voda s hitrostjo najmanj 1 m/s, pri zgornji plasti pa je skoraj mirovala, le enkrat se je vmes pojavil tok s hitrostjo najmanj 15 cm/s. Redke skale avtohtonega apnenca med naplavino povedo, da se je rov tudi oblikoval med sedimentacijo.

Sedimenti nad progo (profil 21 B) se po višini neposredno nadaljujejo nad pravkar opisanimi. Starejše skalno dno je domnevati na okoli 520 m višine. Spodnje prodnate naplavine so verjetno zasute, tako da lahko le nad višino 526 m ugotovimo naplavine v 3 m visokem sklenjenem profilu.

Spodnja plast 864 ima 73 % peska, 20 % ilovice in le 7 % prod. Prod ima zaobljene kose peščenjaka in laporja, limonita in roženca je 10 %. Sestava je zelo podobna plasti V_2 . Krivuljo zrnivosti vzorca 864 lahko dopolnimo z analizo ilovice, ki jo je opravila B. Neblova (1967) na freiberski univerzi. Krivulja enakomerno pada v področje melja, čiste glin je prav malo. V melju je komaj 1 % karbonata in pod 0,1 % P_2O_5 ; med glinenimi materiali pa so zastopani ilit in klorit, nekaj je tudi glincev.

V področje skoraj samega melja pade rumena neplastovita ilovica plasti 865, ki vodoravno pokriva spodnjo plast 864. Ta ilovica vsebuje 0,25 % humusa, 0,50 % karbonata in 0,66 % P_2O_5 , med minerali glin pa klorit in ilit ter nekaj glincev.

Naslednjo plast 866 sestavlja pasoviti pesek z ilovico, ki se pod vrhno sigasto plastjo pomnoži s prodniki zaobljenega peščenjaka in laporja. V peščeni

Fig. 35. Postojnska jama, the galleries near the Concert Hall at 13th (see the fig. 30), 21stA and 21stB profiles with sediments columns and the diagrams of petrographic structure and granulation of analysed samples (864—869, v₁—v₃)

frakciji vzorca 866 je največ zrn kremenca in peščenjaka. Ilovice je le 3,5 %, v njej pa je B. Neblova spoznala 0,5 % karbonata in 0,4 % P_2O_5 . Najbolj izrazita frakcija peska (0,5—0,1 mm) pove, da se je odlagala plast ob največji hitrosti 5 cm/s, prodniki pa, da se je navzgor hitrost povečala. Po odložitvi proda se je tekoča voda nenadoma umaknila, saj se je iz kapnice izločila 10 cm debela plast sige in konkrecij (vzorec 867).

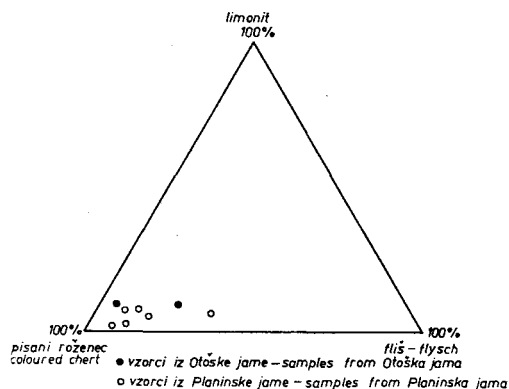
Ponovna sedimentacija iz ponorne vode začne s peščeno ilovico in nato z navzkrižno odloženo ilovico (plast 868). Obstoječa debelina te plasti (0,9 m) pa je lahko bila večja, saj je njena zgornja meja erodirana. Na erodirani podlagi leži plast 869, kjer je 3 % drobnega in 67 % prašnatga peska ter 30 % čiste gline. Tu je B. Neblova ugotovila 2 % karbonata, 0,1 % humusa, medtem ko P_2O_5 ni našla. Pri vzorcu iz vrhnje plasti 869 je omeniti prevladujočo frakcijo 0,05—0,01 mm, ki je značilna za puhlico. Ni pa karbonatne primesi, ki je za tovrsten sediment značilna (P. Woldstedt 1961, 171). Omeniti je treba, da je odložen sediment oddaljen od jamskega vhoda najmanj 2 km. Pri transportu so lahko bile karbonatne primesi raztopljene v agresivni ponornici, pri transportu in odlaganju pa je prišlo do take hitrosti vode, pri kateri so se odlagala zrna puhlične velikosti.

Odsotnost limonita in belega roženca govori za spremenjeno vsebino jamske vode, verjetno je material presedimentiran iz starejših naplavin, ki so bile odložene po jami. Poplavna voda je drobne frakcije starejšega zasipa odnašala in prelaga tja, kamor se je dvignila in umirila. V bližini profila 21 so ostanki rjave flišne ilovice med dvema generacijama sige na koti 531. Poplavna voda je zalivala včasih rov prav do stropa. Natančnejšo mejo te poplave ugotovimo po ostankih ilovice še na stenah ob Veliki gori in sosednjih rovih na višini 536 m.

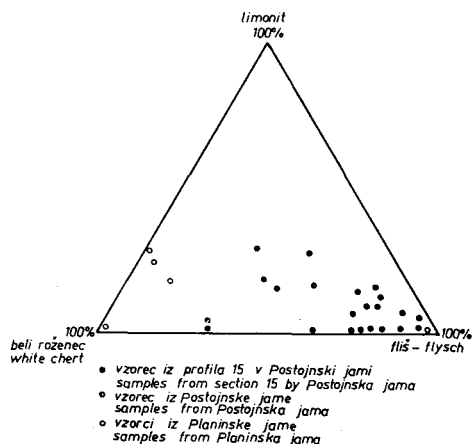
Ob Koncertni dvorani se združujeta oziroma križata postojnski in otoški krak Postojnske jame. Ker pa so naplavine v prečnem profilu otoškega kraka ob Koncertni dvorani pod plastmi sige in jih ne moremo videti, smo za primerjavo izbrali profil 13 iz Zgornjega Tartarja. V obeh krakih ležijo najmlajša, poplavna ilovica in mlajša siga različno visoko na različno oblikovanih tleh rogov. Prva naplavina pod mlajšo sigo so proge peska in ilovice v obeh krakih. V otoškem kraku je vmes nekaj avtohtonega grušča (vzorec 431). Ker ga na mestu profila 21 ni, verjetno tod strop ni tako razpadel, eventualni grušč Koncertne dvorane pa ga ni dosegel. Zato je možno, da je bimodalna naplavina pesek + ilovica (vzorec 430 in vzorci 868—869) še povsod istodobna, saj je tudi ohranjena v enako debeli plasti na skoraj isti absolutni višini okoli 525 m. Delna razlika v sedimentaciji gre na račun mnogo bolj nemirnega toka v ožjem in mrežastem postojnskem kraku, v nasprotju z relativno umirjenim tokom in ravno odloženimi pasovitimi plastmi v širokem rovu otoškega kraka. V pesku obeh lokacij prevladuje frakcija 0,5—0,2 mm. Vse povsod je večinoma flišno gradivo z nekaj odstotki limonitnih in roženčevih sestavin.

Niže ležeče naplavine v profilih obeh krakov imajo že močno različno zrnatost in petrografsko sestavo. V otoškem kraku je namreč delno zasigana plast avtohtonega grušča v ilovnatemrodu, nato pa roženčeve oblice na skalnem dnu. V postojnskem kraku so nad starejšo sigo in skalnim dnom naplavine z belim rožencem, preperelimi flišnimi prodniki in limonitom, ki odražajo spremenljivo hitrost ponornice med 0—2 m/s (V_5 — V_1 in 864—866).

NAPLAVINA S PRODOM PISANEGA ROŽENCA
Sediment with coloured chert gravel



NAPLAVINA S PRODOM BELEGA ROŽENCA
Sediment with white chert gravel



Sl. 36. Postojnski jamski sistem; skupna diagrama petrografske sestave vseh analiziranih vzorcev proda pisanega roženca in proda belega roženca

Fig. 36. The Postojna Cave System; the common diagrams of petrographic structure of all coloured chert gravel and white chert gravel analysed samples

Malo je verjetno, da bi se tako različne hidrološke in sedimentološke razmere uveljavile istodobno v mrežastih, sosednjih rovih, ki so se križali na isti nadmorski višini. Ob istočasni sedimentaciji bi bilo pričakovati tudi petrografsko mnogo manj mešane naplavine vsaj kar zadeva roženec, kot pa smo jih lahko ugotovili. Kaže torej stratigrafsko razlikovati obojni naplavin in sicer tako, da je naplavina z oblicami pisanega roženca starejša od naplavine s prodrom belega roženca (sl. 36).

Ostali podatki o sedimentih v suhem delu Postojnske jame

Aluvialne naplavine najdemo tudi v ostalih delih Postojnske jame, ki leže vzhodno od obravnavanih in bolj daleč od ponorskega roba. Skromni ostanek je ohranjen v skalni zajedi sredi Pisanega rova na višini 530 m. Srednji prod do drobní pesek sta sprijeta z rjavo sigo v peščenjak. Tu so zaobljeni kosi kremenovega peščenjaka, oglati kosi belega roženca, kosi limonita in ooidi ter kremen. Ta sestava je podobna naplavinam v Malih jamah in pred Koncertno dvorano, a tudi tistemu pesku inrodu, ki sta najdena v Zgornjem Tartarju in v Otoški jami nad apnenčevim gruščem. Vsekakor gre za starejšo naplavino, ki jo je odložila ponornica, ko je skozi Pisani rov še tekla v višini 530 m. Takrat ta rov še ni mogel biti prekinjen z udornico Jeršanovo dolino, potekal je proti vzhodu Planinski jami naproti. Pisani rov ima sicer največ poplavne ilovice med dvema generacijama sige, od katerih je ena mlajša (radioogljikova analiza je pokazala na okoli 40 000 let — H. Franke in M. Geyh 1971), druga pa

Tabela 2. Razvoj Postojnskih jam

Podzemeljska Pivka			Otoška in Postojnska jama			
Proces	Sedimenti		Sedimenti		Proces	Čas
	alohtoni	avtohtoni	alohtoni	avtohtoni		
erozija	poplavna ilovica	podorne skale črna Mn prevleka	?	sig 8000 b. p.	akumulacija podiranje kapnikov, posedanje tal	holocen
akumulacija	?	sig		sig 12 000 b. p.		postglacial
erozija	ilovica, grušč in prod	podorne skale, grušč	poplavna ilovica in pesek	podorne skale, grušč	akumulacija	zgornji würm
	skalni rovi na 511 m		rdeča ilovica	sig 40 000 b. p.		srednji würm
	skalni rovi na 515 m		flišni prod in pesek, pasovita ilovica	grušč, podori	akumulacija erozija	spodnji würm
			rdeča ilovica	sig	akumulacija	riss-würm
			prod in pesek belega roženca	grušč		riss
			prod pisanega roženca	?		srednji kvartar
			skalni rovi na 530 m			

najmlajša, postglacialna. Razvojne stopnje Pisanega rova se je dalo razčleniti (R. Gospodarič 1969), prav tako kot v Čarobnem vrtu za podorno Veliko goro, od koder poznamo tudi dve generaciji sige z vmesno poplavno ilovico (R. Gospodarič 1972). Sicer pa je v rovih okoli Velike gore videti največ poplavne ilovice med sigama, npr. ob vznožju Velike gore, od koder je S. Brodar (1966, 29) opisal en profil, nadalje v rovu Briljanta in Šotora, v Ruskem rovu in v Lepih jamah. Najbolj oddaljeno nahajališče starejše naplavine je v kotanji Umetnega rova med Postojnsko in Črno jamo, ki smo jo omenili že na strani 78. Po petrografski sestavi in pasoviti sedimentaciji ustreza morda zgornjemu delu naplavin v profilih 21 in 20 pred Koncertno dvorano oziroma v Malih jamah ter naplavini pri profilu 14 in 13 v Zgornjem Tartarju.

SKLEPI O SEDIMENTIH IN RAZVOJNIH STOPNJAH POSTOJNSKIH JAM

V profilih v suhih rovih Postojnske jame smo spoznali tri vrste naplavin.

1. Naplavine s prodom belega roženca v družbi preperelega flišnega proda, peska in ilovice ter limonita na skalnem dnu pri vходу na 529 m visoko, 1–1,5 km v notranjosti jame pa na 520 m visoko. Med naplavino ni sige, niti grušča; ledni klin v profilu 15 za hotelom govori za odlaganje v neki hladni klimi.

2. Mlajše pasovite naplavine iz peska in ilovice ter le malo proda. Odložene so po vseh suhih rovih v večjih in manjših kupih med današnjim jamskim vhom in Ruskim rovom. Blizu ponornega roba so bolj zrnave kot v notranjosti rovov. Petrografsko so sestavljene iz samega flišnega materiala z nekaj odstotki roženca in limonita kot je razvidno iz diagramov petrografske sestave vzorcev na sl. 27, 28, 29. K tej naplavini je šteti že znane pasovite sedimente v Umetnem rovu med Postojnsko in Črno jamo. Nad naplavino nastopa nekje rdeča ilovica, povsod pa mlajša siga.

3. Poplavno flišno ilovico med mlajšo in najmlajšo sigo, ki je mnogo bolj pogostna v sklenjenih suhih rovih Postojnske jame do višine 540 m kot v vhodnih delih jame, kjer je med njo več peska. To je v glavnem naplavina, ki jo je izkopaval S. Brodar (1966) in kjer so bile najdene kosti jamskega medveda. Med njo so podorni grušč in kapniki mlajše sige.

Skupaj s podatki o naplavinah v Otoški jami in vodnih rovih Podzemeljske Pivke, ki so opisani na straneh 80–85, lahko sestavimo stratigrafsko zaporedje jamskih sedimentov ter spoznamo ustrezne razvojne stopnje in preoblikovalne procese Postojnskih jam kot je razvidno na tabeli 2 na strani 100.

Iz tabele je razvidno, da je razvoj rovov, vezanih na pretok ponornice v horizontu pod 511 m višine v Podzemeljski Pivki drugačen od razvoja rovov, ki jih je oblikovala ponornica pri poniranju na okoli 530 m višine. Le siga v postglacialnem obdobju označuje skupno avtohtono akumulacijo, ko se je ponornica za kratko dobo umaknila iz podzemlja. Ko je ponornica transportirala apnenčev prod, flišni in roženčev prod v Podzemeljski Pivki, se je občasno dvigovala tudi v suhe rove Postojnske jame in tam odlagala poplavno ilovico in pesek vrh sige. Ker te ilovice ni v Otoški jami je možno sklepati, da je visoka voda odtekala tedaj skozi Ruski rov in Lepe jame v Črno jamo. Možno je tudi komuniciranje

iz Pisanega rova proti vzhodu k Planinski jami po rovih, ki so bili kasneje zasuti in podrti.

Pred mlajšo (interstadialno) sigo imamo opraviti le z zasnove Podzemeljske Pivke. V više ležečih rovih so se tedaj sedimentirali flišni sedimenti pasovite strukture iz ponornice s spremenljivo gladino in pretokom. Skalno dno se je poglobljalo iz zgornjega horizonta k spodnjemu. Ponornica je bila že usmerjena proti severu k Črni in Pivki jami.

Na sedimentacijo v hladni dobi kaže naplavina s flišnim prodromom in prodrom belega roženca. Poglavitna ponornica je ponikala skozi ponorne luknje na višini 530 m blizu današnjega jamskega vhoda. Hladna klima je v Otoški jami pospeševala razpadanje stropa, saj se je med naplavljenilo ilovico in pesek obravnavane naplavine nasipal avtohtoni grušč.

V Otoški jami so oblice in prodniki pisanega roženca na skalnem dnu kot najstarejša naplavina, ki smo jo lahko ugotovili v Postojnskih jamah. Ponornica jo je nanesele skozi otoški krak, ko je tekla proti vzhodu k Planinski jami. Istočasno je bil lahko aktiven manj razsežen postojnski krak. V njem pa najstarejših naplavin nismo našli oziroma mogli dokazati.

IZVOR ALOHTONIH JAMSKIH SEDIMENTOV

Kot smo videli v predhodnih poglavjih je pretežna večina sedimentov v Postojnskem jamskem sistemu alohtona. Ponikalnice so jih odložile v podzemlju potem, ko so jih erodirale na površju Pivške kotline in njene okolice.

Prod laporja in kremenovega peščenjaka, pesek kremena in sljude ter ilovica so iz primarnih flišnih kamnin Pivške kotline in njenega zahodnega obrobja. V jamskih sedimentih so tudi prod in pesek pisanega in belega roženca ter limonitne sestavine, ki jih primarne flišne kamnine ne vsebujejo; so pa sestavni del kvartarnih sedimentov, ki pokrivajo flišni relief Pivške kotline in njeno obrobje.

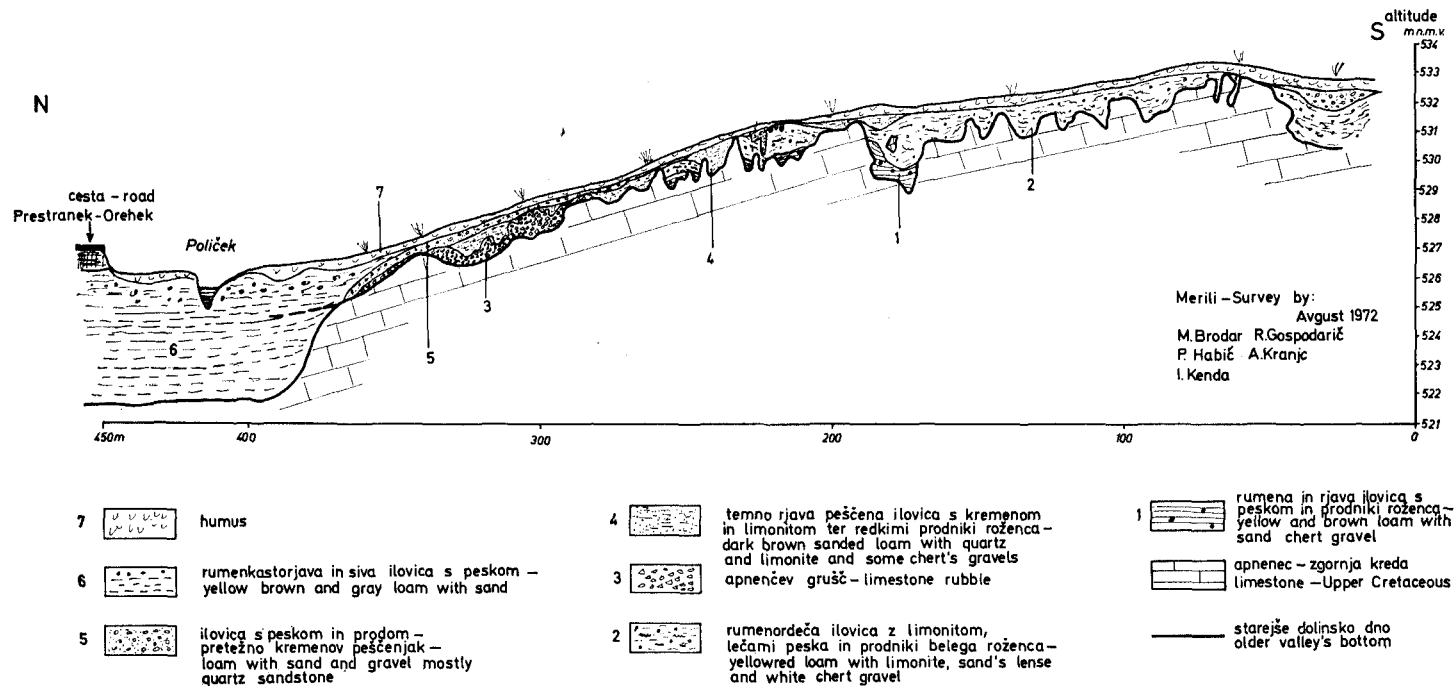
Jamske naplavine so torej sestavljene iz primarnih in sekundarnih površinskih sedimentov. O njih je iz Pivške kotline doslej le malo objavljenih profilov, dosti več je domnevanega na podlagi razširjenosti jamskih sedimentov v obrobjem krasu (S. Brodar 1951; 1952; 1966; 1970; F. Osle 1968).

Med gradbenimi deli za avtocesto v bližini Postojne in za vodovod Postojna-Pivka v l. 1971-1972 so bili poprek in vzdolž severnega dela Pivške kotline razkriti številni profili naplavin. Med njimi smo uspeli podrobneje pregledati najbolj zanimivega pri Prestranku.

OPIS PROFILA PRI PRESTRANKU

(slika 37)

Gledano s ceste Prestranek - Orehek v bližini prestranskega gradu proti jugu h Kočam, poteka 2—3,5 m globok vodovodni jarek sprva v višini 526,5 m v naplavini potoka Polička, nato pa v skalni terasi zgornjekrednega apnenca v višini 527—533 m. V 400 m dolgem profilu so razgaljeni petrografsko in stratigrafsko različni kvartarni sedimenti.



Sl. 37. Pivška kotlina, profil kvartarnih sedimentov pri Prestranku. Sedimenti ležijo na zakraselem zgornjekrednem apnencu.

V plasti apnenčevega grušča (3) in plasti peščene ilovice (4) vidimo »žepaste« strukture — znake trajno zmrznjenih tal

Fig. 37. The Pivka Basin, the quaternary sediments near Prestranek. The sediments are lying on the karstified Upper-cretaceous limestone. In the limestone rubble layer (3) and in sand loam layer (4) the »pocket« structures — characteristic for permafrost — are seen

1. sediment na čokasti skalni podlagi je rumena (2.5 Y 7/8) in rjava (10 YR 6/6) ilovica z lečami peščene ilovice. Tu so ohranjeni le skromni ostanki tega sedimenta v primerjavi s tistimi, ki so jih razgalili v vodovodnem jarku okrog naselja Grobišče in Zalog v višini okoli 540 m. V tem sedimentu so bili dokaj pogostni prodniki pisanega roženca.

2. sediment — rumenordeča ilovica (5 YR 5/8) z limonitom in prodniki belega roženca — pokriva nekje starejšo ilovico, drugje pa skalo. V skalnih vdolbinah je plast debelejša, nad čoki pa je tudi kar zmanjka. Videti je rahlo plastovitost, kjer se menjavajo različno limonitizirane proge ilovice in peska. Zgornja meja te plasti je obdana z limonitno skorjo, sama meja pa je na več mestih povita navzdol in navzgor v asimetrične gube, kakršne poznamo sicer v sedimentih, ki so jih zajeli procesi krioturbacije.

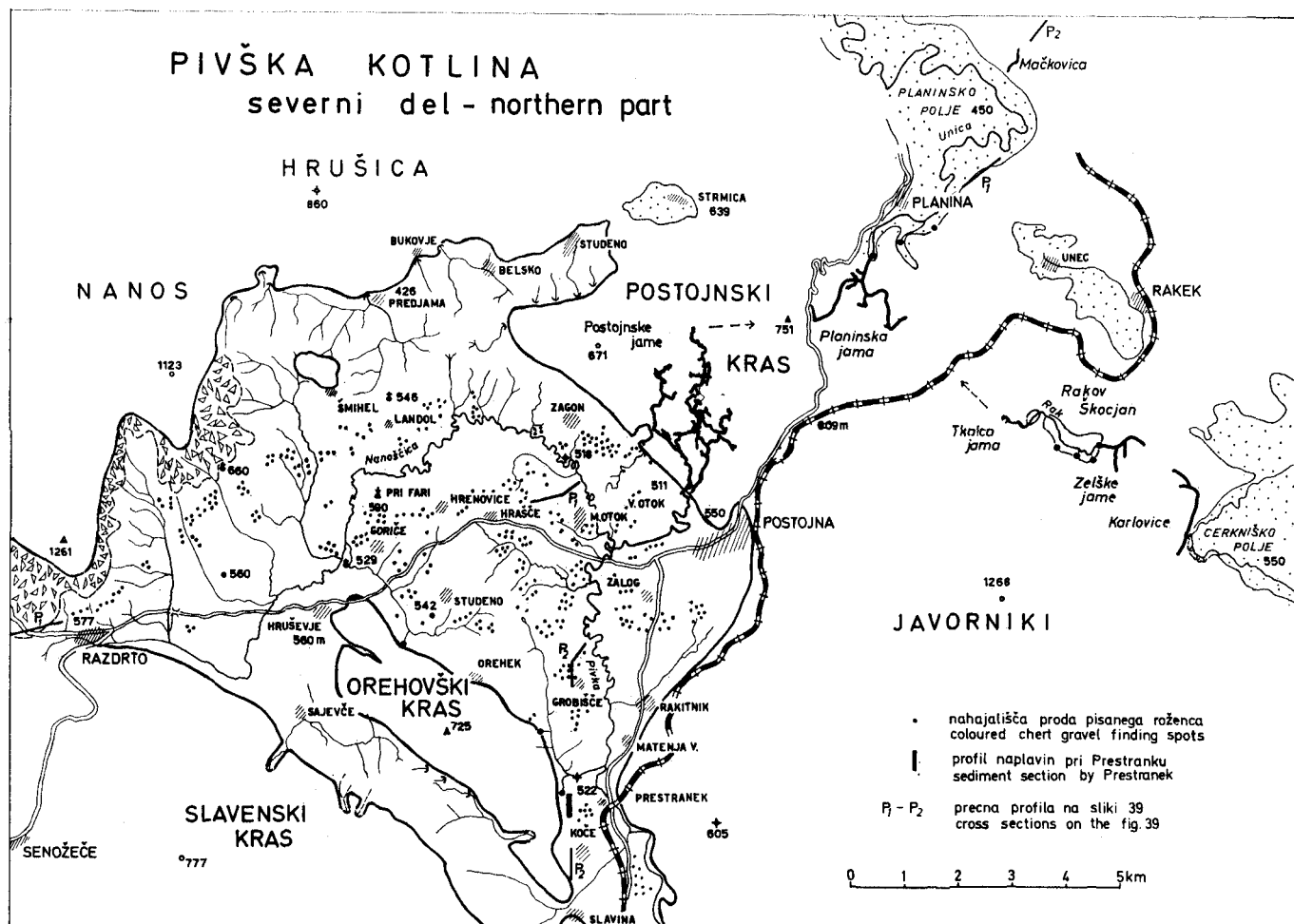
3. sediment — apnen grušč — leži domnevno na skalni podlagi v nižjem delu profila med 527—529 m. Grušč izhaja iz skalne podlage nekdanjega pobočja ali nagnjene skalne terase. Tudi njegova zgornja meja je povita žepasto. Ker se grušč direktno ne stika s sedimentom št. 2, je možno njuno stratigrafsko razmerje le posredno ugotoviti s pomočjo

4. sedimenta — peščeno ilovico s prodom, ki obojni material pokriva v neenakomerno debelih lečah. Te leče so sestavljene pretežno iz kremenovega peska z 0,2—1 mm velikimi zrnji, ooidi, cevkami in geodami limonita ter zaobljenimi kosmi preperelega belega roženca. Ta sestava je zelo podobna naplavini v profilu 15 pri vhodu v Postojnsko jamo.

Zgornja meja drugega in tretjega sedimenta je žepasto povita. Žepe zapolnjuje 4. sediment, tako da se s spodnjima sedimentoma ne meša. P. Woldstedt (1961, 158, 306) označuje take krioturbacijske oblike kot »Taschenboden«, značilne za trajno zmrznjena tla v periglacialnih območjih. Kaže, da bi lahko tudi v našem primeru govorili o trajno zmrznjenih tleh, torej o hladni dobi, ki je nastopila kmalu po odložitvi 2. sedimenta. Tudi ledni klin, kakršnega smo ugotovili v naplavinah v profilu 15 v Postojnski jami, je tipičen znak za trajno zmrznjena tla. Ker so še sedimenti v profilu 15 petrografske in po zrnavosti zelo podobni, je povsem verjetna njihova istočasna sedimentacija in zmrznitev v nekem glacialu. Prvi glacial, ki pride v poštev je riški, kajti v Würmu po mnenju A. Šerclja (1970) v Pivški kotlini ni bilo trajno zmrznjenih tal.

5. sediment močno rjave (7.5 XR 6/6) in rjave (7.5 YR 4/4) barve dokaj enakomerno pokriva gruščnato plast (3), nad plastjo 4 in 2 pa se izklini. Petrografske imamo opraviti s prodniki in peskom kremenovega peščenjaka, kjer je le malo prodnikov pisanega in belega roženca in skoraj nič limonita. Zrnavost analiziranega vzorca brez ilovice se giblje med srednjim prodom in drobnim peskom brez bogate frakcije zrn med 0,2—1 mm. Ker so spodnje plasti sedimentov 1—4 predvsem peščene, kaže material 5. sedimenta na spremenjene pogoje sedimentacije.

6. sediment — rumenorjava (10 YR 5/6) ilovica s programi sive ilovice, 5 m na debelo pokriva poglobljeni del profila, ki smo ga z ročnima vrtinama ugotovili na 521 m. Z vrtanjem tudi nismo zadeli na sedimente, ki bi bili enaki ali podobni tistim na skalni podlagi nad 527 m. To kaže, da je poglobljena dolina s sedimenti vred mlajša, skalna terasa na 527 m s sedimenti vred pa starejša.



Sli. 38. Pivška kotlina (severni del) in Postojnski jamski sistem; v kvartarnih sedimentih, ki pokrivajo eocenski fliš, so številna nahajališča proda pisanega roženca in pasovite ilovice

Fig. 38. The Pivka Basin (the northern part) and the Postojna Cave System; in quaternary sediments, covering the Eocene flysch, several coloured chert gravel and laminated loam finding-places are situated

**NAHAJALIŠČA PRODA PISANEGA ROŽENCA V SEVERNEM DELU
PIVŠKE KOTLINE
(slika 38)**

Na pobočjih in vzpetinah ter v terasah nad ravnici smo vsepovsod našli različno velike prodnike pisanega roženca. Samo severno od Šmihela, kjer se svet prevesi k Predjami, in okrog Sajevč, ga ni bilo moč ugotoviti. Nahajališča niso omejena na določeno višino, saj so okoli Postojne v terasah na 530 m, proti zahodu pri Fari se najdejo na 560 m, pri Razdrtem pa celo na 600 m nadmorske višine. Roženčev prod je tudi na terasah ponornega roba med Postojno in Zagonom do 550 m visoko. V samih aluvialnih ravninah ob Nanoščici in Pivki najdeni prod je po vsej verjetnosti bil sem kasneje prestavljen iz bližnjih, više ležečih nahajališč.

Katerokoli nahajališče že pogledamo, vsepovsod so prodniki roženca zelo zaobljeni, številni pa so tudi odkrhnjeni v oblikah, ki so zelo podobne artefaktom. Največji najdeni prodnik ima skoraj 10 cm premera. Čeprav najdenega prod nismo posebej analizirali, je že makroskopsko možno ugotoviti, da fliš ni njegova primarna kamnina. Tudi bazalni konglomerat fliša iz vzhodnega roba Postojnske kadunje, ki bi kot prvi prišel v poštev, takšnih prodnikov nima (R. Gospodarič in sodelavci 1967).

Da je izvor iskati na terenih izven Pivške kotline, je sklepati tudi po podatkih D. Vozlja (1956), ki je petrografsko analiziral artefakte Betalovega spodmola in ugotovil, da so iz sledečih poglavitnih kamnin:

62,2 % roženca,
14 % tufa,
6 % kvarcita,
5,8 % kremen in
2,0 % opala ter
10 % drugih kamnin.

D. Vozelj sicer domneva, da je pračlovek nabiral potrebno surovino v savskemrodu, daleč proč od Pivške kotline, vendar je več kot očitno, da je imel v Pivški kotlini za obdelavo na voljo prodnike vseh vrst, oblik in velikosti.

Prod pisanega roženca je največkrat v družbi rumenkaste peščene ilovice pasovite teksture in limonitnih tvorb. Le redkokje so poleg njega flišni prodniki. Po situaciji v profilu pri Prestranku in v vodovodnem jarku pri Grobišču je prod najbolj verjetno v talnini omenjene ilovice.

Prod pisanega roženca lahko imamo za eno najstarejših naplavin v Pivški kotlini, ki je skupaj z ilovico različno na debelo prekrivala relief na flišu in apnencu. Domnevno zgornjo mejo te akumulacije smo načrtali na prečnem profilu slike 39 na podlagi do danes ohranjenih in ugotovljenih nahajališč med Razdrtem in Postojno.

Vse pa kaže, da je ta akumulacija segala v postojnsko podzemlje. V Otoški jami najdeni prodniki pisanega roženca so namreč povsem enaki površinskim, prav tako smo v Planinski jami ugotovili enake prodnike in še celo pasovito ilovico nad njimi, ki je morda ekvivalent tisti v Pivški kotlini. Ti sedimenti ležijo na površju na starejšem flišnem reliefu, v podzemlju pa na skalnem dnu rovov.

O IZVORU PRODA BELEGA ROŽENCA

Fluvialna naplavina s prodom belega roženca ni ohranjena samo v profilu pri Prestranku (2. sediment), ampak po vsej osrednji in južni Pivški kotlini ter tudi ob vzhodnem robu Pivške kotline med Prestrankom in Postojno. Leži na flišnem in apnenčevem reliefu ter nad ostanki starejših kvartarnih sedimentov kot so prod pisanega roženca in pasovita ilovica (glej profil na sl. 39).

V sedimentu so rdeča prst in kosi roženca kot rezidualni ostanki kemičnega preperevanja apnenca z rožencem ter limonitne sestavine in kremenov pesek, ki so bile primešane k sedimentu potem, ko je bil ta že prestavljen iz više ležečih prvotnih nahajališč na zakraselo površje v drugotna nahajališča, v Pivško kotlino in v obrobne jame.

O fluvialnem transportu zanesljivo pričajo zaobljeni kosi belega roženca, ki so makroskopsko zelo podobni rožencu v naplavinah Postojnske in Planinske jame. Ker je tudi sicer petrografska sestava teh površinskih in jamskih naplavin zelo podobna, je možno trditi, da gre za istodobno naplavino. Po današnjih nahajališčih sodeč, ta akumulacija v Pivški kotlini ni presegala višine 540 m.

V želji, da bi ugotovili primarno nahajališče belega roženca, smo pregledali paleocenski in zgornjekredni apnenec med Prestrankom, Slavino in Pivko. V Pivki, v vodovodnem jarku med železniško postajo in poslopjem podjetja Javor, smo pod flišem odkrili skladovit apnenec z nepravilnimi lečami roženca, na prvi pogled zelo podobnega onemu v naplavinah. Mikroskopski pregled zbruskov tega primarnega roženca je opravila V. Osterčeva in ugotovila, da imamo opraviti s silificiranim apnencem, bogatim s fosili. Fosili so v drobnozrnati kalcitni osnovi. Silificirani so večinoma notranji deli fosilov, kjer nastopa brezbarvni prozorni kalcedon, tudi temno obarvani opal (tab. 18 A—C). Ponekod je v jedru fosila še kalcit, v ovoju pa že kalcedon. Kalcitna osnova med fosili je silificirana le na redkih mestih.

K. Drobne in J. Pavšič sta v zbruskih ugotovila sledeče, dobro ohranjene fosile: *Globorotalia velscoensis*, *Chiloguembelina* sp., *Discocyclina* sp., *Operculina* sp. in *Nummulites* sp., ki kažejo na srednji do zgornji paleocen.

Če primerjamo zbruske kamnin, ki jih imenujemo kot beli roženec iz primarnega nahajališča (tab. 18 A—C), profila 15 v Postojnski jami (tab. 19 A—C) ter Rudolfovega in Katernovega rova Planinske jame (tab. 20 A—C) povsod vidimo zelo podobne, če ne celo enake oblike fosilnih ostankov. Lahko torej sklepamo, da so prodniki v jamskem sedimentu Postojnske in Planinske jame iz primarnega roženca v paleocenskem apnencu na obrobju Pivške kotline.

STRATIGRAFSKO ZAPOREDJE SEDIMENTOV IN RAZVOJNE STOPNJE POSTOJNSKEGA JAMKEGA SISTEMA

SKUPNE IN RAZLIČNE NAPLAVINE

Analize sedimentov iz Planinske jame in Postojnskih jam kažejo na alohtone naplavine, ki so po vsem sistemu stratigrafsko in petrografske zelo podobne, a tudi naplavine, ki so v obeh delih sistema različne.

Podobne so:

- naplavina s prodrom pisanega roženca,
- naplavina s prodrom belega roženca kot vodilnima sestavinama in
- mlajša pasovita naplavina.

Med različne pa štejemo petrografsko pestro naplavino v Podzemeljski Pivki ter apnenčev prod v Planinski jami oziroma apnenčev grušč v Postojnskih jamah ter poplavno ilovico.

Naplavina s prodniki pisanega roženca je značilna za Pivški rokav Planinske jame, kjer pokriva skalno dno tudi pol metra na debelo. Te naplavine nismo našli v Rakovem rokavu, ker je prodonosna predhodnica Pivke iztekala na Planinsko polje pri Planini, po Rakovem rokavu pa je tedaj tekkel Rak, ki ni bil prodonosen. V dveh primerih v Pivškem rokavu prehaja prod navzgor v pesek in pasovito ilovico, kar kaže na pojenjajoči pretok in strmec ponornice, na postopni prehod v izrazito akumulacijsko obdobje, ki je zajelo vso Planinsko jamo z Rakovim rokavom vred.

Na postojnski strani so ohranjene oblice, prodniki in pesek pisanega roženca na skalni podlagi v Otoški jami. Poznamo le to nahajališče, ker so druga verjetno skrita pod mlajšimi zasipi. Prod v tem edinem nahajališču ni zasigan, navzgor ga pokriva alohtoni pesek z belim rožencem kot glavno sestavino. Tu torej navzgor ni prehoda v starejšo pasovito ilovico tako kot v Planinski jami. Ker je ta pasovita ilovica zelo razširjena v Pivški kotlini in v Planinski jami, je možno sklepati, da je bila odložena v skupnem akumulacijskem obdobju tudi v Postojnskih jamah, vendar kasneje od tod erodirana.

Petrografsko se prod pisanega roženca ujema v Otoški jami Postojnskih jam in v Planinski jami (glej diagram na sl. 36), po zrnavosti pa se razlikuje. Na ponorni postojnski strani je največ med 10—60 mm, na izvirni planinski strani pa največ med 2—30 mm velikih prodnikov. Prodniki so vsepovsod enako zaobljeni, saj so že taki bili naneseni v podzemlje. Zaradi velike trdote tudi ni pričakovati, da bi se pri okoli 5 km dolgem transportu kaj pridalo na novo zaoblili. Tudi zaradi lege na skalnem dnu rovov in pod vsemi drugimi jamskimi sedimenti sodimo, da je obravnavana naplavina istodobna in najstarejša v Postojnskem jamskem sistemu, ki smo jo lahko ugotovili.

Naplavina s prodniki belega roženca je tudi skupna in istodobna v Postojnskem jamskem sistemu, kar dokazuje njena skladna petrografska sestava, zrnavost in paleontološki dokazi o skupnem izvoru roženca.

Nahajališča na ponorni in izvirni strani podzemlja so oddaljena nekako 5 km, transportna razdalja pa je bila vsaj tretjino večja. Iz diagrama (sl. 36) je razvidno, da je v obravnavani naplavini razmerje med prodniki belega roženca in flišnimi prodniki blizu ponorov ugodnejše za flišne sestavine, čimbolj pa se od ponorov oddaljujemo, bolj se razmerje spreminja v prid belega roženca, ki pred izvirom v Planinski jami že popolnoma prevladuje. Količina limonitnih sestavin je ostala pri tem več ali manj stalna. Transport po podzemlju se odraža v zrnavosti, saj so bliže ponoru kosi roženca v debelejši, pred izvirom v Planinski jami pa v drobnejši frakciji. Zaobljenost kosov je večja pri izviru kot pri ponoru. Ta naplavina je pri ponoru debela 6 m, v notranjosti Postojnske jame

pa le še 3 m. V Planinski jami so ohranjeni le še njeni ostanki nad starejšo pasovito ilovico in ob skalnih špranjah v višinah med 470—480 m. Ponornica je zasipala ozke ponorne rove, v tedaj zapolnjeno (s starejšo pasovito ilovico) Planinsko jamo pa je prod nanesa le občasno; v glavnem je erodirala ilovico in oblikovala nove skalne rove (v Tihi jami, Rudolfovem rovu in Mrtvaškem rovu in druge pod stropom Pivškega rokava).

Mlajše pasovite naplavine so na postojnski strani ugotovljene v nasipih ob stenah in po dnu rogov ter nad starejšimi naplavinami pri Koncertni dvorani in v Otoški jami. V Planinski jami ležijo na apnenčevemrodu. Značilna pasovitost se v Postojnskih jamah kaže v menjavanju prodnih, peščenih in ilovnatih plasti, v Planinski jami pa v menjavanju peščenih in ilovnatih plasti. Vrodu in pesku na postojnski strani je okoli 95 % flišnih sestavin in le 5 % roženca in limonita, vse presedimentirane iz površinskih naplavin. V Planinski jami nastopajo v pesku podobne sestavine. Povsod je obravnavana naplavina pokrita s prhko rdečkasto ilovico, gruščem in sigo.

Poplavno ilovico, ki nastopa med mlajšo in najmlajšo sigo po vsem Postojnskem jamskem sistemu, lahko tudi štejemo k istodobni skupni naplavini. V Postojnskih jamah nastopa kot rumenorjava do rjava ilovica z nekaj kremenovega peska, v Planinski jami pa kot temnorjava ilovica brez peska.

V Podzemeljski Pivki od ponora do Perkovega rova in Krožnega rova v Črni jami smo ugotovili alohtono ilovico, prod, pesek in grušč zelo pester petrografske sestave. Naplavina je pod sigo in na skalnem dnu mlajšega vodnega rova, 10—15 m pod starejšimi rovi in njihovimi naplavinami. Zato jo imamo za eno najmlajših naplavin v Postojnskih jamah, ki v Planinski jami nima ekvivalenta.

Med paravtohtone sedimente štejemo apnenčev prod med starejšo in mlajšo pasovito ilovico v Planinski jami. V Postojnskih jamah pa sodi v to skupino apnenčev grušč v starejših suhih rovih, ki je v glavnem avtohton.

Alohtoni in paravtohtoni sedimenti nastopajo med različno starimi sigami. V Postojnskem jamskem sistemu je mogoče ugotoviti:

- najmlajšo sigo,
- mlajšo sigo pod poplavno ilovico in nad mlajšo pasovito ilovico, peskom in prodom,
- starejšo sigo, ki je v Planinski jami na naplavini z belim rožencem in pod apnenčevim prodom, v Postojnskih jamah pa je slabo razgaljena; ugotovili smo jo le v sedimentih pri Koncertni dvorani (profil 21) in v Otoški jami (profil 11).

ZAPOREDJE IN STAROST RAZVOJNIH STOPENJ

Kot vidimo, nastopa v podzemlju med Pivško kotlino in Planinskim poljem več istodobnih, petrografsko enakih sedimentov, ki se razlikujejo po zrnivosti, debelini in ohranjenosti ter po legi v podzemlju. Petrografska sestava je bila zato vodilni kriterij pri korelaciji jamskih sedimentov, s pomočjo ostalih podatkov pa je mogoče sklepati kako, kje in ob kakšnih hidroloških ter morfoloških razmerah so bili sedimenti transportirani, erodirani in akumulirani. Primerjava teh podatkov pokaže, da so se v preiskanem podzemlju odvijali enkrat skupni, drugič pa različni speleogenetski procesi, ki jih je na podlagi sedimentov in njihovega

stratigrafskega zaporedja možno med seboj korelirati in nato sklepati o razvojnih stopnjah podzemlja.

Že pri podrobnejšem opisu posameznih rogov in jam smo ugotovili razvojne stopnje, njih zaporedje in relativno starost na podlagi:

- lege in položaja sedimentov v podzemlju,
- sestave alohtonih sedimentov,
- sestave paravtohtonih in avtohtonih sedimentov,
- stratigrafskega zaporedja sedimentov,
- hidroloških in morfoloških razmer pri akumulaciji in eroziji sedimentov.

Te kriterije uporabljamo tudi pri ugotavljanju skupnih razvojnih stopenj med Pivško kotlino in Planinskim poljem.

Tabela na strani 112 prikazuje v štirih kolonah stratigrafsko zaporedje sedimentov v vodnih in suhih rovih Postojnskega jamskega sistema. Grafični znaki ob kolonah pomenijo ustrezno alohtono in avtohtono sedimentacijo ali erozijo. Skupaj je bilo mogoče razlikovati 10 pglavitnih razvojnih stopenj v obdobju med prvo alohtono sedimentacijo, ki smo jo mogli ugotoviti, do danes. V peti koloni so stopnje kronološko uvrščene na podlagi absolutno datirane sige in na podlagi relativne starosti sedimentov. Razvojne stopnje so prikazane v tlorisih in vzdolžnih profilih na prilogi 1. Debelejše prekinjene črte v tlorisu pomenijo vsakokratni potek vodnih rogov, izvlečene pa vsakokratno obliko ponornega in izvirnega rova ter udornic. Tanjše črte kažejo danes znani razpored rogov. V narisih so prikazane domnevne oblike rogov in njihov razpored po višini. V rovih so zarisani sedimenti, s tanko prekinjeno črto pa domnevna gladina ponornice.

1. razvojna stopnja je vezana na poniranje ponikalnic ob ponornem robu med Postojno in Velikim Otokom na višini okoli 530 m ter na izvire ob Planinskem polju na višini okoli 460 m. V teh višinah je v podzemlju ohranjen tedaj transportirani prod pisanega roženca. Večino tega materiala je ponornica prenesla iz Pivške kotline skozi Otoško jamo - Zgornji Tartar v Pivški rokav Planinske jame. Pri tem je intenzivno dolbla skalno dno in stene. O oblikah in razprostranjenosti tedanjih rogov je možno reči, da so bili manj razsežni in bolj premo usmerjeni proti vzhodu kot današnji.





































2. razvojno stopnjo, izrazito akumulacijsko obdobje, nakazuje starejša pasovita ilovica, ki je v Planinski jami ohranjena skoraj do stropa njenih rogov, v Postojnskih jamah pa je bila verjetno kasneje erodirana, kajti v Pivški kotlini je še ohranjena preko višine 540 m.




3. razvojno stopnjo odraža hladnodobna naplavina s prodom belega roženca. Predhodnica Pivke je z njo zasula ponorne rove postojnskega kraka na višini med 528—536 m, zgornje rove Planinske jame nad višino 470 m pa le delno. Tu je tedaj bolj dolbla nove skalne rove in erodirala starejše sedimente. Rakov rokav obravnavane naplavine nima, zato je domnevati, da se je tedaj tam pretakal Rak in erodiral starejšo pasovito ilovico na poti proti izviru pri Planini.

4. razvojno stopnjo kaže starejša siga na neravni površini sedimentov in v skalnih rovih. Ta siga je bolj očitna in razgaljena v Planinski jami kot v Postojnskih jamah, kjer jo pokrivajo mlajše naplavine.

5. razvojna stopnja se odlikuje sprva z erozijo starejših naplavin in poglabljanjem ponornih rogov. Ponornica je vsaj v območju Planinske jame občasno tekla zelo hitro okoli 3 m/s, da je v oba rokava nanosila kršje in prod udor-

Tabela 3. Razvojne stopnje Postojnskega jamskega sistema

Stopnje	Postojnske jame			Planinska jama			Čas		
	Podzemeljska Pivka		Suhi rovi		Vodni rovi	Suhi rovi			
10 9	poglabljanje dna v skalo in naplavine poplavna ilovica črna Mn prevleka		šiga, 8000 b. p. podiranje kapnikov posedanje tal izpiranje naplavin		poglabljanje dna v skalo do 450 m na izviru, skalne stopnje črna Mn prevleka		šiga, podiranje kapnikov posedanje tal izpiranje naplavin		holocen
8	šiga		šiga, 12 000 b. p.		šiga		šiga		postglacial
7	alohtone naplavine pretok do 3 m/s		podorne skale poplavna ilovica in pesek		nastanek sifonov pretok med naplavinami		poplavna ilovica		zgornji würm
6	ponori na 510 m		šiga, 40 000 b. p.		šiga		šiga		srednji würm
5	ponori na 515 m		podorne skale mlajša pas. ilovica flišni pesek, prod ponori na 525 m		mlajša pas. ilovica apnenčev prod oblikovanje Plan. koliševke		mlajša pasovita ilovica		spodnji würm
			4 šiga, rdeča ilovica		šiga, 80 000 b. p.		šiga		riss-würm
			3 grušč, ledeni klini prod belega roženca ponori na 530 m		?		prod belega roženca novi rovi v skali		riss
			2 ?		starejša pasovita ilovica		starejša pasovita ilovica		srednji kvartar
			1 oblice in prod pisanega roženca, ponori na 530 m		prod pisanega roženca, izviri 460 m ?				

Legenda

erozija

alohtona akumulacija

avtohtona akumulacija


 Legenda
 erozija

 alohtona akumulacija

 avtohtona akumulacija

nice Planinske koliševke, ki je tedaj nastajala. Udornice kot Jeršanove doline, Vodni dol in nekatere druge so tedaj nastajale tudi nad jamami na postojnski strani. Ker pa ponornica ni uspela sproti odnašati nastajajočega grušča, je ta delno rove zadelal in vplival na preusmeritev vodotoka iz severovzhodne v severno smer proti Črni in Pivki jami. Proti koncu te stopnje je ponornica zasipala rove z mlajšimi pasovitimi naplavinami.

6. razvojna stopnja se odlikuje z avtohtono sedimentacijo (mlajšo sigo in podornimi skalami) v suhih rovih in z oblikovanjem niže ležečih ponornih rogov, kamor se je stekala k ponornici tudi kapnica.

7. razvojna stopnja se odraža v pestri sedimentaciji v Podzemeljski Pivki, kjer je ponornica ob spremenljivem pretoku med 0–3 m/s prenašala in odlagala alohtoni prod, pesek in ilovico ter apnenčev grušč iz razpadajočega pobočja nad ponornim robom in podornih dvoran nad vodnim kanalom ter iz že sedimentiranega grušča v Otoški jami. Vršaj teh naplavin se je končal pred Pivko jamo, od koder je nato ponornica sifonsko odtekala v Pivški rokav Planinske jame in tam odstranjevala ne samo starejši zasip, ampak tudi živo skalo. Iz vodnih rogov se je večkrat dvignila v suhe rove in tam odložila poplavno ilovico nad sigo. Starejše naplavine je erodiral tudi Rak.

8. razvojna stopnja se kaže v umiku ponornice iz podzemlja in rasti sige v vseh rovih. Siga je v suhih rovih nastajala tudi v naslednji

9. razvojni stopnji, ko se je ponornica vrnila v Podzemeljsko Pivko in Planinsko jamo. Povsod je ponovno začela oblikovati prostore in erodirati sedimente, občasno je zalila kanale preko polovice, da je nastala značilna Mn prevleka in tudi poplavna ilovica. Skalno dno je ponornica poglobljala najbolj pred iztekom na Planinsko polje.

10. razvojna stopnja se kaže v današnjih razmerah v eroziji vodnih rogov, v rasti sige in podorih v suhih rovih.

Starost ugotovljenih razvojnih stopenj Postojnskega jamskega sistema smo tvegali postaviti v časovni okvir srednjega in mlajšega kvartarja na podlagi podatkov o absolutno datiranih sigah in podatkov o relativni starosti ugotovljenih sedimentov.

Iz Planinske jame imamo 13 analiz (^{14}C) različne sige. Trije primerki so holocenski, trije srednjewürmski, medtem ko je 7 vzorcev pokazalo na večjo starost od 45 000 let. Ker je to že zgornja meja določljivosti radioogljikove metode, smo srednjewürmsko in riškowürmsko starost dveh primerkov sige lahko spoznali z uranij-torijevo metodo absolutne datacije, ki ima zgornjo mejo določljivosti okoli 300 000 let.

Podatke o absolutni starosti sig iz Postojnske jame so objavili H. F r a n k e in M. G e y h (1971) ter R. G o s p o d a r i č (1972), nekaj novejših analiz pa še ni objavljenih. Med skupno 20 analiziranimi vzorci iz Čarobnega vrta, Pisanega rova in Stare jame je 11 vzorcev pokazalo starost med 2000–10 000 let b. p., 5 vzorcev na starost okoli 13 000 let, štirje vzorci pa na starost okoli 40 000 let b. p. Slednja siga, pri našem stratigrafskem zaporedju imenovana kot mlajša siga, je nastala v interglacialu (srednjem würmu), ki je na H. G r o s s o v i (1964) paleotemperaturni krivulji označen kot götweigški. Od najmlajše sige se razlikuje po rdečkasti barvi in po motni, korodirani in erodirani površini. Analiza ^{14}C je tudi pokazala, da je ta siga rasla zelo počasi (0,75 mm/100 let) v primerjavi z najmlajšimi sigami, ki kažejo na 10-krat hitrejšo rast. Po opisu in

profilih iz Postojnske jame sodeč, je na tako sigo zadeval S. Brodar (1966) pod poplavno ilovico in peskom. Tudi njemu se je zdela njena interstadialna starost najbolj verjetna.

Interstadialna siga, ugotovljena s paleolitskimi podatki S. Brodarja (1966) in analizami ^{14}C je zelo pomemben kronološki reper, saj razmejuje mlajšo in starejšo alohtono sedimentacijo.

Mlajša sedimentacija se kaže v zgornjewürmski poplavni ilovici ter v zasipu Podzemeljske Pivke, starejša pa v zasipih Postojnske in Planinske jame, kjer so mlajše pasovite naplavine, vršaj apnenčevega proda ter naplavine s prodom belega roženca, starejšo pasovito ilovico in prodom belega roženca. Njihovo stratigrafsko zaporedje smo večkrat preverili, pri kronološki opredelitvi pa uporabili podatke o tem, če so bili odloženi v hladni ali topli klimi.

Mlajše pasovite naplavine pod interstadialno sigo sodijo verjetno v stadialno obdobje. V Planinski jami je njih material med vršajem apnenčevega proda, ki smo zanj ugotovili nastajanje ob sočasnem mehanskem razpadanju površja. Ker vršaj leži na starejši sigi, je močno verjetno, da je nastal v hladni klimi spodnjega würma, ko je kamnina na golem površju intenzivno mehansko razpadala v grušč. Ta pa je skozi nastajajočo Planinsko koliševko padal k pretakajoči se ponornici.

Sigo pod vršajem je imeti za interglacialno. Rdeča po barvi, porozna po teksturi in ohranjena v erozijskih ostankih na stenah in skalnem dnu, se močno razlikuje od zgoraj omenjene interstadialne sige. V Rudolfovem rovu Planinske jame zleplja tudi starejši prod belega roženca.

Naplavina s prodom belega roženca je bila odložena v podzemlju v hladnem, najbolj verjetno riškem glacialu. V njej smo namreč ugotovili znake trajno zmrznjenih tal: ledna klina v plasteh profila 15 ob ponornem robu pri Postojnski jami in žepasta tla, tako imenovani »Taschenboden« (P. Woldstedt 1961) v petrografsko enakih sedimentih na površju. Kateremu riškemu stadialu ta naplavina ustreza, ni bilo mogoče ugotoviti. Možno je, da pripada celotnemu glacialu, saj je sestavljena iz 8 m debelega zasipa, ledna klina nastopata v njegovem spodnjem in zgornjem delu. V profilu 11 v Otoški jami (sl. 30) je v naplavini belega roženca ohranjen avtohtoni grušč, ki kaže na razpadanje stropa tedaj vodnega rova v hladni klimi.

Obe nahajališči obravnavane naplavine kažeta, da je v riškem glacialu računati z različnimi sedimenti, sedimentacijo in speleogenetskimi procesi v jamah na ponorni postojnski strani, pa čeprav so v podobnih nadmorskih višinah. To potrjujejo tudi do sedaj znani podatki o riških jamskih sedimentih ob Pivški kotlini. V jami Risovec, v neposredni bližini Otoške jame je S. Brodar (1970, 282) ugotovil na skalni podlagi zelo droben plastovit fluvialni kremenov pesek, v Betalovem spodmolu pa (S. Brodar 1948, 101) avtohtoni grušč s svetlosivo rdečkasto ilovico. V nekoliko bolj oddaljeni jami Parski golobini pri Pivki opisuje sedimente riške starosti F. Osolca (1961, 468). V plasteh, ki so preoblikovane s procesi krioturbacije, nastopajo rdeča ilovica in grušč, dosti železo-manganskih konkrecij ter flišni prodniki in pesek. Vsepopšod torej mešanica alohtonih in avtohtonih sedimentov, ki spadajo že v S. Brodarjevo 4. (akumulacijsko) razvojno fazo. Žal, ni nikjer v teh sedimentih posebej omenjen prod belega roženca, tako značilen za naplavino v Postojnskem jamskem sistemu, ki jo imamo za riško.

Najstarejši ugotovljeni in najdeni naplavini sta starejša pasovita ilovica in prod pisanega roženca na skalnem dnu nekaterih rogov in pod vsemi drugimi naplavinami. Po starosti ju uvrščamo v srednji pleistocen, ne da bi natančno vedeli, ali pomeni pasovita ilovica interglacialno akumulacijo, prod pa prejšnji starejši glacial (mindel) ali pa sodita oba v skupno interglacialno (mindel-riško) obdobje. Ti naplavini bi kronološko in po razširjenosti v Pivški kotlini in v podzemlju ustrezali flišnemu zasipu S. B r o d a r j e v e 2. (akumulacijske) razvojne faze. Verjetno ima akumulacijski značaj le pasovita ilovica, medtem ko oblike in prod pisanega roženca odražajo erozijsko obdobje. Ali so tako sestavni del S. B r o d a r j e v e 1. (erozijske) razvojne faze, je težko reči. To fazo, ko bi naj bili razviti rovi v domala današnjem obsegu, postavlja S. B r o d a r najkasneje v spodnji pleistocen, naši podatki pa kažejo, da obravnavani bazalni prod ne bi mogel biti tako star. Tudi glede obsega izvotljenih rogov menimo, da so najstarejši lahko le ponorni rovi nad višino 530 m in izvorni rovi nad višino 460 m, nižje ležeči kanali pa mlajši.

Naše razvojne stopnje je koristno primerjati tudi z razvojnimi fazami, ki jih domneva I. G a m s (1965). Čeprav jih ni kronološko utemeljil, niti povezal s sedimenti, je vendar zanimivo, da se njegova 1. faza izvotlitve ujema po višini z našo domnevo, da so ponorni rovi vsi nad višino 530 m starejši, nižje ležeči, tja pod 520 m pa mlajši. Razlika se pojavlja v pogledu razvoja dvoetažnosti Planinske jame. Naši podatki namreč govore, da izvorni rovi na 460 m ustrezajo ponornim na 530 m, zgornja etaža Planinske jame na okoli 480 m pa je delno mlajša, nastala pri pretoku ponornice vrh zapolnjenih rogov, delno pa najstarejša, ki ji na postojnski strani ustrezajo razčlenjeni ozki kanali v višinah nad 540 m, ki danes niso v sestavi pglavitnega podzemeljskega sistema. Sem bi šteli Hauptmanov kevder (2171), Cigansko luknjo (2172), Jamo 2 nad Lekinko (1616), zgornji del Betalovega spodmola (473), Kotovo jamo (1608), zgornji rov Magdalene jame (820) in Ledene jame pod Magdaleno goro (781) in druge.

O VZROKIH ZASIPAVANJA PODZEMLJA IN POVRŠJA

Podatki o izvoru sedimentov kažejo, da so nekatere pleistocenske naplavine v jamah Postojnskega krasa in v Pivški kotlini vsaj zelo podobne, če že ne enake (prod pisanega roženca, pasovita ilovica, prod belega roženca itd.). Ker se ujema tudi stratigrafsko razmerje lahko trdimo, da so bile povsod istočasno odložene. Njihove sedimentacije torej niso odredili lokalne morfološke ovire v podzemlju ali morda z gruščem zadelani ponorni rovi kot je menil A. M e l i k (1955), pač pa regionalni dejavniki. Proti lokalnim vplivom na sedimentacijo govori primer dveh udornic Stare Apnenice in Planinske koliševke. Razvijali sta se obenem ob stalnem toku ponornice, ki je odnašala podorni material in omogočala sprotno oblikovanje udornice. Podobno so nastajale druge udornice Postojnskega krasa, med njimi Jeršanovi dolini nad nekoč vodnima Pisanim rovom in Čarobnim vrtom. Ponornica se je iz teh rogov umaknila, ker je sama zasipala svojo strugo. Ker se je prestavila tudi v nižje kanale, ni mogla kasneje več na istem mestu izoblikovati novih rogov. Ko se je rov osušil, je podorni grušč z navpičnih sten udornice zasul vertikalno zvezo med podzemljem in površjem. Ta je bila v pri-

meru Črne jame in Pivke jame pozneje ob mlajši eroziji ponovno vzpostavljena, drugod pa so se udornice na površju in rovi v podzemlju oblikovali po svoje.

Tudi na raznovrstno sedimentacijo v Planinski jami niso vplivali z gruščem zasuti jamski izhodi, kajti različno zrnate naplavine so razširjene po vsem podzemlju tja do ponornih rogov in še pred njimi v Pivški kotlini, a tudi na Cerkniskem polju jih poznamo (R. Gospodarič 1970). Na Planinskem polju je nasprotno naplavin zelo malo. Z ročnimi vrtnami so dosegli povprečno 3,5 m globoko skalno dno in na njem gline in peščene gline (M. Breznik 1961, 130). V dveh globljih ročnih vrtnah (R 15 - 10,2 m, R 6 - 20,7 m) N. Čadež (1954) omenja droben prod, peščeno ilovico in ilovico, ki bi lahko bila ekvivalentna jamskim naplavinam. Seveda bi ostanke take naplavine morali dokazati in najti na skalnih terasah in v jamah na obrobju Planinskega polja do višine okoli 470 m, da bi lahko sklepali na zasuto in nato erodirano Planinsko polje.

Regionalni vzroki, ki so lahko vplivali na zasipavanje in erozijo jam so lahko tektonski, prav gotovo pa klimatski.

Pri tektonskih vzrokih je misliti na premikanje strukturnih enot v mlajšem pleistocenu v območju porečja Ljubljane na podlagi podatkov, ki jih posreduje A. Šercelj (1965; 1966) o grezanju skalnega dna na Ljubljanskem barju v würmu. S paleobotaničnimi analizami je posredno ugotovil, da se je skalno dno v würmu relativno pogreznilo najmanj za 80 m, v rissu in srednjem pleistocenu pa je bilo pogrezanje znatno manjše. Ker so se na Ljubljansko barje kot lokalno erozijsko bazo stekale podzemeljske vode Planinskega polja, Postojnskega krasa in Pivške kotline je možno domnevati, da je grezanje vplivalo na večjo reliefno energijo v zaledju, ki se kaže v:

- eroziji sedimentov v Planinski jami,
- eroziji skalnega dna in sifonskih pretokih Pivke in Raka,
- eroziji dolin v flišnem in akumulacijskem reliefu Pivške kotline in
- na splošno v manj izdatnem zasipavanju z alohtonimi sedimenti v würmu

kot prej v ostalem kvartarju.

Če so se zaradi različnega tektonskega premikanja Postojnskega krasa bolj poglobili ponorni kot izvorni rovi podzemlja v würmu, kot je razvidno iz ugotovljenih razvojnih stopenj, je težko dokazati. Bolj verjetna in oprijemljiva je razlaga, da so se ponorni rovi poglobili, ker je bil transportirani klastični flišni material spočetka bolj grobozrnat in je tu bolj pomagal dolbsti rove, kot pa po toku navzdol, kjer se je zaradi trenja drobil in manjšal. Planinsko jamo in polje so dosegli le še trdnejši in manjši prodniki, pesek in ilovica. Podobno razpadanje se je uveljavljalo tudi pri akumulacijah, saj so v ponornih jamah po zrnivosti mnogo bolj pestre naplavine kot v izvirnih rovih.

Na oblikovanje podzemlja so brez dvoma najbolj vplivale klimatske razmere. D. Radinja (1972) meni, da je na periglacialnem območju hladna pleistocenska klima na splošno bolj pospeševala mehansko razpadanje silikatnih (flišnih) in karbonatnih kamnin kot pa topla pliocenska klima. V manjšem obsegu je različno razpadanje domnevati tudi v samem pleistocenu, saj so se čisto menjavala hladnejša in toplejša obdobja, ki se odražajo v različnih jamskih sedimentih.

Pleistocenske klimatske razmere so bile seveda dokaj enake za vse porečje Ljubljane. Zato bi npr. na Cerkniskem polju in tamkajšnjih obrobjih jamah

lahko pričakovali podobno stratigrafsko zaporedje jamskih in površinskih sedimentov kot v Postojnskem krasu in Pivški kotlini. Drugačna geološka zgradba bi se odražala v drugačnih alohtonih naplavinah, medtem ko bi se avtohtoni sedimenti (limonit, siga, grušč) kot klimatski pokazatelji morali ujemati. Dejansko poznamo na Cerknškem polju raznovrstne naplavine z močno limonitizirano rjavo pasovito ilovico na skalnem dnu, sivo ilovico s peskom in ostanki starowürmske vegetacije (tu najdeni smrekov storž je pokazal na absolutno starost okoli 50 000 let b. p., pismeno poročilo G. M o o k a iz Groningena z dne 21. 10. 1971, analiza št. Gro 6317). V ponornem Cerknškem jamskem sistemu poznamo vsaj 2 generaciji sige med alohtonimi ilovnatimi naplavinami in več razvojnih stopenj (R. G o s p o d a r i č 1970), ki se jih da primerjati s stopnjami Postojnskega jamskega sistema. V to primerjavo pa bo v bodoče možno vključiti tudi razčlenjene jamske sedimente iz Križne jame (R. G o s p o d a r i č 1974), ki so v osnovnih potezah razporejeni podobno kot v Postojnskem krasu.

Še bolj zanimiva pa bo korelacija z jamami onkraj jadransko-črnomorske razvodnice v Pivški kotlini, kjer je v različno visoko ležečih rovih Predjamskega sistema (F. H a b e 1970) in v Županovem spodmolu (F. O s o l e 1969) zaslediti številne, toda bolj enolične alohtone in avtohtone sedimente. Primerjavo avtohtonih sedimentov v jamah Pivške kotline po njih relativni in absolutni starosti ter paleolitskih kulturah je tod že opravil F. O s o l e (1968).

POGLAVITNI REZULTATI IN SKLEPI

Pri raziskovanju in preučevanju jam in jamskih sedimentov med Pivško kotlino in Planinskim poljem smo ugotovili dosti podatkov, ki na novo osvetljujejo, dopolnjujejo in spreminjajo dosedanje znanje o razvoju kraškega podzemlja v kvartarju. Med raziskavo in obdelavo podatkov so se pojavili tudi novi problemi, ki smo jih mogli le delno rešiti.

1. Med pomembnejše ugotovitve štejemo najdbo raznovrstnih sedimentov v Planinski jami. Ko smo preučili njihovo petrografske sestavo, zrnavost, stratigrafsko zaporedje in druge lastnosti, smo spoznali način zasipavanja, izdatnost fosilnega in recentnega preoblikovanja ter razvojne stopnje jame.

Dragocena je najdba podzemeljskega vršaja apnenčevega grušča in proda v Pivškem in Rakovem rokavu. Vršaj ima koren v Planinski koliševki in kaže, da je v spodnjem würmu tekla ponornica pod to nastajajočo udornico, nato pa skozi danes suhi in zapolnjeni Paradiž k izviroma na Planinsko polje pri Planini in Malnih.

V dosednji domači in tuji literaturi ni opisanih primerov, ki bi tako jasno kazali na genetsko zvezo med nastajanjem udornice in sedimentacijo njenega grušča v podzemeljski prostor po toku ponornice navzdol. To spoznanje lahko koristi pri odkrivanju še neznanih rogov v Postojnskem krasu in v krasu porečja Ljubljanske, kjer je obilo udornic. Več možnosti za odkritje dostopnih rogov je na tisti strani udornic, od koder je pritekala nekdanja ponornica. V zaledju udornice Planinske koliševke bi verjetno našli dostopne rove, če seveda niso tudi zasuti s podzemeljskim vršajem več kot 2 km oddaljenih udornic Vodnega dola in Jeršanovih dolin.

Podzemeljski vršaj dokazuje, da je predhodnica Pivke tekla na Planinsko polje tudi skozi Rakov rokav. Pod vršajem so ohranjene še starejše naplavine, prod belega roženca in starejša pasovita ilovica, ki imata poreklo v Pivški kotlini. Zato je možno sklepati, da so vode iz Pivške kotline sodelovale pri preoblikovanju Rakovega rokava ne samo v zgornjem, ampak tudi že v srednjem kvartarju. V rokavu nismo našli klastičnih sedimentov iz kraškega in bolj oddaljenega nekraškega zbirnega zaledja ponornice Raka, ker so se odložili že v Cerkniško polje in njegove obrobne jame. Vode iz cerkniške strani v Rakovem rokavu niso več nosile proda. Zato so rokav tudi manj oblikovale kot vode iz Pivške kotline, ki so skozi Planinsko jamo skoraj vedno transportirale različne klastične naplavine. Rakov rokav je imel tako že v zgornjem kvartarju dvojno hidrološko funkcijo, enkrat je v njem tekla predhodnica Pivke, drugič pa Raka. Ta funkcija je delno ohranjena še v današnjih hidroloških razmerah, saj se vode Raka in Javorniškega toka v njem združujejo in pretakajo tako kot prej proti Planini in Malnom na Planinsko polje.

2. V preiskanem podzemlju Postojnskega jamskega sistema smo ugotovili več petrografsko, stratigrafsko in po poreklu različnih naplavin:

- poplavne ilovice,
- plasti grušča, proda, peska in ilovice v Podzemeljski Pivki.
- mlajše pasovite naplavine s flišnim prodom in peskom,
- apnenčev prod v Planinski jami,
- prod belega roženca s flišnim prodom,
- starejšo pasovito ilovico in
- prod pisanega roženca.

Naplavine so sestavljene iz paleogenskih kamnin ter iz istodobnih in preloženih kvartarnih sedimentov Pivške kotline, a tudi iz apnenca, ki v njem poteka jamski sistem. O petrografsko in stratigrafsko enotnem flišnem zasipu v Pivški kotlini in Postojnskem jamskem sistemu, kot si ga zamišlja S. Brodar (1952; 1966), ne moremo več govoriti. Alohtone naplavine v Postojnskem krasu in okolici lahko imenujemo po njih značilnih sestavinah in strukturi.

Med naplavinami je po poreklu, razširjenosti in starosti zanimiv prod pisanega roženca. Prodniki so večinoma iz roženca in metamorfni kamnin, ki jih v širšem območju Pivške kotline in jugozahodne Slovenije ni. Domnevamo, da so lahko sestavni del bazalnega transgresivnega konglomerata ali konglomerata v flišu. Zaobljeni in sploščeni so bili že med sedimentacijo eocenskega fliša in imajo z njim skupno poreklo v Alpah. Pri kasnejšem preperevanju fliša so bili razgaljeni in fluvialno prestavljeni v Pivško kotlino ter Postojnski jamski sistem. Ker v flišnih kamninah Pivške kotline ne poznamo podobnih prodnih plasti, je primarna ležišča iskati izven nje. Na kraških in flišnih terenih Primorske je D. Radinja (1967; 1972 a) našel dosti podobnega roženčevega proda, ne da bi ugotovil njegovo poreklo. Glede starosti pa misli, da je ta naplavina pleistocenska, morda tudi še pliocenska (1967, 82). Raziskave v Postojnskem krasu so pokazale, da leži prod pisanega roženca na flišnem in apnenčevem reliefu Pivške kotline in na skalnem dnu rogov Postojnskega jamskega sistema kot najstarejša ugotovljena fluvialna odkladnina.

Prod pisanega roženca je zanimiv tudi iz paleolitskega gledišča. Zelo razširjen in pester material je bil primeren za izdelavo artefaktov. Zato se ni čuditi,

da je ob Pivški kotlini število paleolitskih postaj najgostejše v Sloveniji. Med kartiranjem smo našli na površju poleg prodnikov dosti odlomov in artefaktom podobno oblikovane roženice, ki dajejo slutiti, da je večina proizvodov kamene kulture raztresenih po površju, manj pa ohranjenih v jamah, kjer jih danes izkopavamo.

Med zanimive naplavine štejemo tudi pasovito ilovico v Planinski jami. Njeni različno debeli pasovi svetlejše in temnejše ilovice spominjajo na varve, čeprav je seveda jasno, da z ledeniki nimajo nič skupnega. Debelino in število pasov smo v nekaterih nahajališčih izmerili in prešteli ter podatke vstavili v ustrezne diagrame po de Geerovi metodi (F. Z e u n e r 1952). Upanje, da bomo tako ugotovili skupne horizonte, cikle ali ritme sedimentacije ter nadalje lahko sklepali na hidrološke ali klimatske razmere ter hitrost takratne sedimentacije, pa se ni izpolnilo, ker sestavljenih diagramov ni bilo mogoče med seboj uspešno primerjati. Vprašanja o genezi jamske pasovite ilovice so ostala odprta.

Pasovita ilovica je zelo razširjena naplavina v jamah in v Pivški kotlini. Predstavlja dejansko tisti del flišnega zasipa, ki o njem S. B r o d a r (1952) in A. M e l i k (1955) mislita, da je zapolnjeval Pivško kotlino do višine 540 m in čez. To misel podpira tudi relativna starost pasovite ilovice. Po nahajališčih v Pivški kotlini in posebej v Planinski jami smo spoznali, da leži neposredno na bazalnemrodu pisanega roženca in je skupaj z njim verjetno še srednjekvartarna. V to obdobje pa uvršča S. B r o d a r tudi flišni zasip.

V podzemlju in na površju je razširjena riška naplavina z vodilno sestavino prodrom belega roženca. Petrografska in paleontološka analiza je pokazala, da ima prod roženca poreklo v paleocenskem apnencu Pivške kotline. Za uvrstitev naplavine v riški glacial govori stratigrafska lega nad pasovito ilovico in ugotovitev, da je bila fluvialno odložena v podzemlje in na površje v hladni dobi. To dokazujejo singenetska ledna klina v jamskih sedimentih ob nekdanjem ponornem robu blizu današnjega vhoda v Postojnsko jamo in žepasta tla (Taschenboden) v površinskem nahajališču pri Prestranku. Takih znakov trajno zmrznjenih tal, značilnih za periglacialni svet, v Pivški kotlini doslej še nismo poznali. V jamskih sedimentih Betalovega spodmola in Parske golobine pa S. B r o d a r (1960) in F. O s o l e (1961) opisujeta druge znake mrzle klime würmskih stadialov in riškega glaciala npr. mešana tla (Brodelboden), ki s sedimenti niso singenetski. Nadaljnje preučevanje vseh teh krioturbacijskih pojavov v kvartarnih sedimentih Pivške kotline lahko dopolni in uskladi dosedanje in naše kronološke sklepe o starosti jamskih in površinskih kvartarnih sedimentov.

3. Najdene in preučene naplavine so ohranjene v morfološko in hipsografsko različnih delih podzemlja. Ob različni zrnavosti in debelini so ohranile petrografske podobnosti po vsem podzemlju med ponorom in izvirom jamskih rek. S korelacijo sosednjih in bolj oddaljenih stratigrafskih zaporedij jamskih sedimentov smo uspeli razvrstiti razvojne stopnje Postojnskega jamskega sistema na 10 pglavitnih razvojnih stopenj v obdobju od srednjega kvartarja do danes.

Najvažnejša ugotovitev v podani razvojni stopnji pravi, da so se v Postojnskem jamskem sistemu uveljavljali in večkrat ponavljali erozijski in akumulacijski procesi v domala istih višinah še konec srednjega in v začetku zgornjega kvartarja. V zgornjem kvartarju pa se je odvijala avtohtona sedimentacija v suhih rovih ter alohtona sedimentacija in erozija v vodnih rovih. Govorimo

lahko o sočasnih razvojnih in razpadnih speleogenetskih procesih, ki so med seboj povezani in eden drugega ne izključujejo. Ta različen, a istočasen razvoj je delno upoštevan v S. Brodarjevi 2. in 3. razvojni fazi za čas konec srednjega kvartarja, medtem ko je v času zgornjega kvartarja mišljena v S. Brodarjevi 4. razvojni fazi le avtohtona in paravtohtona sedimentacija.

Metoda razvrščanja, primerjanja in korelacije stratigrafskih zaporedij alohtonih jamskih naplavin pri dosedanjem raziskovanju slovenskih jam še ni bila uporabljena. Tudi drugod po svetu je bilo tovrstno preučevanje podzemlja izvedeno le v redkih primerih, kajti ta način preučevanja speleogeneze je možno opravljati v primerno razsežnem in dostopnem ter z naplavinami bogatem podzemlju, ki ga na krasu ni vsepovsod na voljo. Postojnski kras in njegovo podzemlje imata vse te ugodnosti, zato bosta še dolgo ostala predmet neizčrpnega preučevanja speleogeneze. Z našim preučevanjem smo mogli pojasniti le skromen del jamske vsebine in kvartarne geologije. Z nadaljnjim raziskovanjem in zbiranjem podatkov bomo gotovo spoznali nove rezultate, ki bodo podano razvojno shemo izpopolnili in popravili.

4. V podani razvojni shemi so namreč poleg močno verjetnih tudi problematične rešitve. Med nje sodi npr. sklep, da se toplodobne razvojne stopnje izražene le v rasti sige, to je v avtohtoni akumulaciji, ker je splošno znano, da so sige bolj zanesljiv indikator tople humidne klime kot alohtoni in drugi avtohtoni sedimenti (H. Trimel 1968). V humidni klimi pa je pričakovati tudi ponikanje površinskih rek in vsaj njihovo minimalno transportno ali erozivno sposobnost. Morda so nekateri, predvsem ilovnati sedimenti v podzemlju Postojnskega krasa vendarle toplodobni. V periglacialnih področjih Slovenije tudi zunaj kraškega območja je sicer na splošno malo znanih toplodobnih fluvialnih sedimentov. Po mnenju M. Šifrerja (1972, 39) je v toplih dobah kvartarja globinsko vrezovanje dolin in skalnih rogov v krasu prevladovalo nad akumulacijo sedimentov.

Prav malo smo mogli povedati o oblikah in razporeditvi začetnih podzemeljskih rogov v danes najbolj izvotljenem in nagnjenem (med 510—540 m ob Pivški kotlini in 455—490 m ob Planinskem polju) horizontu Postojnskega krasa, ker so jih pestri speleogenetski procesi v srednjem in zgornjem kvartarju močno preoblikovali in zabrisali. Spoznali smo nekatere nove rove in stare rove s poglobljenim skalnim dnom iz zgornjega in delno srednjega kvartarja. Preuranjeno se je zdelo tolmačiti razvoj jam nad tem najbolj izvotljenim horizontom, ker zaradi skromne vsebine in razsežnosti nudijo premalo primerljivih podatkov. Menimo, da bo bodoče preučevanje z metodo korelacije jamskih sedimentov in razvojnih stopenj pripeljalo do boljših podatkov in spoznanj o tem, kako se speleogenetsko dopolnjujejo ali razlikujejo jame Postojnskega krasa, Orehovškega krasa, Slavenskega krasa, Predjamskega sistema in drugih jam v krasu ob Pivški kotlini.

5. Kronološko uvrstitev razvojnih stopenj jam med Pivško kotlino, ki smo jo tvegali postaviti, je razumeti kot eno izmed možnih rešitev. Absolutno datirane sige so pomagale uvrstiti v časovno skalo do 80 000 let nekatere razvojne stopnje, ki so doslej veljale za starejše. V podani razvojni shemi ugotovljeni procesi tudi kažejo, da so se jame preoblikovale v zgornjem kvartarju mnogo bolj intenzivno in pestro kot smo mislili doslej.

Ker absolutne datacije sige še vedno niso dovolj zanesljive, organskih ostankov pa skoraj ni ohranjenih, bo podrobno preučevanje jamskih sedimentov, njihove stratigrafije in primerjanje s površinskimi sedimenti še vedno dalo najboljše podatke o kvartarni geologiji naših jam. Pri tem preučevanju pa bo treba še bolj kot doslej upoštevati in povezovati izsledke speleološkega, paleolitskega, paleontološkega, paleobotaničnega in geomorfološkega raziskovanja na krasu.

Summary

THE QUATERNARY CAVES DEVELOPMENT BETWEEN THE PIVKA BASIN AND POLJE OF PLANINA

INTRODUCTION

In the karst region of the underground Ljubljana River (fig. 1) the Postojna Karst represents speleologically the most interesting region. The Postojna Cave System with its 23 km. accessible channels and galleries belongs to it. They are divided to ponor (sinking) channels near Postojna and spring channels near Planina which are only hydrologically connected.

In the rich literature about the Postojna Cave System from its discovering in 1818 till today the following works are to be cited: A. Schaffenrath 1829; F. v. Hohenwart 1830—32; A. Schmidl 1854; E. A. Martel 1894; F. Kraus 1894; A. Mühlhofer 1907; 1933; A. Perko 1910; L. Bertarelli and E. Boegan 1926; A. Anelli 1936; R. Battaglia 1933; A. Perco and E. Boegan 1928; A. Perco and S. Gradenigo 1942; I. Michler 1952/3; 1952/53 a; 1955; 1955/56; 1959; 1959/60; 1963/64; G. Wagner 1954; M. Pleničar 1961; I. Gams 1965; R. Gospodarič 1963; 1964; 1965; 1968; 1969; 1969 a; 1972; R. Gospodarič and P. Habič 1966; these works more or less completely present the history of discoveries, galleries descriptions and different investigation works. The geological (F. Kossmat 1905; 1916), paleontological (I. Rakovec 1954; 1973), hydrographic (F. Habe 1966) and geomorphological (A. Melik 1928; 1951; 1955; N. Krebs 1924; P. Habič 1968) and special paleolithical (S. Brodar 1951; 1952; 1966; F. Osole 1966; 1968) studies which are directly or indirectly connected by the karst and underground development between the Pivka Basin and Polje of Planina have to be mentioned too. The special part is presented by the classical work of S. Brodar (1952) about the caves development, arranged in four chronological phases, schematically shown on the figure 2. The hypothesis treats

- 1 erosional phase in Upper Pliocene and Lower Pleistocene,
- 2 accumulation phase in Lower and Middle Pleistocene,
- 3 erosional phase in Middle Pleistocene and
- 4 accumulation phase in Upper Pleistocene.

Channels investigated in detail and newly discovered cave sediments in Postojna Cave System, specially in Planinska jama, rendered possible to develop the mentioned hypothesis, analyse it and chronologically define it.

In this study the development of the Postojna Cave System is studied by
— cave sediments investigations,

- speleogenetical processes statement,
- study of the underground development dependency and karst surface development,
- relative and absolute succession of development phase disposition in Quaternary.

The study methods are based on the field work in vaste underground with difficult access and on laboratory sediments investigations. The investigation methods, known by the literature (H. Riedl 1960; 1961; 1963; H. Trimel 1968; E. Schmid 1958; A. Bögli 1961; W. Davies and E. Chao 1959; Th. E. Wolfe 1973; B. Nebl 1968) correspond only partly to our problematics. Basing on the experiences of similar study of Cerknica Cave System and Križna jama (R. Gospodarič 1970; 1974) the new method of speleogenetical correlation between allothonous cave sediments and macroforms of the underground spaces has been developed.

GEOLOGY OF THE POSTOJNA KARST

(Fig. 3 and 4)

The Postojna Karst is built by the Cretaceous carbonate rocks. On the northern and northeastern part it is covered by Triassic dolomite and Jurassic dolomite and limestone of Hrušica Mts, while on the western and southwestern part the karst is buried by Eocene flysch of Pivka Basin. Postojnska jama lies in the Upper Cretaceous, Planinska jama in the Lower Cretaceous rocks.

Lower Cretaceous is composed by bedded and thickbedded limestones and dolomites and limestone breccias nests. The cretaceous age is shown by characteristic makro- and microfauna (M. Pleničar 1960). The transition to the Upper Cretaceous strata is seen in the Planinska jama underground (Plate 3, fig. A), where limestone with chert passes to a massive Cenomanian limestone, where Caprinidae, Chondrodontae and corresponding microfauna have been found (M. Pleničar 1962; 1963; R. Gospodarič and R. Pavlovec 1974). On the geological map (1967) 500 m. thick Turonian and 500 m. thick Senonian series are not yet classified in further details. By finding Cheramospherinae, Hyppurites Giordanni Pirona and Sabiniae (S. Buser 1965; M. Pleničar 1962) this classification has been already stated.

Turonian is composed by bedded limestone with chert and non-bedded limestone. Senonian rocks have similar lithological structure. On the Cretaceous rocks only few erosional remnants of Paleocene rocks have remained (R. Gospodarič and others 1967) following by marl, sandstone and flysch conglomerate of Eocene age.

On the geological map (1967) the Quaternary sediments are not drawn upon although they have been found by drilling in Pivka Basin by F. Habe and F. Hribar (1965) and A. Šercelj (1970), and have been proved in the caves of neighbour karst by S. Brodar (1952; 1960; 1970). The investigations for this study have shown that northern part of Pivka Basin is thickly covered by different Quaternary sediments (see the fig. 37, 38 and 39).

The tectonic structure of the Postojna Karst is expressed in NW—SE directed Postojna anticline, Studeno syncline and Bukovje folds. The first two folds have been found in the galleries of Postojnska jama. In Planinska jama the Lower Cretaceous beds are gently inclined towards west, southwest and northwest. The faults in the

systems NW—SE, NE—SW and N—S are considerably more frequent on the crest than on the limb of mentioned folds (R. Gospodarič 1969). Numerous fault and wrench-faults have the same direction. All these structures are characteristic for tectonic structure of High Karst, to which the Postojna Karst belongs. The Predjama over-thrust can be considered too (J. Rus 1925); there the dolomitic Hrušica Mts. from the north towards Postojna Karst is overthrust.

Hydrographic and geomorphologic characteristics of the Postojna Karst and its underground have been treated several times in the above mentioned literature in detail. The hypothesis of A. Melik (1955), I. Rakovec (1951) and S. Brodar (1952) about the Pivka Basin Lake in Middle Pleistocene and F. Habe (1970) and F. Osole (1968) hypothesis against the widely extending permanent lake have to be specially mentioned.

SPELEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE POSTOJNA KARST

(Fig. 5 and 6)

In the Postojna Karst region 60 caves of different types and extension are known till now. The majority is situated under the surface of the Postojna morphological plateau (600—630 m.), including 4 km. wide belt of Postojna Karst near the Pivka Basin. In higher Planina plateau (above 630 m.) the underground is less cavernous, only Planinska jama* is known. The speleological objects have defined space proportion towards both differently old surfaces, their altitudes and depressions, which is well seen on fig. 6.

Numerous cave sections in Postojnska jama represent the remnants of old sinking channels, which are collapsed or filled up by sediments today. They are accessible across smaller corrosive potholes or collapsed ceilings. Therefore the altitude of today's cave entrance has not been competent for ranging into schematic description on fig. 6, but the altitudes of horizontal cave parts or their rocky bottoms. The caves are composed by one, two or more levels in many places connected by inclined, fissured galleries of younger corrosive origin. Some vertical potholes, ending at the altitude of the horizontal galleries, have been noted apart. The transitive and connecting galleries in the Postojnska and Planinska jama are illustrated by single columns. Today's collapsed dolines depth and ceiling heights of some collapsed halls have been drawn upon.

On the ponor side the horizontal caves are developed in the same altitude span (550—510 m.) as the high galleries in Planinska jama (450—490 m. above the sea level). On the ponor side there are several shorter caves with more expressive central galleries among 540—525 m., while they are connected on the spring side in the uniform high channel. On the ponor side the caves are situated in 8 km. long slope between Postojna and Studeno on the limit between flysch and limestone, on the spring side they are united in one gallery reaching the surface of Planina Polje near the limit between limestone and dolomite. Therefore we can expect in Planinska

Comments:

jama — cave

rov — gallery

kanal — channel

dvorana — hall

koliševka — collapsed doline

jama more and better facts about the geological history of the whole underground system than in dislocated caves on the Postojna part, where the shapes and sediments of former water channels because of breakdowns and concretions are not so easy to state.

SEDIMENTS AND DEVELOPMENT PHASES OF THE PLANINSKA JAMA

(Fig. 7 and 8)

The descriptions and the history of discoveries are included in the works of J. Valvasor (1689), F. A. Steinberg (1761), T. Gruber (1781), A. Urbas (1849), A. Schmidl (1854), W. Putick (1889), E. A. Martel (1894), G. Spöcker (1931), A. Mühlföhrer (1933), I. Michler (1955), R. Savič (1968), R. Gospodarič (1968) and P. Habič (1970).

In the cave the water channels as entrance part till Sotočje (480 m. long), the Rak Branch (2500 m.) and the Pivka Branch (1565 m.) are known. Together with some dry galleries 6000 m of channels have been surveyed.

In Pivka Branch the dry gallery Paradiž is important. On the Plate 1 we see the entrance to the gallery, 20 m. thick filled up by limestone rubble and gravel. The rubble is covered by coloured and differently old sinter (see fig. B on the Plate 1 and fig. A on the Plate 2). The rubble is lying on the laminated loam as we conclude after the nearest finding-place of limestone gravel in the Pivka Branch, from where the fig. 2 on the Plate 2 originates. The both sediments are found at the walls in the bottom and under the ceiling of the gallery in different quantities and thickness. These two, the most common sediments, have filled up the Pivka Branch on the same manner as today the Paradiž is filled up.

In this Branch the coloured chert gravel (fig. B. on the Plate 3, both figures on the Plate 4), somewhere cemented into conglomerate, upwards passing into older laminated loam, is found. From the reciprocal relations among sediments, flowstone and branch shape the development series of cross-sections from 1 till 5 (fig. 9) and other profiles (fig. 10, 11, 12) have been composed. The concretions are among allothous sediments and above them; the older sinter lies under the limestone rubble, the younger above it, and the youngest holocene sinter above all known sediments (Plate 6).

In the water course direction the sediments are more and more eroded (fig. 12, Plates 5 and 7), while they are still preserved under the ceiling, in the lateral channels and above the cave river. Such sediments have filled up the following galleries: Rov mrtvih netopirjev (fig. 12), Mrtvaški rov and Katernov rov. Somewhere the breakdowns have connected the dry galleries with water channels into uniform high space (fig. 13), on the other parts the galleries are separated (9th profile on fig. 13, fig. 14).

The peculiar white chert gravel and sand sediments, which stratigraphically occur between the older laminated loam and limestone gravel have been found in the lateral channels. All three sinter generations, flood loam and younger laminated loam are preserved too.

In the Rak Branch the older laminated loam and limestone gravel are the most common sediments. They are hiding the channel's shape in the rock, across sediments barriers the river Rak is flowing from one lake to another.

Older laminated loam lies between the rocky bottom and Rudolf channel's ceiling (Plate 8). The recent cave stream and rain water are excavating this filled up gallery again (fig. 15). Above this loam are lying white chert gravel and sand (Plate 9),

flowstone, flood loam and flowstone again, only limestone gravel is missing because it could not be deposited in filled up gallery. But we find it in great quantities in more spacious Rak Branch. At the profile 10 a it is preserved on the bottom, at the walls above the older loam. The details about the petrographic structure, roundness, granulation and pebbles flatness (see fig. 16) show, that the sediment has been deposited in several layers at different hydrologic conditions (Plate 10). The lower layers contain greater pieces, the upper smaller and more fine flysch sand. This is the proof that the sediment has been brought from the Pivka Basin direction..

In 10th and 11th profiles (fig. 17) the younger sinter of absolute age about 40 000 years is lying above the sediments. In many places the sediments are washed off and the younger sinter remained hanging on the ceiling and on the walls without base (fig. A, Plate 11), and so the older sinter is denuded again (fig. A, Plate 12). As in Pivka so in the Rak Branch the Mn cover occurs, covering the postglacial shape of both branches.

The first part of Pisani kanal (The Coloured Channel) gives us the facts about the limestone gravel composition (fig. 19), while in the second channel's part the gravel is already eroded (Plate 12 B), because the karst waters of Javorniki stream appear here (fig. 18), changing and renewing the shape of the Rak Branch, originating from the glacial period.

In 12th and other profiles the following stratigraphic succession of sediments and development phases have been stated;

- actual situation,
- black cover,
- sediments erosion,
- sinter on the breakdown,
- limestone gravel,
- sinter,
- laminated loam,
- rocky channel without breakdowns and sediments.

At Sotočje (Plate 13 A) there is the union between the Pivka and Rak Branches, the both cave rivers Rak and Pivka unites into the river Unica, which is flowing off to Planina Polje (Plate 13 B). In spite of modest remnants the previous shape of the water channel on the example of Visoka dvorana (The High Hall) (fig. 20) could be recapitulated. As Rudolf, Katern and Mrtvaški rov (Galleries), Tiha jama (The Silent Cave) also represents the filled up, older channel of Planinska jama, renewed by the local waters. White chert gravel, laminated loam and two sinter generations are denuded in it.

CONCLUSION ABOUT THE SEDIMENTS OF PLANINSKA JAMA

In Planinska jama the following allothonous sediments have been found:

- as the oldest, coloured chert gravel,
- older laminated loam,
- white chert gravel,
- limestone gravel, partly parautothonous,
- younger laminated loam and finally,
- flood loam as the youngest sediment.

Table 1. *The Planinska jama Development*

Sediments		Hydrological development	Morphological development	Process
allothonous	autothonous			
flood loam	black Mn cover, sinter till 10 000 years b. p.	lakes, cascades, syphons Pivka: water level ± 1 m, fall 10 ‰ Rak: water level ± 4 f, fall 3 ‰	deepened rocky bottom, sediments washing off, secondary ceiling increase	erosion
flood loam	black Mn cover, breakdowns	Javorniki course syphon, Rak: water level ± 4 m, fall 8 ‰ Pivka: water level ± 8 m, fall 8 ‰ syphon discharge under Paradise	rocky levels at Slap and Šmidl passage, beds in sediments, pocket valleys near Planina and Malni	
younger laminated loam	sinter 30 000—50 000 b. p.	rain water flows, sinking rivers retreat?	cave filled up by sediments till 480 m and higher cave filled up by fan, Planinska koliševka formation, river bed in older sediments	accumulation
		oscillation of the sinking river water table, slow flow in both branches		
limestone gravel	?	Pivka: speed till 3 m/s, fall 15 ‰ flow in Pivka and Rak Branches		
red loam	sinter above 80 000 years b. p.	rain water flows sinking rivers retreat?		accumulation
white chert gravel	?	sinking rivers flow in upper cave level above 470 m.	new galleries in rock and older sediment	erosion
older laminated loam		oscillation of the sinking river Pivka water table in the whole cave	cave filled up till 470 m. high	accumulation
coloured chert gravel ?		free Pivka and Rak levels, speed till 2 m/s, flow towards Planina, rocky bottom at 460 m sinking rivers excavate the cave	gravel deposits on the bottom and walls in Pivka Branch, rocky channel's formation of Rak Branch, formation of Pivka Branch lower level	erosion

Among autothonomous sediments there are three sinter generations, black Mn cover and breakdown rocks.

Coloured chert gravel is preserved on the rocky bottom of the Pivka Branch in at most 1 m. thick layer. Analysed samples show uniform petrographic and granulometric composition (fig. 21). The Pivka precursor has transported already rounded pebbles from the Pivka Basin and has deposited them in the Branch. The Pivka Basin origin is proved by presence of flysch sand. After the empirical data of E. and W. White (1968) we can consider the sinking river's speed to 1 m/s. The gravel shows some final erosive development phase and the transgression to expressively accumulative development phase, proved also by progressive transition to older laminated loam. Older laminated loam is the most common allothonous sediment in Planinska jama. In accumulative development phase it has covered all the channel till half, and some parts till ceiling.

By the loam characteristics, laminated as »varve« we tried to state its chronostratigraphic value after de Geer method (fig. 22). The experiment did not yet succeeded, because the measurements have not been precise enough. So it can be stated that they represent the accumulative period in the cave development, when the rocky galleries did not nor widen nor deepen but did preserve. As they are found in spring cave, 6 km. far from the ponors, their sedimentation could not be connected by temporary storms or floods, as it is thought for similar loams by R. W. Reams (1968) and Th. Wolfe (1973). But we can think about the possibility that filled up or syphoned cave entrance as well as innundated Planina Polje influenced such sedimentation, while Planinska jama has been and still is hydrologically connected to the Polje.

The white chert gravel has been deposited in thin layer above the laminated loam, but mostly it has been transported from the Pivka Basin by the sinking river across the underground towards Planina Polje. Its origin in Pivka Basin is proved by petrographic structure (fig. 23) which is identical to primary chert in Paleocene limestone of mentioned basin (see Plates 18 and 20). The sediment expresses the beginning of the erosion period when the sinking river began to deepen its bed in older fills.

The limestone gravel belongs to parautothonomous sediments, while the paleontological, petrographical and texture proofs speak for its origin in hinterland of the Pivka Branch, where the collapse doline Planinska koliševka is situated (R. Gospodarič and R. Pavlovac 1974). It is the underground fan of collapsed doline breakdown material, which have been transported and deposited by the underground sinking river in the Pivka Branch and also in the Rak Branch (fig. 24). It means, that Pivka has flown on the surface also in pocket valley of Malenščica; it is flowing today only towards pocket valley near Planina. Rak also flows in this direction.

Younger laminated loam and flood loam indicate the later accumulative phase, while the cave excavation and the black Mn cover belong to the later erosive phase.

Erosive and accumulative periods have been interrupted by the growth of older and younger sinter, while the youngest sinter and the breakdowns ended the recent processes.

By the stratigraphic disposition the relative age of sinters have been stated, but we have some facts about their absolute age. They have been made by ^{14}C and U/Th analyses. The older sinter is dated to Riss-Würm, the younger to Middle Würm,

while the youngest to Postglacial. The above mentioned analytic facts have been interconnected and united on the Table 1 on the page 126., where the hydrological and morphological galleries development and speleogenetical processes in Planinska jama are presented.

THE SEDIMENTS AND THE DEVELOPMENT PHASES OF THE POSTOJNA CAVES

The discoveries in the Postojna Caves after 1818 have been several times described in detail. In the recent chronological review more important geological, morphological, hydrographical and speleogenetical studies have been cited by R. Gospodarič (1968). During the discoveries and investigations more and more complete plans of the caves were made. One of them is the plan on the fig. 25 where the surface collapsed dolines in the area of the known underground are drawn in.

The Postojna Caves are composed by:

- the Underground Pivka with water channels,
- Lekinka with water channel,
- Pivka jama with water channel,
- Črna jama with water channels and dry galleries,
- Magdalena jama with water channels and dry galleries,
- Otoška jama with dry galleries and
- Postojnska jama with dry galleries.

By the natural way Postojnska jama, Otoška jama, Magdalena jama and Underground Pivka are connected on one side and Pivka and Črna jama on the other side. Three parts: Magdalena jama - Pivka jama in straight distance 370 m., Perkov rov in the Underground Pivka - Vilharjev rov in Črna jama in straight distance 195 m. and Pivka jama - Pivka Branch of Planinska jama in the distance of 2000 m. are not accessible, beginning and ending by Pivka syphons, which have been only partly dived (P. Krivic and A. Praprotnik 1973).

On the plan (fig. 25) the nest of hydrologically and morphologically different galleries, differing also after the origin and development, are seen. That is evident after the longitudinal profiles on the fig. 26, where the galleries have the different shapes, altitudes and contents. The characteristic phenomena regarding the speleogenetical view will be cited apart by the help of figures and photos.

The most characteristic alluvions deposit in the Underground Pivka is preserved at the 1st profile (fig. 27, Plate 14), similar sediments are found along the water channels at profiles 2, 3, 4, 5 and 6 (fig. 28, Plates 15 and 16). In the water channels in Črna jama, where Pivka reappears, several different sediments were found (fig. 29). The dry galleries of Črna jama are filled up to the ceiling by the sinter and breakdown rubble, on that account the sediments are not seen. By the stated sediments in single profiles the following development can be supposed:

- recent erosion,
- flood loam,
- flooded channel with Mn cover,
- sinter origin,
- filling up with autothonomous limestone rubble and allothonomous flysch and limestone sand and gravel,
- the rocky channel origin.

The connection between dry and water galleries and their different sediments are shown in detail by the example of Otoška jama (fig. 30). The special attention is given to the profile 11 A, connecting the channel of the Underground Pivka with older dry galleries in Otoška jama. In both channels the characteristic sediments were found. On the rocky bottom of the dry gallery thick coloured chert gravel (sample 424, 424 a), followed by flysch sand and white chert gravel (434) and above them limestone rubble have been found. These sediments are covered by red loam with fossil bones and two sinter generations, separated by flood loam. Such sediments are evident in other parts of the gallery (profile 10 and 12) and on the other part of the collapsed doline Stara Apnenca (profiles 13 and 14) in Zgornji Tartar which represent the genetic continuation of Otoška jama. The development phases of Otoška jama and Underground Pivka can be classified as follow (fig. 31):

1. In recent development phase the flowstone growth in dry galleries and erosion of fills and rocky bottom deepening in water channels, as well as Mn cover on the walls and on the flowstone and on the alluvions occur.

2. The sinter on rubble and loam deposit in the Underground Pivka channel and higher lying galleries of Otoška jama have originated, when the sinking river left the underground.

3. The underground Pivka eroded and transported allothonous and autothonous rubble and gravel or only allothonous loam. To the river several water streams flow, corroding the cave ceiling. The majority of breakdown rubble have been transported by the sinking river. Because of the fills washing off the bottom in dry galleries was eroded, the concretions have fallen down, the breakdowns and vertical connections among the galleries have developed. In this development phase the collapsed doline Stara Apnenca had the most intensive transformation. Breakdowns blocked the connection of Otoška jama with surface and Zgornji Tartar. Temporary the sinking river reached the dry galleries till 540 m above the sea level and deposited the flood loam above the flowstone.

4. Thick cover, stalagmites and reddish flowstone cones have covered the older fills in dry galleries. The lower water channels have originated in this time.

5. The sinking river which disappeared in blind valley Risnik, has deposited the laminated loam and sand which have been covered by autothonous rubble. There were no underground Pivka channel but water channels in horizon about 515 m. have been projected.

6. After the concreted autothonous rubble and allothonous sand the sinking river retreat and the flowstone development can be stated.

7. The sinking river deposited the quartz sand and white chert sand and limonite. Among the fills the cone-like layer of autothonous rubble, mostly under the ceiling of the later collapsed doline, have been deposited.

8. Allothonous coloured chert gravel and sand prove the older development phase of Otoška jama and Zgornji Tartar. The sinking river sank on the spot of today's blind valley Risnik and largely excavated the rocky channel by the transported material.

THE SEDIMENTS IN POSTOJNSKA JAMA

The sediments finding-spots in the touristic part of the Postojnska jama are presented on the lower longitudinal profile of fig. 26. The holes, filled up by sediments have been discovered at hotel »Jama« construction. In the hole of 15 A and

15 B profiles (fig. 32) 11 gravel, sand and loam layers in total thickness of 8 m. have been distinguished. The simple, cyclic sedimentation from both fast flowing (about 1 m/s) and almost stagnant sinking river have been stated on the base of analysing the granulation of sediments. The majority of material has flysch origin, while the sinking river's hinterland has been on the Eocene flysch of Pivka Basin. Other pieces are presented by white chert particles (see the triangular diagram on the fig. 32) and limonite. In cherts pieces the fossile nummulites (Plate 19) are preserved, proving that the river bed has been extended on the Paleocene limestone in southwestern part of Pivka Basin, where such limestone contains chert with nummulites (Plate 18). The particles, ooides and tube-like limonite forms have been deposited into the cave from the karst surface and from quaternary sediments of Pivka Basin by the sinking river. Tube-like limonite forms could originate on the surface in warm climate of savanna vegetation. Such tube-like forms are known in situ in the sediments of Polje of Cerknica from the middle Würm time. The resemblance is so great that their origin can be put in the same time (Plate 17).

The both glacial wedges in layers from 6 till 9, typical for permanent frozen soil of periglacial regions have to be mentioned (P. Wolstedt 1961). That is why the sediments in profiles 15 A and 15 B have been deposited in cool Pleistocene climate with several short-termed warmer periods. The Riss Glacial can be supposed.

In the interior of Postojnska jama at the profiles 16, 17, 18 (fig. 33), profiles 19 and 20 (fig. 34), profiles 21 A and 21 B (fig. 35) the sediments, very much similar to those at profiles 15 A and 15 B occur, while the appearance of the flysch sand and loam without other characteristic ingredients, is new. Frequently the sand and loam layers are changing, passing upwards to the flowstone cover. These sediments have been put into group of younger laminated fills. In partly filled up channels they have been deposited by the sinking river across actual touristic entrance of Postojnska jama.

The following allothonous sediment is flood loam between younger and the youngest flowstone. It is very frequent in connected dry galleries in Postojnska jama to the altitude of 540 m. This is the sediment which has been mostly excavated by S. Brodar (1966) and where the cave bear bones have been found. We can resume that in dry galleries of Postojnska jama three sorts of allothonous deposits have been found as follow:

- white chert gravel accompanied by decomposed flysch gravel, sand, loam and limonite,
- younger laminated deposits from sand, loam and less gravel and
- flood flysch loam.

The flowstone with absolute age about 40 000 years occurs above younger laminated deposits, postglacial flowstone, old about 12 000 and 8000 years above flood loam (H. Franke and M. Geyh 1970; R. Gospodarič 1972).

Concretions, fossil bones and sediments under the flowstone, petrographically and after the altitude correspond in Postojnska and Otoška jama. Therefore the succession of sedimentation and development of all Caves of Postojna, including the Underground Pivka, have been composed as it is evident after the Table 2.

The Underground Pivka channels development have been different as the development of dry galleries of the Caves of Postojna. The Underground Pivka channels have not originated before Riss-Würm, the upper galleries being filled by alluvions, rubble and flowstone. In the Middle Würm only the high waters reached the

upper channels while the lower presented the permanent throughflow. Only the postglacial flowstone is common to both levels; Holocene processes are different again. Pivka has formed the water channels while the upper dry galleries have been transformed by the percolated water.

As the majority of sediments in the Postojna Caves have their origin in Pivka Basin, let us see, which sediments are preserved there.

During the construction works for the highway and water supply in the years 1971—1972 different deposits have been uncovered. They are interesting near Prestranek (fig. 37) where the karst relief is covered by loam with coloured chert pebbles (layer 1), loam with white chert pebbles and limonite (layer 2), limestone rubble (layer 3), loam with quartz sand (layer 4) and flysch rocks alluvions (layers from 5 till 7). This sediments succession on the surface reminds very much of the cave sediments succession, described above. The temporary resemblance in accentuated by cryoturbation phenomena between the layers 3 and 4, proving permanently frozen soil, probably from Riss. It is seen from the profile that the younger valley with sediments 5 and 6 is cut in older karst relief with sediments from 1 till 4. Such double morphological development have been stated on the example of upper and lower levels of the Postojna Caves.

The following quaternary sediments finding places (coloured chert gravel and laminated loam) have been found on the slopes, hills and terraces of Pivka Basin on the altitudes between 530 and 600 m. (fig. 38). Some pebbles are very rounded, some others are broken off as artefacts. The pebbles are from chert, tuf, quartzite, quartz and opale. This is the material of primary metamorphic and paleozoic rocks of Alpine region. It is not yet known if the pebbles have originated from Eocene flysch rocks or they belong either to Upper Tertiary or to Lower Pleistocene sediments. (fig. 39). Fluvial sediments, where the white chert gravel presents the leading composition, are preserved in central and southern part of the Pivka Basin to the 540 m. of altitude. Beside gravel occur the red loam, limonite and quartz sand, which are resedimented from higher lying karst relief to the valley.

CONCLUSIONS

Analitic facts have proved that in Pivka Basin and in Postojna Cave System four sediments groups exist as follow:

- coloured chert gravel and older laminated loam,
- white chert gravel and limonite,
- younger laminated loam and
- flood loam.

These sediments have been found under Holocene flowstone, above and under Middle Würm flowstone and above Riss-Würm flowstone.

The position and situation of the sediments in the underground, their petrographic and granulometric structure, stratigraphic succession and hydrologic and morphologic conditions at the accumulation and erosion of above mentioned sediments rendered possible the speleogenetic correlation and finding out the development phases, as it is seen on the Table 3 and Annex 1. For the Middle and Upper Pleistocene and Postglacial 10 successive development phase of the Postojna Cave System have been stated.

Table 2. *Development of the Postojna Caves*

The Underground Pivka			Otoška and Postojnska jama			
process	sediments		sediments		process	time
	allothonous	autothonous	allothonous	autothonous		
erosion	flood loam	breakdown rocks black Mn cover	?	sinter 8000 b. p.	accumulation, stalagmites collapse, soil subsidence	Holocene
accumulation	?	sinter				
	loam, rubble and gravel	breakdown rocks, rubble	flood loam and sand	breakdown rocks rubble	accumulation	Upper Würm
	rocky galleries at 511 m.		red loam	sinter 40 000 b. p.		Middle Würm
	rocky galleries at 515 m.		flysch gravel and sand, laminated loam	rubble, breakdowns	accumulation erosion	Lower Würm
			red loam	sinter	accumulation	Riss-Würm
			white chert gravel and sand	rubble		Riss
			coloured chert gravel	?	erosion	Middle Quaternary
			rocky galleries at 530 m.			

1st development phase: river sinks near Postojna and Veliki Otok on 530 m. of altitude and reappears on the Planina Polje at about 460 m. above the sea level; coloured chert gravel transport; erosion in the underground; Middle Quaternary.

2nd development phase: laminated loam accumulation, specially in both branches of Planinska jama; Middle Quaternary.

3rd development phase: rivers sink near Postojna between 528—536 m., springs reappear near Planina at 470 m.; filling up the ponor channels and erosion in springs channels; Riss.

4th development phase with flowstone growth and minimal cave river discharge; Riss-Würm.

5th development phase: older sediments erosion, ponor channels deepening, the formation of collapsed doline Planinska koliševka and deposit of breakdown rubble in Planinska jama, the beginning of the formation of the collapsed dolines near the Caves of Postojna; Lower Würm.

6th development phase: autothonous flowstone sedimentation in the underground, breakdown rubble at the caves entrances; Middle Würm.

7th development phase with varied sedimentation in the underground Pivka and erosion in Planinska jama, temporal inundations with flood loam deposition; Upper Würm.

8th development phase: Postglacial flowstone.

9th development phase: with channels inundations, Mn cover formation, washing off and alluvions erosion, flood loam deposition, breakdown phenomena; Holocene.

10th development phase: erosion in water channels, flowstone growth in dry galleries; Holocene.














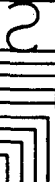


The sedimentation in the underground has not been based on the local morphological conditions but on the pleistocene tectonics and climatic conditions of Ljubljana River Basin wider region.

As it has been stated by A. Šercelj (1965) the Ljubljana Moor rocky bottom has been submerged in Würm for about 100 m. As the Moor presents the local erosion base for the waters from the Pivka Basin, its immersion has caused greater relief's energy in hinterland, evident in


- sediments and rocky bottom in Planinska jama erosion,
- less expressive filling up with allothonous sediments of Würm as it has been before in the rest of Quaternary.


In periglacial region the rocks have been mechanically weathered much more than in warmer pleistocene periods. Flysch rocks of Pivka Basin have given enough material for ponor caves filling up. In before Würm period the filling up effect has influenced till Planinska jama, in the Würm period only till the Caves of Postojna. At the same climate such material could not be deposited in Planinska jama by Rak River because in its immediate hinterland there were no flysch or similar klastic rocks. The reconstruction of speleogenetical processes, connected with Rak waters, is therefore more difficult as it was for Pivka waters. The sediments of Pivka Basin and Cerkniško polje are very similar, also the sinter generations in margin caves correspond. After the development phases of cave systems and karst poljes correlation the evolution of the entire Ljubljana Karst River Basin in Quaternary could be explained in future. The statements of the Postojna Cave System present only a part of this more complex investigation work.


Table 3. Development Phases of the Postojna Cave System

Phases	The Caves of Postojna				Planinska jama				Time
	The Underground Pivka		dry galleries		water channels		dry galleries		
10	the bottom deepening into the rock and sediment flood loam, black Mn cover		sinter, 8 000 b. p. concretions collapse, soil subsidence, sediments washing off		deepening of the bottom into the rock till 450 m. at spring, rocky levels, black Mn cover		sinter, concretions collapse, soil subsidence, sediments washing off		Holocene
9			sinter, 12 000 b. p.		sinter		sinter		Postglacial
8	sinter.		breakdown rocks, flood loam and sand		syphons origin, discharge among sediments		flood loam		Upper Würm
7	allothonous sediments discharge till 3 m/s		sinter, 40 000 b. p.		sinter		sinter		Midle Würm
6	ponors at 510 m		breakdown rocks, younger laminated loam flysch sand, gravel ponors at 525 m.		younger laminated loam, limestone gravel, Plan. koliševka formation		younger laminated loam		Lower Würm
5	ponors at 515 m		sinter, red loam		sinter, 80 000 b. p.		sinter, 80 000 b. p.		Riss-Würm
			rubble, ice wedges, white chert gravel, ponors at 530 m.		?		white chert gravel, recent galleries in the rock		Riss
			?		older laminated loam		older laminated loam		Middle Quaternary
			coloured chert particles and gravel ponors at 530 m. ?		coloured chert gravel, springs at 460 m.				

Legend

 erosion

 allothonous accumulation

 autothonous accumulation

The new results, important for the theory of caves and karst relief development, stated for the study of the Postojna Cave System, could be the following:

— the knowledge about the collapsed dolines genesis above the underground channels (the examples Planinska koliševka - Planinska jama, Stara Apnenca - Otoška jama - Underground Pivka) and their chronological disposition into Lower Würm;

— the knowledge about the varied quaternary sediments in the underground; by their study the development phases have been stated and the method for the speleogenetical correlation for morphology and cave systems sediments has been developed;

— the knowledge about varve loam sedimentation which is connected by specific morphologic and climatic conditions;

— the knowledge about the sedimentation chronology and caves development in Middle and Upper Quaternary; the chronology is based on the stratigraphic sediments succession, on the deformed shapes of sediment layers from Riss glacial and on absolutely dated flowstones.

Literatura

- Anelli, F. 1936: Raddomanzia, gravimetria e meteorologia alla ricerca di nuove vie sotterranee a Postumia. *Le vie d'Italia* 40, 9. Milano.
- Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Arhiv Jamarske zveze Slovenije, Ljubljana.
- Battaglia, R., 1933: L'età dei più antichi depositi di riempimento delle caverne. *Atti del I. Congresso speleologico nazionale*, 119—219. Trieste.
- Bertarelli, L. & E. Boegan 1926: Duemilla grotte. 1—494. Milano.
- Bögli, A. 1961: Der Höhlenlehm. *Memoria Rass. Spel. Ital.* 5, 1—21. Como.
- Bögli, A. 1970: Das Hölloch und sein Karst. *A la Baconnière*, 1—106. Neuchatel.
- Breznik, M. 1961: Akumulacija na Cerkniskem in Planinskem polju. *Geologija* 7, 119—149. Ljubljana.
- Brodar, S. 1948: Betalov spodmol - ponovno zatočišče ledenodobnega človeka. *Proteus* 4/5, 97—106, Ljubljana.
- Brodar, S. 1951: Otoška jama, paleolitska postaja. *Razprave 4. raz. 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. 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.
- Buser, S. 1965: Starost plasti s *Keramospherina* (Bradya) *tergestina* (Stache) v slovenskih Dinaridih. *Geologija* 8, 130—134. Ljubljana.
- Čadež, N. 1954: Geološki pregled porečja Ljubljaničice. *Vodnogospodarska osnova porečja Ljubljaničice*, 2 (geologija), tipkopis. Uprava za vodno gospodarstvo, Ljubljana.
- Davies, W. E. and E. C. T. Chao 1959: Report on Sediments in Mammoth Cave, Kentucky. *Geol. Survey, Washington D. C.*
- Franke, H. W. 1965: Mischungskorrosion in Haarrissen. *Die Höhle* 16/3, 61—64. Wien.
- Franke, H. W. & M. A. Geyh 1971: ¹⁴C Datierungen von Kalksinter aus slowenischer Höhlen. *Der Aufschluss* 22, 7-8, 235—237. Göttingen.

- Gams, I. 1963: Logarček. Acta carsologica 3, 7—83. Ljubljana.
- Gams, I. 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. Geografski vestnik 37, 61—101. Ljubljana.
- Gams, I. 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. Acta carsologica 4, 5—54. Ljubljana.
- Geološki zavod SRS, 1967 in 1970: Geološka karta 1. Postojna 1:100 000 s tolmačem. Beograd.
- Gospodarič, R. 1963: K poznavanju Postojnske jame - Pisani rov. Naše jame 4 (1962), 9—16. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1964: Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postojnski jami. Naše jame 5 (1963), 5—11. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1965: Geologija ozemlja med Postojno, Planino in Cerknico. Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, 1—40. Postojna.
- Gospodarič, R. & P. Habič 1966: Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline. Naše jame 81/2, 12—32. Ljubljana.
- Gospodarič, R. & sodelavci 1967: Über Entstehung und Alter der Paläogenschichten im Pivka Becken bei Postojna. Anz. math-naturw. Kl. Österr. Akad. Wiss. 2/1967, 1—25. Wien.
- Gospodarič, R. 1968: Podrti kapniki v Postojnski jami. Naše jame 9 (1967), 15—31. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1968 a: Raziskovanje Postojnske jame po letu 1818. 150 let Postojnske jame 1818—1968; založil Zavod Postojnske jame, 41—58. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1968 b: Nekaj novih speleoloških raziskav v porečju Ljubljanice 1. 1966. Naše jame 9 (1967), 37—44. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1969: Probleme der Bruchtektonik der NW Dinariden. Geologische Rundsch. 59/1, 308—322. Ferd. Erke Verl., Stuttgart.
- Gospodarič, R. 1969 a: Speleološki procesi v Postojnski jami iz mlajšega pleistocena. Naše jame 10 (1968), 37—46. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1969 b: Prirodne akumulacije voda v jamah porečja Ljubljanice. Krš Jugoslavije 6, 157—174. Zagreb.
- Gospodarič, R. 1970: Speleološke raziskave Cerkniškega jamskega sistema. Acta carsologica 5, 111—169. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1970 a: Hidrogeologija Cerkniškega jezera in okolice. Magistrsko delo, 1—110, Arhiv Univerze v Zagrebu.
- Gospodarič, R. & E. Grobelšek 1970 b: O limonitnih prodnikih na Postojnskem krasu. Naše jame 11 (1969), 83—88. Ljubljana.
- Gospodarič, R. & F. Habe & P. Habič 1970 c: Orehovski kras in izvir Korentana. Acta carsologica 5, 95—108. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1972: Prvi podatki o absolutni starosti sige v Postojnski jami na podlagi ¹⁴C. Naše jame 13 (1971), 91—98. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami. Acta carsologica 6, 327—366. Ljubljana.
- Gospodarič, R. & R. Pavlovec 1974: Izvor apnenčevega proda v Planinski jami. Acta carsologica 6, 169—182. Ljubljana.
- Gross, H. 1964: Mittelwürm in Mitteleuropa und angrenzenden Gebieten. Eiszeitalter und Gegenwart 15, 187—198. Ochtingen/Württ.
- Gruber, T. 1781: Briefe hydrographischen u. physikalischen Inhalts aus Krain. Izdal J. P. Kraus, 1—159. Wien.
- Habe, F. & F. Hribar 1965: Sajevo polje. Geografski vestnik 36 (1964), 13—44. Ljubljana.
- Habe, F. 1970: Predjamski podzemeljski svet. Acta carsologica 6, 5—94. Ljubljana.
- Habič, P. 1968: Kraški svet med Idrijo in Vipavo. Prispevek k poznavanju razvoja kraškega reliefa. Dela Inštituta za geografijo SAZU 11, 1—239. Ljubljana.
- Habič, P. 1969: Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. Naše jame 13 (1968), 47—54. Ljubljana.
- Habič, P. 1970: Geodetske meritve Rakovega rokava Planinske jame. Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, 1—14, tipkopis. Postojna.
- Hohenwart, v. F. 1830-32: Wegweiser für die Wanderer in das berühmten Adelsberger und Kronprinz Ferdinand Grotte bey Adelsberg in Krain. Hf. 1-3, 1—14. Wien—Laibach.

- Jenko, F. 1959: Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasa. DZS, 1—237. Ljubljana.
- Jenko, F. 1959 a: Poročilo o novejših raziskavah podzemeljskih voda na Slovenskem krasu. *Acta carsologica* 2, 209—227. Ljubljana.
- Kossmat, F. 1897: Über die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Adelsberg und Planina. *Verh. Geol. R. A.*, 78—84. Wien.
- Kossmat, F. 1905: Erläuterungen zur geologischen Karte Haidenschaft und Adelsberg (z. geol. karto). 1—56. Wien.
- Kossmat, F. 1916: Die morphologische Entwicklung der Gebirge in Isonzo und oberen Savegebiet. *Zeitsch. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin* 9, 576—675. Berlin.
- Kraus, F. 1894: Höhlenkunde. Verlag C. Gerold's Sohn, 1—308. Wien.
- Krebs, N. 1924: Fragmente einer Landeskunde des innerkrainer Karstes. *Cvijić-Festschrift*. Belgrade.
- Krivic, P., & T. Praprotnik 1973: Jamsko potapljanje v Sloveniji. *Naše jame* 14 (1972), 3—13. Ljubljana.
- Kyrle, G. 1923: Grundriss der theoretischen Speläologie. *Speläologische Monographien* 1, 1—339. Wien.
- Martel, E. A. 1894: Les Abîmes. *Libr. Ch. Delgrave*, 1—578. Paris.
- Melik, A. 1928: Pliocensko porečje Ljubljane. *Geografski vestnik* 4, 69—88. Ljubljana.
- Melik, A. 1951: Pliocenska Pivka. *Geografski vestnik* 23, 17—39. Ljubljana.
- Melik, A. 1955: Kraška polja Slovenije v pleistocenu. *Dela Inštituta za geografijo SAZU* 3, 1—163. Ljubljana.
- Michler, I. 1952/53: Nova odkritja v sistemu Postojnskih jam. *Proteus* 15, 214—233. Ljubljana.
- Michler, I. 1952/53 a: Magdalena jama. *Proteus* 15, 248—265. Ljubljana.
- Michler, I. 1955: Rakov rokav Planinske jame. *Acta carsologica* 1, 75—90. Ljubljana.
- Michler, I., 1955/56: Hidrografija Črne jame. *Proteus* 18, 15—33. Ljubljana.
- Michler, I. 1959: Prispevek k poznavanju podzemeljske Pivke. *Acta carsologica* 2, 159—195. Ljubljana.
- Michler, I. 1959/60: Sistem Postojnskih jam. *Proteus* 22, 193—200. Ljubljana.
- Michler, I. 1963/64: Matevžev rov v Črni jami. *Proteus* 26, 48—52. Ljubljana.
- Moore G. N. & G. Nicholas 1964: *Speleology: The Study of Caves*. D. C. Heath and Co., 1—120. Boston.
- Munsell Soil Color Charts. Baltimore 1954.
- Mühlhofer, I. 1907: Die Erforschung des Magdalenaschachtes. *Globus* 41/19, 297—302. Braunschweig.
- Mühlhofer, F. 1933: Ein Beitrag zur Erforschung des Rakbacharmes der Höhle von Planina in unterirdischen Flussgebiete der Poik. *Mitt. ü. Höhlen-e. Karstforschung* 3, 12—18. Wien.
- Nebel, B. 1968: Tonmineralogische Untersuchungen an Höhlensedimenten. Neobjavljeno, knjižnica Inštituta za raziskovanje krasa SAZU v Postojni.
- Osole, F. 1961: Parska golobina, paleolitska postaja v Pivški kotlini. *Razprave* 4. raz. SAZU 6, 435—506. Ljubljana.
- Osole, F. 1966: Sondiranje v kraških jamah iz okolice Prestranka. *Acta carsologica* 4, 139—150. Ljubljana.
- Osole, F. 1968: Jamski sedimenti Notranjsko-primorskega krasa kot posledica pleistocenskih klimatskih nihanj. *Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov* 1 (1966), 197 do 201. Ljubljana.
- Osole, F. 1969: Načrti odkop paleolitske postaje Županov spodmol pri Sajeveh. 3. faza — končno poročilo. *Arhiv Inštituta za kvartarologijo Univerze*, 1—62. Ljubljana.
- Pavlovce, R. 1957: Prvi poskusi z morfometrično metodo v Jugoslaviji. *Zbornik II. kongresa geologov FLRJ*, 199—213. Sarajevo.
- Perko, A. 1910: Die Adelsberger Grotte in Wort und Bild. Druck Max Šeber, 1—78. Adelsberg.
- Perco, A. & E. Boegan, 1928: Relievi ed esperimenti con sostanze chimiche e coloranti sulla Piuca e Rio dei Gamberi. *Le Grotte d'Italia* 2/3, 130—143. Trieste.

- Perco, A. & S. Gradenigo 1942: Postumia e le sue celebri grotte. 1—138. Postumia.
- Pleničar, M. 1960: Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem. *Geologija* 6, 22—145. Ljubljana.
- Pleničar, M. 1961: Prispevek h geologiji Postojnskega jamskega sistema. *Naše jame* 2 (1960), 54—58. Ljubljana.
- Pleničar, M. 1962: Hipurit iz krednega apnenca pri Postojni. *Geologija* 7, 63—65. Ljubljana.
- Pleničar, M. 1963: Kaprinide in rod *Radiolitella* v krednih skladih jugozahodne Slovenije. *Razprave 4. raz. SAZU* 7, 559—587. Ljubljana.
- Putick, W. 1889: Die Kässelthal von Planina und dessen unterirdische Wasserläufe. *Laib. Ztg.*, no. 69, 70, 72, Laibach.
- Radinja, D. 1967: Vremenska dolina in Divaški kras. *Geografski zbornik* 10, 156—269. Ljubljana.
- Radinja, D. 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. *Geografski zbornik* 13, 197—242. Ljubljana.
- Radinja, D. 1972 a: Senožesko podolje. Pokrajina na stiku fluvialnega in kraškega reliefa. *Geografski zbornik* 13, 81—126. Ljubljana.
- Rakovec, I. 1954: Povodni konj iz Pivške kotline. *Razprave 4. raz. SAZU* 2, 297—317. Ljubljana.
- Rakovec, I. 1975: Razvoj kvartarne sesalske favne v Sloveniji. *Arheološki vestnik* 24 (1973), 225—270. Ljubljana.
- Reams, M. W. 1968: *Cave Sediments and the Geomorphic History of the Ozarks*. Disertacija, Wash. University St. Louis, USA.
- Riedl, H. 1960: Formengebung und Sedimententstehung in der Nixhöhle bei Frankenfels (Niederösterreich). *Die Höhle* 11/2, 33—45. Wien.
- Reidl, H. 1961: Grundsätzliche Bemerkungen zur feldmässigen Untersuchung von Höhlensedimenten. *Mem. V. della Rassegna Spel. Ital., Symp. Intern. di Spel. Varenna 1960*, 1—9. Como.
- Rus, J. 1925: Morfogenetske skice iz notranjskih strani. I. in II. del. *Geografski vestnik* 1/2, 29—33, 105—112. Ljubljana.
- Savnik, R. 1960: Hidrografska zaledje Planinskega polja. *Geografski vestnik* 32, 213—223. Ljubljana.
- Schaffnerath, A. 1829: *Wegweiser für den Wanderer in der Adelsberger Grotte*. Adelsberg.
- Schmid, E. 1958: *Höhlenforschung und Sedimentanalyse*. Basel.
- Schmidl, A. 1854: *Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas*. Gedruckt. Leop. Sommer. 1—316. Wien.
- Soler, E. 1934: Campagna geo-fisica nella regione carsica di Postumia. *Mem. dell'Istituto Italiano di Speleologia*, 1—83. Trieste.
- Spöcker, R. 1931: Il Rio dei Gamberi nel Cavernone di Planina. *La Grotte d'Italia* 5, 159—165. Milano.
- Steinberg, F. A. 1761: Gründliche Nachricht von dem Inner-Krain gelegenen Czirknitzer-See. A. E. Reichhardt, 1—235. Laibach.
- Sercelj, A. 1965: Paleobotanične raziskave in zgodovina Ljubljanskega barja. *Geologija* 8, 5—27. Ljubljana.
- Sercelj, A. 1966: Pelodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov. *Razprave 4. raz. SAZU* 9, 431—472. Ljubljana.
- Sercelj, A. 1970: Würmska vegetacija in klima v Sloveniji. *Razprave 4. raz. SAZU* 13/7, 211—249. Ljubljana.
- Šerko, A. 1946: Barvanje ponikalnic v Sloveniji. *Geografski vestnik* 18/1-4, 125—139. Ljubljana.
- Šifrer, M. 1972: Nekateri smeri in pogledi geomorfološkega proučevanja na Slovenskem. *Geografski vestnik* 44, 35—56. Ljubljana.
- Trimmel, H. 1968: *Höhlenkunde*. Wierweg & Sohn, 1—300. Braunschweig.
- Trombe, F. 1952: *Traité de spéléologie*. Payot, 1—376. Paris.
- Urbas, A. 1849: Die Grotten und Abgründe von Planina. *Ilyrisches Blatt*, Nr. 32, 34, 37, Laibach.
- Valvasor, J. W. 1689: *Die Ehre des Herzogthums Krain*. Tiskarna in založba J. Krajec, 2. izdaja, I/1—4, I—III, 1—696. Novo mesto.

- Vozelj, D. 1956: Določitev kamnin, iz katerih so izdelani artefakti v Betalovem spodmolu. Diplomsko delo, Geološka knjižnica FNT, 1—142. Ljubljana.
- Wagner, G., 1954: Der Karst der Musterspiel der Verkarstung. Naturw. Monatsch. »Aus der Heimat« 9/10, 62. Tübingen.
- Warwick, G. 1953: Cave Formations and Deposits. British Caving, 62—82. Routledge and Kegan Paul Lim., London.
- White, L. E. & W. B. White 1968: Dynamics Sediment Transport in Limestone Cave. Bull. NSS 30/4, 115—129. Arlington.
- Woldstedt, P. 1961: Das Eiszeitalter. 1 (3. izdaja), 1—374. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Wolfe, Th. E. 1973: Sedimentation in Karst Drainage Basins Along the Allegheny Escarpment in Southeastern West Virginia, USA. Disertacija, 1—455. Mac Master University Hamilton, Kanada.
- Zeuner, F., 1952: Dating the Past. 3. izdaja, 1—495. Mutheun & Co, London.

MORFOLOŠKI, HIDROGRAFSKI IN SPELEOLOŠKI
RAZVOJ V STUDENSKEM FLIŠNEM ZATOKU

(S 4 PRILOGAMI IN 49 SLIKAMI)

DIE MORPHOLOGISCHE, HYDROGRAPHISCHE UND
SPELÄOLOGISCHE ENTWICKLUNG DER FLYSCHBUCHT
VON STUDENO

(MIT 4 BEILAGEN UND 49 ABBILDUNGEN)

FRANCE HABE

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 6. FEBRUARJA 1975

VSEBINA

Izvleček — Abstract	144
Uvod	145
Kamninska sestava in strukturna podoba	145
Hidrografska podoba	146
Nekatere hidrološke karakteristike studenskih voda	161
Jamski svet	166
Morfološko-hidrografski razvoj	202
Kratki zaključki	208
Die morphologische, hydrographische und speläologische Entwicklung der Flyschbucht von Studeno (Zusammenfassung)	210
Literatura in viri	213

Habe, France: Morfološki, hidrografski in speleološki razvoj v studenskem flišnem zatoku.

Acta carsologica 7, 141—213, Ljubljana, 1976, lit. 26.

Študija obravnava področje studenskega flišnega zatoka ob severnem robu Pivške kotline in opisuje njegov morfološki, hidrografski in speleološki razvoj. Tod je nasprotno kot v zahodnem delu severnega roba kotline usmerjeno več potočkov s fliša pod rob kredne plošče Postojnskega krasa. Ta del sveta se je v prvi razvojni fazi odtekal povrhnje v smeri Postojnskih vrat, v drugi fazi so bile vode usmerjene proti zahodu v predjamski podzemeljski sistem in v Jamo v Grapi, ter s tem pripadale povodju Jadranskega morja, v tretji fazi pa so te vode ob poglobljanju in odnašanju fliša dosegle apneni rob Postojnskega krasa južno od Studenega in tam ustvarjale manjše ali večje ponorne jame v več razvojnih fazah. Po vseh znakih sodeč se danes odteka te vode podzemeljsko v prostoru studenske sinklinale v sistem podzemeljske Pivke in pripadajo povodju Črnega morja. Proti zahodu se usmerja iz flišnega zatoka Belščica, ki je ustvarila 1319 m dolgo jamo in edina odvaja vodo s tega področja v jadransko povodje.

Abstract

UDC 551.44 (497.12-14)

Habe, France: Morphologic-hydrographic and speleological development in the flysh basin of Studeno.

Acta carsologica 7, 141—213, Ljubljana, 1976, Lit. 26.

The article deals with the flysh basin of Studeno at the northern edge of the Pivka Basin, and describes its morphologic, hydrographic and speleological development. Here there are — quite opposite to the western part of the Pivka Basin — several brooklets turning off the flysh to the south in the cretaceous plateau of Postojna Karst. This Studeno Area in its first phase, was being drained on the surface to the Postojna Gate; in its second phase waters were flowing off to the West to the underground system of Predjama and belonged to the Adriatic water system; in its third phase, by deepening and carrying away flysh, they had reached limestone layers and begun to sink south of Studeno creating smaller or larger caves. According to all indications, today waters are flowing off to the system of the underground Pivka, belonging to the Black Sea River Basin. To the West the Belščica brook is flowing in the 1319 m long cave belonging to the Adriatic River Basin.

Naslov — Address:

dr. France Habe
Inštitut za raziskovanje krasa SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Uvod

Pivška kotlina je že stoletje predmet preučevanj geologov, morfologov, hidrologov, arheologov in zlasti še speleologov. Še prav posebno pa je zanimal raziskovalce odtok iz te zaprte kotline. Tega problema sta se lotila že F. K o s s - m a t (1916) in N. K r e b s (1924), za njima pa je A. M e l i k v svoji študiji »Pliocenska Pivka« (1951) pokazal na sledove pliocenske Pivke, ki naj bi tekla po površju proti Planinskemu polju. B r o d a r j e v a arheološka izkopavanja v jamah na Pivškem so pokazala, da je obstajal trajni podzemeljski pretok s Pivke proti Planinskemu polju že v najmlajšem pliocenu ali pa v začetku kvar-tarja (1952; 1966). Problema spremembe površinskega toka iz Pivške kotline v podzemeljski tok se je lotil I. G a m s (1965), ki je skušal dognati morfogenezo ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. V to problematiko sta ob študiju Črnega potoka in Lekinke v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline posegla tudi R. G o s p o d a r i č in P. H a b i č (1966) ter skušala prikazati razvoj ponornega sistema Pivke pri Postojni. Večina teh raziskovalcev se je lotila predvsem preučevanja odtoka Pivke skozi ponorni sistem Postojnske jame. Neraziskane so bile hidrografske zveze severnega roba Pivške kotline, o katerih je že A. M e l i k v svoji »Pliocenski Pivki« pisal kot o »pomembni hidrografski posebnosti« (1951, 33). Morfološko, hidrološko in speleološko naj-manj obdelani predel Pivške kotline je svet flišnega zatoka pri Studenem, kjer so številni potočki, drugače kot v predjamskem hidrografskem sistemu, usmer-jeni proti jugu in ponikujejo ob robu kredne plošče, ki se vleče južno od Stude-nega do Belske žage.

Namen te razprave je prikazati ta svet v Podgori obenem s kvartarno uravnavo ob Strmici, kjer male vodice ponikujejo ob prestopu na apniška tla. Ker flišni zatok odvaja del svojih voda v Studensko vodo, ki je pritok Belščice, smo k obdelavi tega področja pritegnili tudi ponorno Jamo v Grapi, ki je bila sicer v grobih obrisih že obdelana (F. H a b e 1970, 61), vendar pa znana prvotno le v dolžini okrog 800 m, medtem ko so šele nadaljnja raziskovanja povečala njeno dolžino na 1319 m in dala točen načrt jame.

Pri speleoloških raziskavah so sodelovali člani Društva za raziskovanje jam »Luka Čeč« v Postojni, posebno zahvalo pa smo dolžni njegovemu dolgoletnemu predsedniku Z. Ž e l e t u, ki je vložil največ truda v raziskavo Jame v Grapi in v Bezgovcu.

Kamninska sestava in strukturna podoba

Poleg starejših avtorjev F. K o s s m a t a (1897), M. L i m a n o w s k e g a (1911), A. W i n k l e r j a (1922) so bili pri novem kartiranju Pivške kotline zaslužni M. P l e n i č a r (1961), R. P a v l o v e c (1963) in S. B u s e r (1964).

Tako so bili ugotovljeni številni novi stratigrafski in paleogeografski podatki. Podrobno se je posvetil tektoniki ozemlja med Pivško kotlino in Planinskim poljem R. Gospodarič (1965). Po geološki karti so najstarejše kamnine na območju flišnega studenskega zatoka bel in sivkast pasovit in zrnat dolomit zgornjega triasa, ki dosega pri Studenem širino do 1,6 km. Severno od tega je ozek pas bituminoznega zrnatega jurskega dolomita in pas z menjavo apnenca in dolomita z litotidami. Vrhovi Sajeveke (783 m), Sv. Lovrenca (1019 m) in Lipovke (1000 m), ki na severu omejujejo področje flišnega zatoka, so v zgornjeh jurskem, liadnem gostem oolitnem apnencu, ponekod z vložki zrnatega dolomita. Sestavljen je iz temnosivih, do 1 m debelih skladov, ki so ob stiku z apnencem močno pretrti. Križajo jih številne razpoke in prelomi, kot je to vidno ob studencu v Gorenjem in v kamnolomu ob robu Strmaške kvartarne ravnice. V jurskih in zgornjetriasnih kamninah nad zatokom so se izoblikovali začetki hudourniških strug, ki padajo v severnojužni smeri proti Studenem in Strmici.

Južno od zgornjetriasnega dolomita so zgornjekredni senonski apnenci razviti v ozkem pasu ob predjamskem narivu, nato pa v debeloskladovitih apnencih senonske, turonske, cenomanske in spodnjekredne starosti.

V vzhodnem in severnem robu studenskega flišnega zatoka skoraj do Belškega se med senonskim apnencem in transgresivnim eocenskim flišem pojavljajo rdeči in zeleni laporji paleocenske starosti (R. Pavlovac 1963, 419; R. Gospodarič in dr. 1967, 1—25). Studenski zatok pa je sicer v eocenskih flišnih kamninah, ki na južni strani transgresivno pokrivajo senonski apnenec.

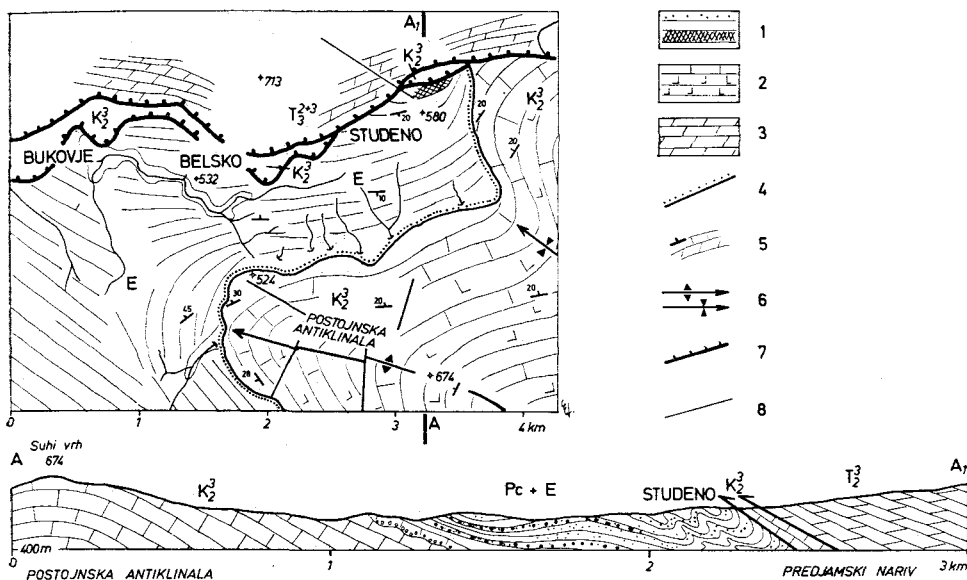
Po geološki karti so skladi triasnega dolomita in jurskega apnenca Hrušice pretežno vzporedni s predjamskim narivom v smeri W—E. Ob vijugavi narivnici je več manjših prelomov NW—SSE smeri (sl. 1).

Plasti flišnih kamnin so nagubane skupaj z apnenci v postojnski antiklinali in studenski sinklinali v smeri NW—SE. Na njih uvrstitev pa je vplival tudi potek predjamskega nariva. Vse kaže, da se flišne kamnine raztezajo proti severu pod narinjeno Hrušico, medtem ko proti jugozahodu gradijo površje Pivške kotline, iz Postojnskega krasa pa so že denudirane. Ker so vsi potočki v studenskem flišnem zatoku usmerjeni proti jugu v kredni Postojnski kras, ki je naguban v asimetrični postojnski antiklinali in studenski sinklinali (R. Gospodarič 1965, 53), se je tod razvil tako v morfološkem, hidrografskem in speleološkem pogledu zanimiv svet.

Hidrografska podoba

Preden bi prešli na obravnavo morfoloških značilnosti studenskega flišnega zatoka in njegovega podzemeljskega sveta, je treba podrobneje spoznati hidrografska podoba področja. Kot že rečeno, je Pivška kotlina nekaka »hidrografska streha« Notranjskega krasa (F. Habec 1970, 11). Odtok flišne Pivške kotline v Pivko je že dolgo znan (A. Šerko 1946, 125—139), odtok predjamske Lokve z Belščico v izvire Vipave je bil dokazan z barvanjem (F. Habec 1970, 44), za Sajeveško polje, ki južno od Hruševja predstavlja slepo dolino potokov Rakulščice in Sajeveščice pa bi po speleoloških raziskavah sklepali, da se odmakla podzemeljsko v Notranjsko Reko (F. Habec & F. Hribar 1964, 25).

Hidrografsko najmanj obdelan je svet studenskega flišnega zatoka. A. Melik v »Pliocenski Pivki« kratko omenja potočke okrog Studenega kot del



Sl. 1. Geološka skica (po R. Gospodariču 1973) 1 flišne kamnine — paleocen in eocen, 2 apnenec — senon, 3 dolomit — zgornji trias, 4 geološka meja — transgresija, 5 smer in vpad skladov, 6 prelom, 7 nariv, 8 prelom

Abb. 1. Geologische Skizze (nach R. Gospodarič 1973)

1 Flyschgesteine — Paläozen und Eozän, 2 Kalkstein — Senon, 3 Dolomit — Oberer Trias, 4 Geologische Grenze — Transgression, 5 Richtung und Einfallen der Schichten, 6 Falte, 7 Überschiebung, 8 Verwerfung

nekdanjega proti vzhodu usmerjenega vodotoka (1951, 53). Tudi v obravnavi predjamskega podzemnega sveta smo le kratko omenili te potočke, ker ne pripadajo porečju Lokve (F. Habe 1970, 14; 1973, 243).

Svet studenskega flišnega zatoka je blago proti jugu nagnjena reliefna depresija, ki prehaja na severu v dolomitsko pobočje Sv. Lovrenca (1019 m), proti jugu pa je relief po številnih potočkih pahljačasto preoblikovan. Na vzhodu in jugu je fluviatilna uravnava ostro omejena po višje ležečem krednem robu, na zahodu pa se zaključuje s terasnimi nivoji v višini 560 do 570 m (pril. 1). Celotni flišni zatok je južno od vasi Studeno nagnjen proti jugu, kjer se ob ponornem robu na stiku fliša in zgornjekrednih apnencev Postojnskega krasi vrsti skupina ponorov, začeni pri požiralniku v Cerkevni v višini 547 m do Osojce v višini 525 m. V to flišno kotanjo pa se z zahodne strani zajeda dolina Studenske vode, ki se izliva v Belščico in pripada porečju Lokve.

Vas Studeno je nastala ob številnih izviroh in studenčkih, izvirajočih na terasi od 580 do 560 m. Medtem ko imajo najvišje stoječe hiše v Studenem kapnici, se ob višini 580 m pojavlja prvi izvir, ki ne presahne in je zajet v zidanem vodnjaku. V samem naselju je izredno zanimiv pojav razvodja. Cesta, ki poteka skozi vas, je ločnica. Zahodno od nje so izviri in mali studenčki zajeti v vodnjake. Večje vode se po žlebastih koritih odcejujejo v Studensko vodo in s tem



Sl. 2. Severno od poti v Studeno je razvodje med porečjema Lokve in Pivke. V ozadju kredna luska ob dolomitu, kjer je ob desnem robu jama Kurovca (625 m)

Abb. 2. Kreideschuppe Pece, Beginn des Tales des Baches Studenska voda. Nördlich der Straße nach Studeno befindet sich die Wasserscheide zwischen den Flußgebieten des Lokva-Baches und des Pivka-Flusses. Im Hintergrund die Kreideschuppe am Dolomit, am rechten Rand die Höhle Kurovca

v Belščico, ki ponikuje v Grapi pod Bukovjem in pripada jadranskemu porečju (F. H a b e 1970, 45).

Izviri tega predela zahodno od ceste so (pril. 1):

1. Izvir pri Andrjaševih v višini 578 m, stalen.
2. Izvir Špilca, 576 m, stalen.
3. Kentarjev vodnjak, 570 m, stalen.
4. Mejakov vodnjak, 570 m, stalen.
5. Zajetje pri Planovih, 565 m, stalen.
6. Studenček pri Hurniku, 560 m, občasen.
7. Štirna pri Hurniku, 561 m, stalno zajetje.
8. Vodnjak pri Milavčevih koritih, 559 m, stalen.
9. Studenček v Koritih (obzidan), 555 m, stalen.

Vseh teh 9 izvirov in zajetij tako imenovanega »Spodnjega konca« odvaja Studenska voda, ki ima izvirno pobočje zahodno od vasi Studeno in si je zarežala globoko korito v prelomniškem jarku med apniškimi Pecami (625 m) na severu in flišnim hrbtom Trebežev in Hribov v višini 560 m na jugu (sl. 2). Ta flišni

hrbet je tudi glavna ločnica — razvodnica med studenskimi potočki, ki so usmerjeni proti jugu pod rob Postojnskega krasa in že omenjeno Studensko vodo. Ker se ves zahodni rob studenskega flišnega zatoka odmaka v Belščico, sem k opisu pritegnil še slepo dolino Belščice s ponorno Jamo v Grapi. Sicer pa je tudi porečje slepe doline Belščice 2,125 km² skoraj tolikšno kot povirje vseh studenskih ponikalnic, ki znaša 2,565 km².

Belščica je poleg Lokve najdaljši, 2,5 km dolgi potok v Podgori. Njeno povirje so močila zahodno od Belske žage. Z desne strani dobiva izpod flišnega hrpta Trebeži pritok Trebež, ki teče le ob srednji in visoki vodi. Najdaljši pritok je že omenjena Studenska voda. Ob visokih vodah izvira v izvirni kotanji v višini 560 m, ob srednjih vodah v zajetju »v Koritih« v višini 559 m (sl. 3), ob nizki vodi pa se pojavlja šele ob izohipsi 550 m in daje komaj 1 l/sek. Z leve strani pritekata v Belščico ob srednjih in visokih vodah neznatna potočka, katerih izvorno področje je v višinah pod 550 m severno in južno od Srednjega griča. Glavni pritok Belščice pa je kraški izvir Belske vode v vasi Belsko, v višini 521—520 m. Geološka situacija tega izvira je znana (F. H a b e 1970, 11). Izpod luske zgornjekrednega debelo skladovitega apnenca se pod 10 m visoko steno zvrsti 5 izvirov, ki dajejo od 10 do 40 l/sek. Zajeti so za pogon majhnega mlina na kamne pod cesto, vendar pa sedaj ne melje več. Pod apnencem je



Sl. 3. Korita — izvir Studenske vode, zajet za pitje

Abb. 3. Korita — die für Trinkwasser gefaßte Quelle des Baches Studenska voda

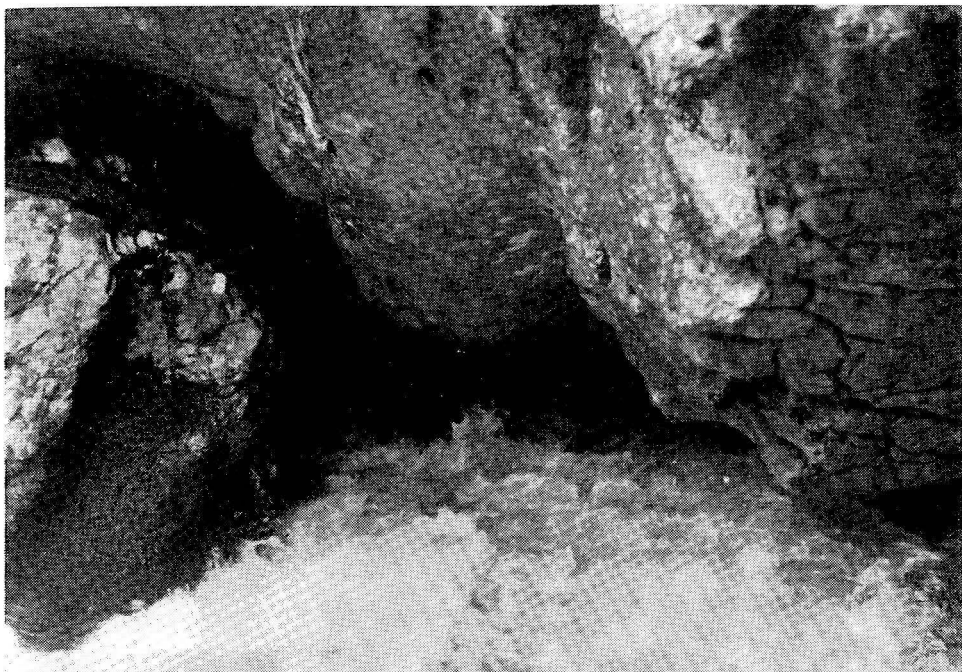
flišni lapor, nad njim pa zgornjetriasi dolomit. Ob tej kredni luski, narinjeni na fliš, izstopa Belska voda ob prelomu smeri NE—SW. Voda se zbira pod dolomitno preperelino. Ker križajo dolomit prelomi NW—SE smeri, lahko zahaja ta pobočna voda globoko v dolomit prav do fliša. Ob njem in skozi prelome v apnencih priteka voda teh izvirov (R. Gospodarič 1968, 27—28).

Stalen je še mali izvir v peskolomu v Dedniku, ki daje največ do 2 l/sek in je zajet za krajevni vodovod. Ob visokih vodah pa dobiva Belščica zelo izdatne vode iz grap v dolomitnem pobočju severno od Dednika. Tod se pojavljata iz krednega roba še dva močna bruhalnika, ki sta ob visoki vodi 7. 11. 1973 dajala prvi severno od peskokopa na koti 534,3 m 50 l/sek in drugi, ki je severneje 25 l/sek. Te vode pa izredno hitro upadejo, saj so že po 8 urah zatem bili pretoki polovico manjši (15 oziroma 10 l/sek). Temperaturno so bile močno izenačene (7,7 do 8,5° C), le stalna Belska voda je ob pretoku 40 l/sek imela 9,8° C. Ta niha v vsem letu od najnižje temperature 9,6° C dosežene v večletnem opazovanju (1956 in 1957, 1963 in 1974) le trikrat in to v januarju in spomladi po deževju, do najvišje 10,9° C, dosežene v juliju in avgustu. To kaže na stalni kraški izvir z globljim zaledjem. Tudi druge vode apniškega in dolomitnega področja v Dedniku in severneje od njega dosegajo temperature od 7,7° C do 9,6° C. Poleg Belskega izvira pod steno je najbolj konstantna temperatura izvira ob kamnolomu za rezervoar, ki ima povprečno od 8,4 do 8,8° C.

Ker delujejo vsi ti kraški izviri pri Belskem le ob visoki vodi, smo vzeli vzorce vode 5. 5. 1974. Analizo teh vzorcev z ozirom na trdoto vode je opravil Hidrometeorološki zavod SRS:

Objekt	Datum	t° C	Trdota total.	°NT kar-bon.	Nekar-bon.	Kalc.	Magn.
Belska voda	5. 5. 74	9,6	11,7	11,6	0,1	7,0	4,7
Dednik rezervoar	5. 5. 74	8,4	11,3	11,3	0,0	6,4	4,9
I. bruhalnik v Dedniku	5. 5. 74	9,6	11,4	11,4	0,0	6,2	5,2
II. bruhalnik	5. 5. 74	9,6	11,2	11,2	0,0	6,2	5,0
Flišna Belščica pred Belskim	5. 5. 74	—	6,1	6,1	0,0	5,1	1,0

Iz gornje tabele je razvidno, da imajo vse te vode svoja povirja v dolomitnem svetu severno od Belskega, zakaj tako visoke karbonatne trdote kažejo predvsem vode z dolomitnega sveta, kot je to ugotovil P. Habič pri vodah med Idrijco in Vipavo (1968, 201—211). Kljub izredno majhnemu nihanju temperatur v Belski vodi (celoletna diferenca le 1,3° C, v opažanjih 1956 in 1957. leta) je opaziti, da so karbonatne trdote v poletnih mesecih nekoliko višje in da se tudi tu pojavlja razlika za 2,6° NT (30. 1. 1957 : 10,1; 18. 8. 1956 : 12,7° C). Tako tudi ta merjenja dokazujejo večjo aktivnost korozije pri višji temperaturi. Mehka voda flišne Belščice, ki je imela na dan opazovanje le 6,1° NT, se po sotočju



Sl. 4. Visoke vode Belščice 17. 11. 1973 v ponoru Jame I v Grapi (pretok nad $2 \text{ m}^3/\text{sek.}$)
 Abb. 4. Hochwasser des Baches Belščica im Ponor Jama I v Grapi am 17. XI. 1973
 (Durchfluß über $2 \text{ m}^3/\text{Sek.}$)

s trdimi dolomitnimi vodami meša tako, da dosega potok pred ponorom v Jamo v Grapi do $12,2^0 \text{ NT}$, kar ustreza trdotam voda z dolomitnega pobočja v Belskem. Ob močnih nalivih in sploh ob velikih vodah, ko dobiva Belščica močne pritoke s fliša (pretok celo do $3 \text{ m}^3/\text{sek}$) pa pade trdota ponirajoče vode celo na $6,9$ (primeri 31. 10. 1956 je bila ob jesenskem deževju trdota Belske vode v izviru $12,9 \text{ NT}$, pred ponorom pa le $6,9^0 \text{ NT}$; isti primer je bil ob izredno visokih vodah 7. 11. 1973, ko so dajali vsi kraški izviri v Belskem okrog 200 l/sek , je znašal pretok v ponoru nad $2 \text{ m}^3/\text{sek}$ (sl. 4). Iz teh podatkov je sklepati, da glavna aktivna korozivnost Belščice učinkuje na ustvarjanje jamskih prostorov v Jami v Grapi takrat, kadar se v vodi močno zniža karbonatna trdota. Tako te visoke vode istočasno mehanično in korozivno ustvarjajo oziroma širijo jamske prostore v Jami v Grapi. To se dogaja še posebno intenzivno, kadar se velike vode iz porečja Osojščice preko Belske žage prelivajo v porečje Belščice. O tem bo govorila pozneje pri opisu Osojščice.

Vzhodno od ceste pri Studenem pripadajo zajetja voda in izviri vodam, ki hite proti jugu in izginjajo pod rob kredne plošče Postojnskega krasa. Prvi izviri se pojavijo v Studenem na višini 580 m , vsi višje ležeči deli vasi Studeno, imenovani »Zgornji konec«, pa so navezani na kapnico.



Sl. 5. Kotanja, zajetje za pitno vodo pod vasjo Studeno

Abb. 5. Kotanja — Quelle, für Trinkwasser gefaßt, unterhalb des Dorfes Studeno

Vse te majhne izvire vode so kmetje zajeli v vodnjake. Takih izvirov je 6:

1. Izvir Podtarankov, 580,2 m.
2. Turkov izvir I, 578,3 m.
3. Turkov izvir II, 575 m.
4. Izvir Krnevče, 572 m.
5. Izvir pri Kmetovih, 572 m.
6. Kotanja, 570,7 m (sl. 5).

Pojav izvirnih vodnic na višini 580 m kaže sedanjo višino flišnega pokrova v zatoku, na kateri se ob kontaktu z dolomitom oblikujejo iz močil številni potočki, razvrščeni od vzhoda proti zahodu takole (pril. 1):

1. Požiralnik v Cerkvoniji

Kt. št. 1702, kot vodni objekt B 495. V njem nastopa vodica le ob velikem deževju. Slepa dolinica je le 50 m dolg vglobljen jarek koncem terasnega nivoja višine okrog 560 m. Začetek slepe dolinice je v višini 551 m, ponorne razpoke pa v višini 547 m. Opazovani pretok v dnu požiralnika je znašal 21. 11. 1974 okrog 2 l/sek.

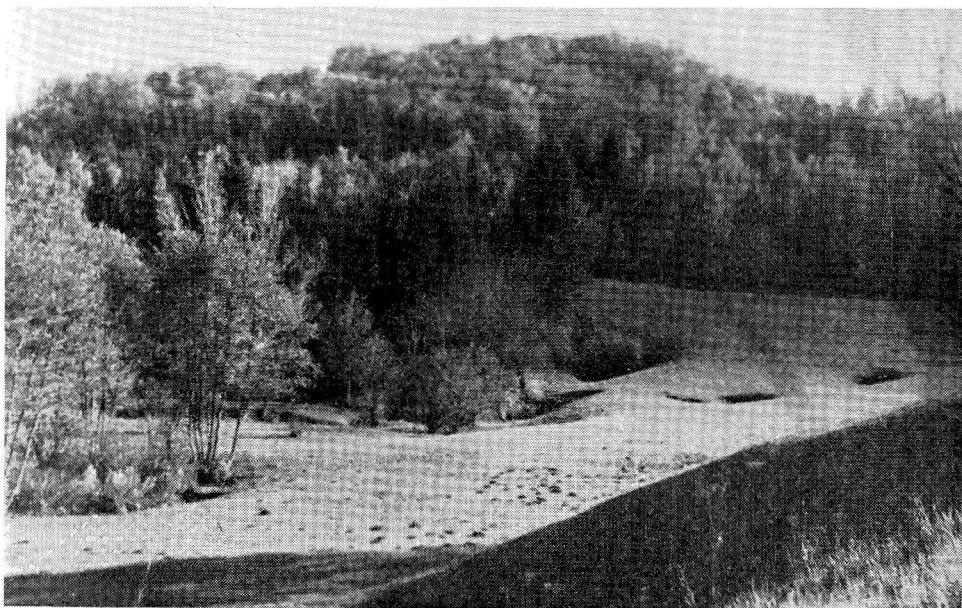
2. Ponikve pri Studenem

Največji potoček so Ponikve pri Studenem, ki nastajajo iz dveh potočkov, Jamnika in Ponikev. Le ob visokih vodah skupaj ponikujeta v ponorni jami Ponikve.

Povirje levega, vzhodnega potočka, Jamnika, je na meji fliša in senonskega apnenca. Izvirna kotanja »V Križniku« s premerom 1 m, globoka pol metra, je v

višini 565 m in ima stalno vodo. Kot droben potoček se preliva le ob srednji in nizki vodi. Ob visokih vodah je potok dolg 1120 m in to od Križnika do ponorne jame, kjer ponikuje v višini 537,5 m. Ob srednjih in nizkih vodah pa izvira 250 m južneje od Križnika v višini 558 m (opazovanje 18. 3. 1973) in ponikuje že 70 m pred ponorno jamo v višini 543 m v razpokah v strugi v dolžini 40 m. Potoček v plitvi dolinici dobiva manjše pritoke iz izvirnih kotanj z levega brega (pril. 1) v višini 565 m in v višini 560 m. Prva izvirna kotanja je široka 0,5 m in globoka 3 dm, druga pa široka 1 m in globoka 0,5 m. Takih izvirnih kotanj je na desnem bregu troje, v višinah od 560 do 548 m. Najnižja izvirna kotanja v višini 543 m je globoka preko 1 m in je stalni izvir, ki daje od 0,1 l/sek do 1,0 l/sek. Zahodni desni potok so Ponikve. Povirje je v dveh žlebovih pod Zgornjim koncem vasi v višini 572 m, ki pa delujeta le občasno. Stalni potok nastaja 280 m niže v višini 560 m, kjer izvira ob levem bregu stalna vodica s pretokom 0,1 l/sek. Ob levem bregu sta v višini 551 in 545 m še dve manjši izvirni kotanji. V nizkih vodah ponikne potok okrog 50 m pred ponorno jamo v sami strugi.

Južnozahodno od ponora se vrsti niz grezov, ki se večajo iz leta v leto. Prvo opazovanje leta 1962 je pokazalo sorazmerno majhne greze (sl. 6), zadnja opažanja v letu 1974 pa kažejo na to, da se ti grezi širijo in poglabljajo (sl. 7). Najstarejši je



Sl. 6. Sklep slepe doline Ponikev. Nad njo vrsta grezov. Srednji grez je bil leta 1962 majhen, imel je premer 2×2 m. Strnjen gozd na meji fliša in apnenca, kjer je ob nižji vrsti dreves prva uravnava

Abb. 6. Schluß des Blindtales Ponikve, darüber eine Reihe von Erdfällen. Der mittlere Erdfall hatte im Jahre 1962 einen Durchmesser von nur 2×2 m. An der Grenze des Flysches und Kalksteins ein geschlossener Wald, wo bei der niedrigeren Reihe der Bäume die erste Einebnung sichtbar ist

le 4 m daleč od sedanje struge Ponikev; sedaj ima premer 5 m in globino 3,5 m. V letu 1962 pa je bil ta grez le 1,5 m globok. Ob visokih vodah se pojavlja v dnu do 1 m visoka voda. Mlajša zgornja greza sta 15 in 25 m daleč od roba struge. Prvi ima premer 3 m in je globok 2 m, drugi pa premer 5 m in globino 2,5 m. Zahodno od Ponikev je ohranjena fosilna struga v smeri proti dolini potoka Jelovca, izdelana na meji fliša in apnenca.

3. Potok v Jelovcu

Potok izvira v vzhodnem pobočju flišnega hrbta v višini 562 m, kjer je izvirni tolmun s premerom 1 m in globino 0,75 m. Ponikne na meji fliša in apnenca v višini 540 m. Ob visoki vodi je potoček dolg 560 m, v sušni dobi pa teče le v dolžini 385 m. Ozka, na najširšem mestu le 60 m široka dolinica je v dolnjem delu dobila ime »Močila« (sl. 8). Ob visoki vodi dobiva potok z levega brega 7 večjih ali manjših



Sl. 7. Srednji grez iz leta 1962 se je v 12 letih povečal na 5×5 m premera in 3,5 m globine. V njem nastopa ob poplavih ponorna voda iz potokov Jamnika in Ponikev
Abb. 7. Der mittlere Erdfall aus dem Jahre 1962, dessen Durchmesser sich in 12 Jahren auf 5×5 m und die Tiefe auf 3,5 m vergrößert hat. In ihm kommt bei Überschwemmungen das Ponorwasser der Bäche Jamnik und Ponikva zum Vorschein



Sl. 8. Sklep slepe doline v Jelovcu. Vidne so lepo terase ob potočku. Meja sklenjenega gozda je meja med flišem in apnencem

Abb. 8. Schluß des Blindtales des Baches Potok v Jelovcu, mit Terrassen längs des Baches. Die Grenze des geschlossenen Waldes bildet die Grenze zwischen Flysch und Kalkstein

solzajev, ki se zvrste ob njegovem srednjem in dolnjem toku od višine 547 do 541 m. Ob desnem bregu so le v srednjem toku trije izviri — solzaji. Prav ti številni izvirni solzaji dajejo potoku v Jelovcu najbolj stalno vodo od vseh studenskih potočkov, saj ima tudi v največji suši, ko drugi potočki skoraj presahnejo, pretok do 3 l/sek. Voda teče stalno do ponorne jame v višini 540 m. Za njim sta v pobočju v raznih višinah dva zatrepa, kjer je nekdaj ponikal potok in to prvi v višini 545 m, drugi, veliko izrazitejši, pa v višini 551 m pod 4 m visoko navpično steno (gl. podolžni profil Potok v Jelovcu-Beloglavka: pril. 3). Na terasni uravnavi višine 560 m so v črti ponikanja potoka še trije jamski objekti — nekdanje ponorne jame.

4. Vrbkova ograda

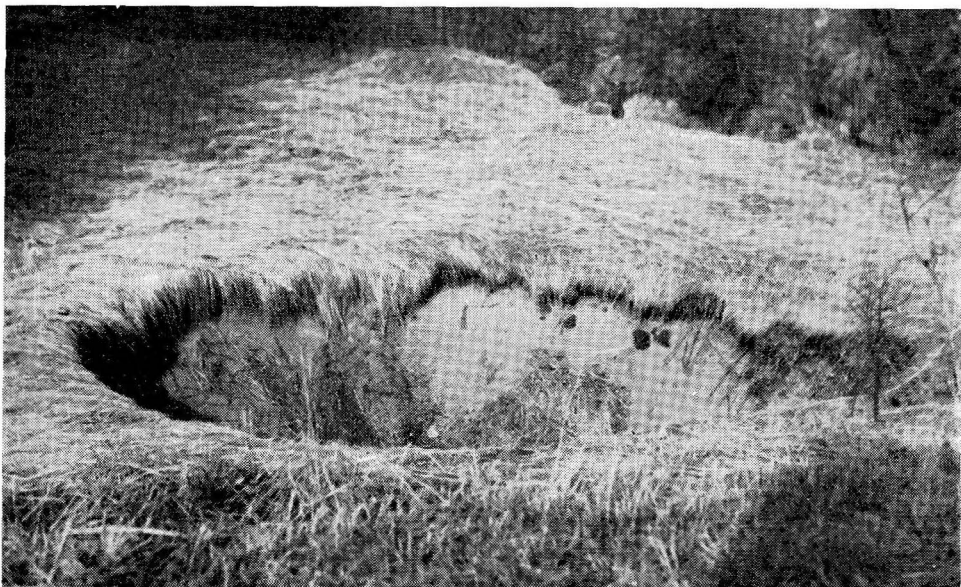
Le 300 m od potoka v Jelovcu je proti zahodu ozka in globoka grapa Vrbkova ograda sredi terasnega nivoja 560 m. V 55 m dolgem izvirnem jarku skoraj severno-južne smeri izvira voda v višini 525 m v obliki večjega solzaja in ponikne v 5 m globoki skalni razpoki v višini 538 m. Ob srednjih in visokih vodah se sliši močnejše pretakanje vode na dnu razpoke v smeri proti jugu. Ob vzhodnem robu ograde je večji grez, ki nakazuje smer odtoka vode proti jugovzhodu.

5. Črni potok

Zahodno od Vrbkove ograde je mala, 325 m dolga dolinka Kodelčev jarek, po kateri teče Črni potok. Le-ta izvira ob visoki vodi v višini 555 m, ob nizki ob izohipsi 550 m. Voda se odceja z razvodnega flišnega hrbta tik pod cesto v Studeno. Potok napaja več izvirnih kotanj z desne strani v višini 550 m, z leve v višini 545 m. Slepa dolinka doseže v spodnjem delu širino do 100 m in je zamočvirjena. Konec te je v višini 538,8 m, kjer v pretrtem flišu ponikuje vodica ob navpični drsni ploskvi (285/80). V neposredni bližini sta dva greza. V vzhodnem, ki je nastal ob isti drsi kot požiralnik, se sliši ob visokih vodah pretakanje vode, drugi grez, v premeru 12 m, je 3 m globok in je nastal ob vzporedni drsi iste smeri (sl. 9). 40 m južneje od ponora je večja 8 m globoka vrtača premera 50 m, ki je verjetno udornega nastanka, na kar kaže strma zahodna stena.

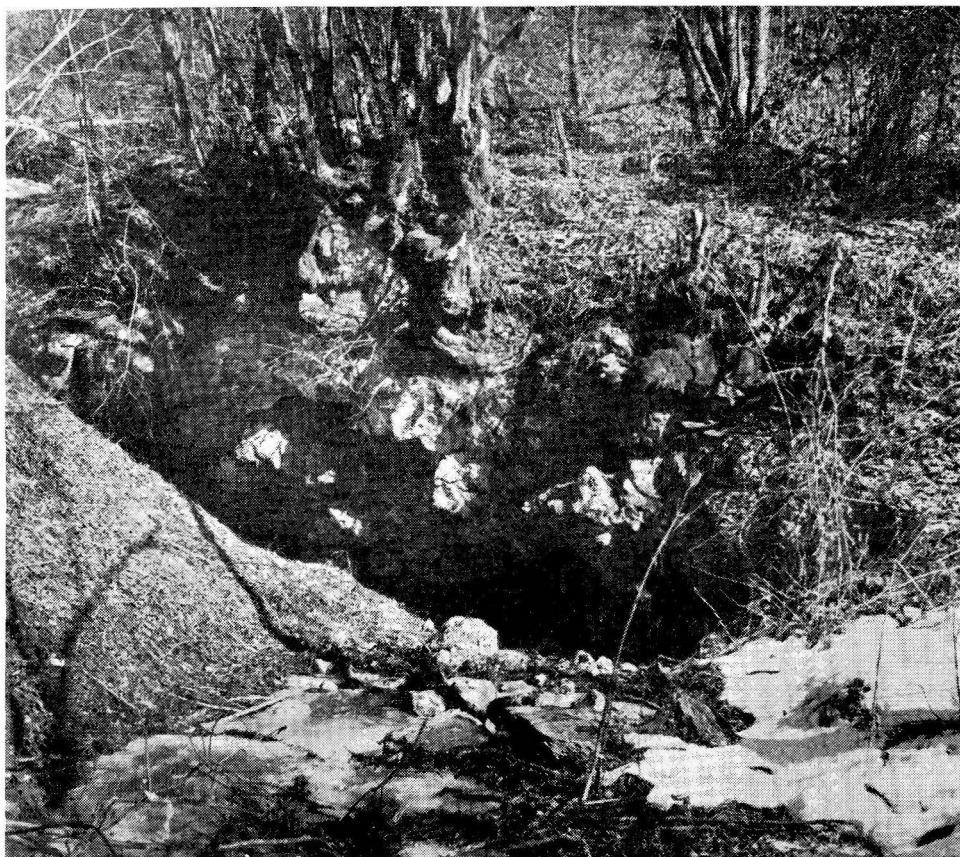
6. Štrukljev jarek

Od Kodelčevega jarka proti zahodu se vleče široka uravnava višine 540 do 550 m, vse tja do 275 m oddaljenega potočka Štrukljev jarek. Prekinja jo le neznatna vzpetina 557 m višine. V samem uravnanem svetu je dobro zaznavna široka suha dolinka severno in južno od vzpetine. Izvirna kotanja potočka je 555 m visoko na



Sl. 9. Globoki grez v sklepu slepe doline Kodelčev jarek. V dnu 3 m globokega greza je vidna ob razgaljenih apnencih drsa. Za grezom struga Kodelčevega jarka na stiku fliša in apnenca

Abb. 9. Drei Meter tiefer Erdfall am Schlusse des Blindtales Kodelčev jarek, mit einer Harnischfläche auf dem entblößtem Kalkstein am Grunde



Sl. 10. Sedanji ponor Osojščice pod 3 m visoko apneno steno

Abb. 10. Der jetzige Ponor des Baches Osojščica am Fuße einer 3 m hohen Kalksteinwand

južnem pobočju položnega flišnega hrbta Trebeži, po katerem poteka razvodnica med studenskimi in predjamskimi vodami. V visokih vodah dobiva z leve in desne iz dveh neznatnih grap pritočke v obliki solzajev, 400 m dolgi potok ponikuje ob nizki in srednji vodi na meji apnenca in fliša v sami strugi 25 m pred skalnim požiralnikom, nakar se za kratko prikaže na dnu vhodnega dela manjšega ponornega brezna v višini 536,8 m (sl. 18). Tik nad breznom je opuščeno zajetje, s katerega so Italijani napeljali vodo v vodovodne pipe, vdelane v betonske stebre. Danes je to zajetje opuščeno prav tako kot tudi ob desnem bregu potočka v višini 553 m obzidano, 5 m globoko zajetje manjšega stranskega pritočka. Ob nizki vodi je pretok manjši od enega litra, ob srednji vodi (merjeno 18. 3. 1974) je znašal 1 l/sek, le ob visokih vodah doseže do 3 l/sek.

Zahodno od požiralnika je dvoje manjših grezov. Voda, ki podzemeljsko priteka v potoček v samem breznu, se pojavlja tudi na dnu 17 m globokega Štrukljevega brezna.

Tretjo skupino tvorijo vodice in potoki okrog Belske žage in motela pri Erazmu.

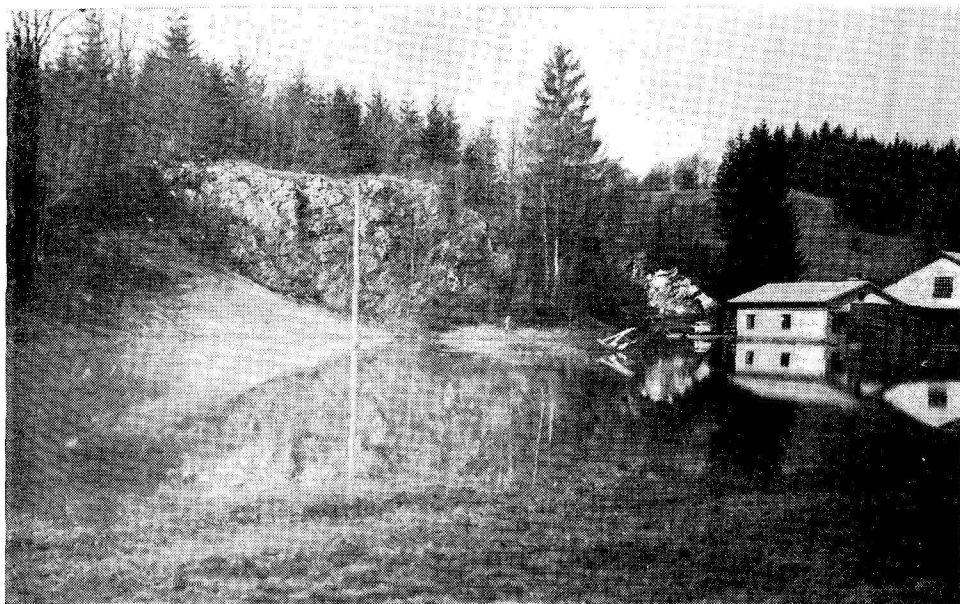
7. Osojščica

Edini stalni potok te skupine je Osojščica, ki ima povirje 560 m visoko v flišnem hrbtu južno od motela Erazem, kjer je razvodje med Osojščico in pritoki Nanoščice zahodno od Zagona. Z leve strani dobiva pritok, ki je aktiven le ob srednji in visoki vodi. 625 m dolgi potok je poleg Ponikev in Jelovca tu najmočnejši potok, saj daje tudi ob nizkih vodah, ko skoraj vsi drugi potočki presahnejo 1—2 l/sek, ob visokih vodah pa do 200 l/sek. Ozke ponorne razpoke (sl. 10) pod 3 m visoko apneniško steno ne morejo ob deževju sproti požirati vodnih mas in potok se napne v jezero (sl. 11), ki se prek 3 m visokega desnega brega preliva v nekdanjo ponorno jamo Osojco, le 20 m daleč od ponora. Ob nenadnih visokih vodah, ki nastopajo po večdnem deževju in zapolnijo vse podzemeljske odvodne kanale Osojščice, se napne voda v višje ležečih kanalih in prihaja na dan v bruhalnikih ob cesti med motelom in Belsko



Sl. 11. Sedanji ponor Belščice, zalit do vrha ob poplavi 17. 11. 1973. Voda se preliva v nekdanjo ponorno jamo Osojco

Abb. 11. Der jetzige Ponor des Baches Belščica, bei der Überschwemmung am 17. XI. 1973 zur Gänze überflutet. Das Wasser fließt in die Höhle Osojca, den ehemaligen Ponor des Baches



Sl. 12. Zalita Matičkova ograda. Voda prihaja delno iz bruhalnikov ob cesti in iz estavele na dnu Matičkove ograde

Abb. 12. Matičkova ograda beim Sägewerk Belska žaga, überschwemmt. Das Wasser bricht teils aus den Speilöchern an der Straße, teils aus der Estavelle am Grunde der Matičkova ograda hervor

žago. Levi bruhalnik zahodno od ceste je 135 m daleč od križišča cest na koti 531 m, desni pa leži niže vzhodno od ceste, 235 m daleč od križišča. Voda teče na obeh straneh ceste največ kak dan in presahne, ko se zniža jezerce pred ponorom Osojščice. Ob močnem deževju novembra 1973 smo izmerili pretoke Osojščice in bruhalnikov. Pri pretoku $1,5 \text{ m}^3/\text{sek}$ je bila temperatura vode $8,3^\circ \text{C}$. Levi bruhalnik je imel pretok $25 \text{ l}/\text{sek}$ in temperaturo $8,2^\circ \text{C}$, desni nižji pa $50 \text{ l}/\text{sek}$ in $7,4^\circ \text{C}$. Istega dne, 8 ur pozneje, pa sta imela bruhalnika le še 10 litrov, oziroma $1,5 \text{ l}/\text{sek}$ pretoka. Vode, ki teko iz bruhalnikov so tik ob desni strani ceste speljane v podzemeljski kanal, zgrajen pred 15 leti zato, da po njem odvajajo vodo pod Belsko žago v Belščico. Ker pa ob velikih nalivih kanal ne more požirati vseh voda, se le-te delno stekajo tudi v Matičkovo ogrado, ki se spremeni v občasno jezerce (sl. 12). Tako nastaja ob tem odtočnem kanalu umetna občasna bifurkacija med Jadranskim (Belščica) in Črnim morjem (Matičkova ograda).

8. Matičkova ograda

Ob apneniških stenah pri Belski žagi, kjer tone postojnska antiklinala pod fliš, se je v Matičkovi ogradi razvila v višini 523 m komaj 40 m dolga in nekaj metrov globoka dolinka, podobna plitvemu jarku (sl. 13), v čigar severozahodnem delu je 1 m globoka estavela, ki ob visokih vodah zapolni jarek z vodo. Kot že povedano,

se v to dolinko steka ob izredno visokih poplavih voda iz bruhalnikov, ki pa najkasneje v dveh dneh izgine. Aprila 1974 pa je lastnik vso dolinko zapolnil z nakopano zemljo. Za 8 m visoko navpično steno je vhod v višje ležečo nekdanjo ponorno jamo Jakobovo luknjo.

9. Kozarjeva ograda

Vzhodno od Matičkove ograde so v Grdih dolinah številni grezi, kjer ob poplavih nastopa voda. Tik ob meji med flišem in apnencem se svet v manjšem jarku dviguje in preide v dolinko, imenovano Kozarjeva ograda, dolga okrog 160 m. V njej



Sl. 13. Matičkova ograda pri Belski žagi. V ozadju navpične stene s teraso, na kateri je nekdanja ponorna jama Jakobova luknja

Abb. 13. Matičkova ograda beim Sägewerk Belska žaga. Im Hintergrund senkrechte Wände mit der Terrasse, auf der sich die ehemalige Ponorhöhle Jakobova luknja befindet

se pojavlja mala vodica le spomladi in jeseni ob velikem deževju. Njeni izviri so tik pod cesto v Studeno v višini 545 m, ponorna rupa pa v višini 532 m na meji z apnencem.

10. Požiralnik pri Osojci

K studenskim vodam, ki se odmakajo pod Postojnski kras, spadajo še trije občasni požiralniki zahodno od motela Erazem v Belskem. Najjužnejši med njimi je požiralnik pri Osojci, izdelan v plitvi flišni zajedi. Komaj 100 m dolgi občasni potoček izvira v višini 550 m in slepo konča v manjši rupi v višini 537 m.

11. Požiralnik za Erazmom

Nastaja ob izohipsi 550 m v širši, 200 m dolgi grapi in izginja tik za motelom pod 3 m visoko apneniško steno. Ob visokih vodah 7. 11. 1974 je imela dolinka okrog 10 l/sek.

12. Požiralnik v Trbežah

Komaj 80 m severno od Požiralnika za Erazmom je majhna flišna dolinka, ki se spušča z južnega pobočja Trbežev. Vodica se izceja v višini okrog 550 m in ponikuje v manjši rupi v višini 537 m.

Vsi trije občasni potočki nastajajo na pobočju flišnega hrbta, ki je podaljšek grebena »Na vrhéh« ob izohipsi 550 m in izginjajo v apnenčeva tla v višini 537 m. Smer vseh treh požiralnikov vodi pod zahodni rob Postojnskega krasa.

Vode s studenskega flišnega zatoka bi lahko razdelili v tri skupine: V prvo skupino spadajo potočki Jamnik, Ponikve in v Jelovcu. So najdaljši od vseh studenskih voda, njihovo povirje sega z višino do 570 m prav do vasi Studeno. Po površini, ki jo odmakajo, pomenijo najširše področje flišnega zatoka. Prvotno so vsi trije tvorili enotno porečje, ki je ustvarilo ob apnenčevem robu širšo do 540 m visoko uravnava. Za njimi so se v višji uravnavi razvile glavne jame tega področja, ob sedanjih ponorih pa manjše jame.

V drugo skupino bi uvrstili Kodelčev in Štrukljev jarek, ki sta po svojih dolinicah veliko krajša, izvirata v višini 555 m in ponikujeta od 538 do 537 m visoko. Ob njih se je razvila širša uravnava v nivoju 540 do 550 m. Za njimi ni na pobočju Suhega vrha jam, ob ponorih pa so številni grezi. Le v Štrukljevem jarku smo odkrili večjo ponorno jamo.

V tretjo skupino spadajo vsi potočki in občasni požiralniki ob Belski žagi in motelu. Ločeni so od gornjih dveh skupin po flišnem hrbtu Trebežev. Ponori vseh teh voda so usmerjeni pod apniško Polhovico (619 m), najzahodnejši del Postojnskega krasa. Ob ponorih ni nikjer dostopa v podzemlje, le ob Osojščici se je razvila nekdanja ponorna jama Osojca.

V četrto skupino odtočnih voda spada Studenska voda, ki odmaka zahodni del flišnega zatoka v porečje Belščice in s tem v jadransko povodje.

Nekatere hidrološke karakteristike studenskih voda

V splošnem nihajo temperature studenskih voda v toku letnih časov v odvisnosti od segrevanja celotnega področja. Opaziti pa je, da imajo potočki z globljimi izvirnimi kotanjami tudi v zimskem času, kljub zunanjim nižjim tem-

peraturam nekako med 4 in 6° C. Tako je imela voda v zajetju v Štrukljevem jarku dne 15. 1. 1973 ob 7. uri 5,8° C, medtem ko je bila zunanja temperatura na vremenski postaji v Postojni + 0,2° C. Istočasno smo v izvirnih kotanjah ob Jelovcu in Ponikvah namerili celo do 8,2° C. Tudi spomladanske temperature izvirov teh potočkov, merjene ob suši 18. 3. 1973, so znašale od 4,9° do 6,5° C, medtem ko so dosegale temperature izvirnih kotanj ob bregovih potoka Jelovca od 8,3 do 9,2° C.

Kemična analiza voda v flišnem zatoku ob zajetju vzorcev 1. 4. 1973, po daljši sušni dobi, je dala tele rezultate (izvršila jo je M. Zupan, dipl. ing. Hidrometeorološkega zavoda SRS v Ljubljani):

Št.	Objekt	t° C	Pretok l/sek	Karbo- natna trdota (nem.)	Totalna trdota	Ne- karbon.	CaO mg/l	MgO mg/l
1.	Korita	6,8	0,05	16,7	16,6	—	132,0	24,1
2.	Kotanja	5,9	zajetje	16,1	17,3	1,2	132,4	29,2
3.	Križnik	8,9	0,05	8,7	10,1	1,4	81,2	14,2
4.	Krnevče	6,2	zajetje	17,6	17,6	—	125,8	36,2
5.	Ponikve, izvirna kotanja	8,8	0,01	13,3	13,1	—	91,5	28,3
6.	Ponikve — potok	7,9	1,0	11,7	11,8	0,1	83,0	35,2
7.	Jamnik — ponor	5,1	0,2	15,8	15,8	—	99,0	42,4
8.	Potok v Jelovcu (kotanja)	9,2	0,01	11,9	12,0	0,1	92,5	19,8
9.	Potok v Jelovcu (ponor)	12,4	4,0	7,6	7,5	—	58,5	11,5
10.	Črni potok (ponor)	8,2	0,1	7,6	7,8	0,2	64,0	10,1
11.	Štrukljev jarek (ponor)	9,0	0,3	8,5	8,7	0,2	66,0	15,1
12.	Štrukljev jarek (rezervar)	6,6	zajetje	9,5	10,2	0,7	85,0	12,2
13.	Osojca — ponor	4,2	4,0	4,8	4,7	—	39,5	5,5

Iz tabele je razvidno,

1. da v sušni dobi presahnejo vsi zgornji deli potočkov prve in druge skupine. Tudi izvirne kotanje ob bregovih potočkov so povečini presahnile, le najgloblje so dajale neznatne vodice v obliki solzajev. Nad en liter pretoka so imeli le trije najmočnejši potoki Jamnik, Potok v Jelovcu in Osojca.

2. Za pitno vodo zajeti studenčki in izviri v Studenem (Korita, Kotanja, Krnevče in opuščeno zajetje v Štrukljevem jarku) so izkazovali sorazmerno nizke temperature od 5,9° C do 6,8° C, medtem ko so še delujoče izvirne kotanje ob bregovih potokov izkazovale od 8,8° C do 9,2° C. Med take kotanje je po svoji

visoki temperaturi (8,9° C) prišteti tudi Križnik, izvirno kotanjo potoka Jamnika. Za ta letni čas sorazmerno visoke temperature voda ob ponorih so posledica dotoka iz toplejših izvirnih kotanj. Kjer je ta presahnil, je potok izkazoval nizke temperature. To velja za Jamnik, ki je imel ob ponoru le 5,1° C in za Osojščico, ki nima izvirnih kotanj in kjer je temperatura vode ob ponoru znašala le 4,2° C.

3. Najvišje karbonatne trdote izkazujejo izviri in zajetja na stiku fliša in apnenca v najvišji legi v vasi Studeno (Korito, Kotanja in Krnevče od 16,1 do 17,6° NT), ki vsebujejo od 125,8 do 132,4 mg/l CaO. Presenetljivo visoko karbonatno trdoto je izkazoval potok Jamnik ob ponoru (15,8° NT), prav tako Ponikve. Tudi vse izvirne kotanje ob prvi skupini potokov kažejo veliko karbonatno trdoto od 13,3 ob Ponikvah do 11,9 ob Jelovcu.

Druga skupina potočkov (Črni potok in Štrukljev jarek) ima karbonatne trdote od 8,5 do 7,6° NT. Edini delujoči potoček v tretji skupini, Osojščica je samo flišna voda, saj je izkazovala izredno nizko karbonatno trdoto 4,8° NT (CaO 39,5 mg/l, MgO pa le 5 mg/l). Da bi ugotovili, kako se obnašajo ti potočki ob srednje visokih vodah, smo ob sodelovanju članov Hidrološkega inštituta Gradbene fakultete v Sarajevu vzeli ponovno vzorce vode za analizo, ki jo je izvedla prof. dr. N. Preka, za kar se ji na tem mestu zahvaljujemo. Vzorci so bili vzeti 4. 6. 1974, ko je vodostaj na Pivki kazal 186 cm (0,72 m³/sek) ob srednje-visoki vodi.

Št.	Merno mesto	Pre-tok	T° C	PH	Trdota			Kalcij mg/l	Mag-nezij mg/l	Klo-ridi mg/l
					skup-na CaCO ₃	kar-bonat. mg/l	ne-karb.			
1.	Križnik	0,04	9,7	7,38	169,2	141,1	29,1	60,8	4,13	5,5
2.	Kotanja	za-jetje	9,7	7,29	241,3	185,2	56,1	72,4	14,59	10,3
3.	Ponor Jelovec	1,65	11,3	7,87	146,8	115,8	31,0	45,2	8,02	4,9
4.	Ponor Ponikve	2,75	13,2	8,07	228,5	195,3	33,2	61,6	17,99	6,0
5.	Ponor Jamnik	2,09	13,6	7,97	267,3	225,3	42,0	71,6	21,70	4,8
6.	Ponor Črni potok	0,63	13,2	7,55	144,2	125,0	19,2	45,6	7,29	3,8
7.	Ponor Štrukljev jarek	1,26	11,5	7,82	163,1	135,1	28,0	52,8	7,54	5,6
8.	Osojščica	5,9	14,2	7,88	87,1	75,0	12,1	30,4	2,67	3,8
9.	Belski izvir	32,24	10,0	7,82	224,0	200,0	24,0	49,6	25,29	5,0
10.	Belščica pred sotočjem	7,77	16,5	7,81	186,0	150,0	36,0	60,0	8,75	7,5

Temperaturna merjenja so pokazala, da imamo v studenskem flišnem zatoku tri vrste voda:

1. Kraške vode, ki izvirajo na meji med dolomitom ali apnencem in flišem, izkazujejo tipične temperature kraških izvirnov od 9,7 do 10,0° C.

2. Flišni potočki, ki dobivajo spotoma ob svojih bregovih dodatne vode iz izvirnih kotanj, izkazujejo tudi v poletnih mesecih sorazmerno nižje temperature od 11,3 do 11,5° C. Sem spadajo že omenjeni potoki prve skupine.

3. Potočki druge skupine, ki ne dobivajo dodatnih vodnic in so različno dolgi, se tudi ob teku različno močno segrevajo in izkazujejo od 13,2 do 16,5° C.

4. Glede karbonatne trdote bi lahko razdelili potočke v več skupin. V skupino z največjo karbonatno trdoto bi prišteli potoka Jamnik in Ponikve, ki ležita neposredno ob apniškem grebenu Grič in Belski izvir izpod apniške stene v Belskem. V skupino s srednjo karbonatno trdoto od 115 do 135 mg/l imajo potočki Jelovec, Črni potok in Štrukljev jarek, ki imajo izvirno področje v osrednjem delu flišnega zatoka, najnižjo trdoto pa izkazuje Osojščica, ki dobiva svojo vodo samo iz flišnega hrpta, ki loči pritoke Nanoščice od potočkov v Podgori.

Nastaja vprašanje, kam odtekajo vse studenske vode, ki hite pod rob Postojnskega krasa. I. Michler (poročilo o barvanju ponikalnice pri Studenem 5. 6. 1954 je v arhivu Inštituta za raziskovanje krasa SAZU v Postojni) je pri raziskovanju podzemeljske Pivke ugotovil, da dobiva le-ta v dotlej pristopnih predelih z leve strani razen pritoka Črni potok še en pritok, ki se izliva 80 m pred odtočnim sifonom v pivškem podzemeljskem sektorju v glavno strugo. Pritok je vidno aktiven samo v deževni dobi. Da bi ugotovil, ali je pritok v zvezi s potokom, ki teče od Studenega proti jugu k podzemeljski Pivki, je dne 5. 6. 1954 obarval potok v Jelovcu z 0,75 kg uranina. Po njegovih podatkih je znašal takrat pretok potoka 40 do 45 l/sek, zračna razdalja med odtočnim sifonom v ponorni jami v Jelovcu in pritokom v Pivki jami pa 2,25 km do 2,5 km. Višinska razlika med ponorom in izvirom bi znašala 55,5 m (ponor v Jelovcu 537,5 m, pritok v Pivki jami pa 482 m), kar da strmec 24 ‰. Z opazovanjem so pričeli ob 12,30, prenehali pa že ob 15,30. Seveda se v tako kratkem času ni mogla pojaviti obarvana voda, posebno če vzamemo, da je A. Šerko ugotovil pri majhnih kraških vodica pri nas (1946, 128) hitrost od 1,6 do 2 cm/sek. Tako bi potrebovala po naših računih voda za razdaljo 2,3 km najmanj 64 ur. Že ob svojem poročilu je I. Michler prikazal kot glavni vzrok neuspeha barvanja prekratek čas opazovanja, obenem pa postavil možnost, da se ta voda izliva v podzemeljsko Pivko nekje niže za odtočnim sifonom v Pivki jami.

Ponovno barvanje istega potoka je izvršil I. Michler od 22. do 24. 2. 1957. Takrat je ocenil pretok v Potoku v Jelovcu pred ponorom na 70 l/sek, kar smatramo za pretirano, saj je potok celo v času velikega deževja in topljenja snega 14. 4. 1973 dajal le 10 l/sek. Obarvanje je izvršil z 2.250 kg fluoresceina. Ponovno sta bila opazovana oba pritoka v podzemeljski Pivki. Opazovanje pa je trajalo le 45 ur, kljub temu, da so izkušnje že pri prvem barvanju pokazale, da je za to potreben daljši opazovalni čas. Med vzroki neuspeha drugega barvanja navaja I. Michler prehitro prenehanje opazovanja, ker so na tej podzemeljski poti »ozki prehodi, skalne stopnje, sifoni in ključi, ki ovirajo hiter pretok.« Tudi ob drugem barvanju ponovno naglašja možnost, da se potok izliva v podzemeljsko Pivko nekje za odtočnim sifonom Pivke.

Opazovanja so pokazala, da pritok v podzemeljski Pivki ni voda, s flišnega ozemlja pri Studenem, temveč le stranski pritok Pivke, ki se od glavne struge odcepi nekje med levim pritočnim sifonom in mostom čez Pivko. Za to domnevo govore tudi enake temperature Pivke in pritoka, medtem ko so trdote vode

različne. Tudi drugi pritok v podzemeljski Pivki je dajal kljub sušnemu vremenu še vedno $0,5 \text{ m}^3/\text{sek}$, kar izključuje možnost, da bi bila to voda potoka v Jelovcu, ki daje celo v visokih vodah le okrog $10 \text{ l}/\text{sek}$.

Da bi se rešilo vprašanje odtoka voda s flišnega ozemlja pri Studenem, predlaga I. Michler sledeče:

1. Ves flišni rob vzhodno in južno od Studenega naj se podrobno razišče.
2. V deževni dobi naj se vsaj približno ugotovi količina vode pri vseh izvirih in ponikvah pod Studenim.
3. Ponovno barvanje naj se izvede pri visoki vodi v Ponikvah in opazuje pritok št. 2 v Pivki jami.

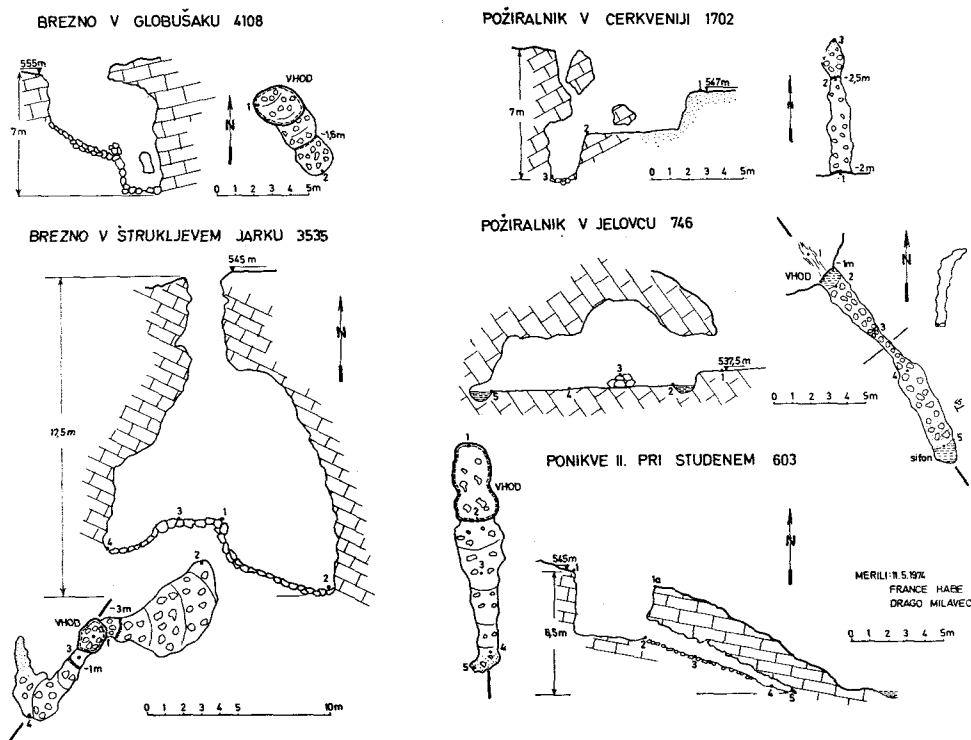
Pritoka v podzemeljski Pivki, tako št. 1 kakor št. 2 sta dajala veliko več vode, kot jo daje ves pritok s studenskega ozemlja. Kljub negativnemu rezultatu pa sta po I. Michlerju izvedeni barvanji dali vsaj ta pozitiven rezultat, da so v podzemeljski Pivki poznani pritoki brez zveze z vodami pri Studenem. Ker že sama geološka situacija pogojuje edini možni odtok proti podzemeljski Pivki, je realna trditev, da studenske vode ubirajo svojo podzemeljsko pot ob studenski sinklinali in se izlivajo v podzemeljsko Pivko nekje za nedostopnim odtočnim sifonom v Pivki jami.

Od nameravanega poskusa ponovnega barvanja Potoka v Jelovcu s 5 kg fluoresceina smo morali odstopiti, ker je po sklepu priprav za 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda v letu 1976 prepovedan vsak predhodni poskus barvanja na področju voda, ki se stekajo v podzemeljsko Pivko.

Po R. Gospodariču (1965, 151) so rovi podzemeljske Pivke v jugozahodnem krilu studenske sinklinale 150 m pod površjem. Tu ni udornic in drugih morfoloških znakov, da bi vsaj približno spoznali, kje naj bi potekal glavni rov. Prav v tem delu naleti voda na sklade smeri NW—SE, ki vpadajo proti njenemu toku; zaradi tega se najbrž voda obrne v nakazano smer. Od severozahoda pri teka v Pivko še voda iz flišnega zatoka pri Studenem in iz dolomitnega ozemlja. Sama reka pa teče verjetno v enotni, a nizki in široki strugi med mnogimi sifoni proti jugovzhodu. Na svoji nadaljnji poti premaga neskladovite apnenice z roženci, ki jo zadržujejo. Iz cikcakaste smeri NW—SE (smeri prelomov in lezik) ter NE—SW (smeri razpok in prelomov) izhaja vzhodna smer vodnega toka, ki se pokaže v Planinski jami ob neskladovitem cenomanskem apnencu (R. Gospodarič 1965, 151).

Prav gotovo pa najdejo te studenske vode hitro pot v neznane dele podzemeljske Pivke, saj zaidejo po mnenju R. Gospodariča (1965, 152) vodni rovi najbrž precej daleč proti severu v predel Bukovca južno od Strmaškega polja. Speleološka raziskovanja ob severnem robu Postojnskega krasa, zlasti še Beloglavke, so pokazala, da se vse vode obračajo proti jugu in teko po manjših zelo razčlenjenih rovih v podzemeljsko Pivko. Na izredno počasno pretakanje voda od odtočnega sifona v Pivki jami do Pivkinega rokava Planinske jame (razdalja 2050 m) kaže tudi obarvanje tega odseka, ko se je pokazalo, da je voda potrebovala za to pot 15 ur (A. Šerko 1946, 137), kar je skoraj dvakrat več kot bi jo porabila v zračni razdalji.

V celem predstavljajo torej studenske vode le neznaten del v pretoku Pivke, saj so ob srednjih vodah dajali potočki le okrog $60 \text{ l}/\text{sek}$, medtem ko je imela Belščica okrog $100 \text{ l}/\text{sek}$ pretoka.



Sl. 14. Načrti jam: Požiralnik v Cerkveniji, Ponikve II pri Studenem, Požiralnik Potoka v Jelovcu, Brezno v Globušaku, Brezno v Štrukljevem jarku

Abb. 14. Pläne der Höhlen: Saugloch in der Cerkvenija, Ponikve II bei Studeno, Saugloch Požiralnik v Jelovcu, Schacht Brezno v Globušaku, Schacht Brezno v Štrukljevem jarku

V studenskem flišnem zatoku pa je interesantna hidrološka posebnost površinske in podzemeljske bifurkacije med vodami jadranskega in črnomskega povodja. Nastopa le ob visokih vodah, ko se dvignejo vode v podzemeljskih kanalih pred Belsko žago do občestnih bruhalnikov, ki odvajajo vodo v Belščico, medtem ko nizke vode odteka v sistem podzemeljske Pivke.

Jamski svet

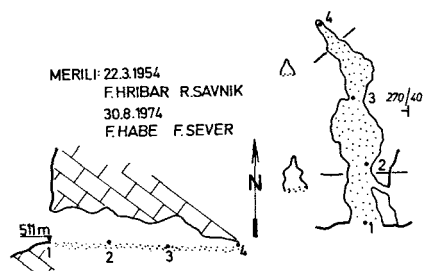
Kot je znano, so jame na obrobju Pivške kotline raziskovali vse od prve polovice 19. stoletja. Podzemeljski svet ob njenem severnem kraju, ob Podgori, je bil raziskan v letih 1952 do 1970 (F. H a b e 1970), medtem ko se jame južno od studenskega flišnega zatoka prvič omenjajo v raziskavah šele v raziskovalni nalogi Speleološka karta, Vrhnika 2 c (Inštitut za raziskovanje krasi SAZU, 1973, tipkopis). Naše sistematične raziskave so dopolnile »osnovne podatke speleološke karte«.

Prve raziskave tega podzemlja je izvršil I. Michler 1949. in 1958. leta, vendar pa so bile smeri jam merjene le z navadno busolo, dolžine pa le cenjene. Naše raziskave so odkrile nove dele jam. Tako se je dolžina raziskane jame Beloglavke povečala od 60 m na 344 m, Jama I v Grapi pa od prvotnih 50 m, raziskanih za časa Italije (Duemila Grotte, 1926, 196) na 1319 m. Raziskane so bile jame v Bezgovcu in na novo odprta požiralniška jama Štrukljev jarek.

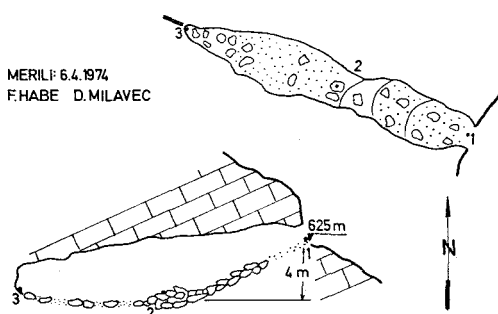
Opisi posameznih jam so razporejeni v dve skupini:

1. jame ob sedanjih ponorih, ki si sledijo od vzhoda proti zahodu,
2. jame — nekdanji požiralniki — v višjih nivojih.

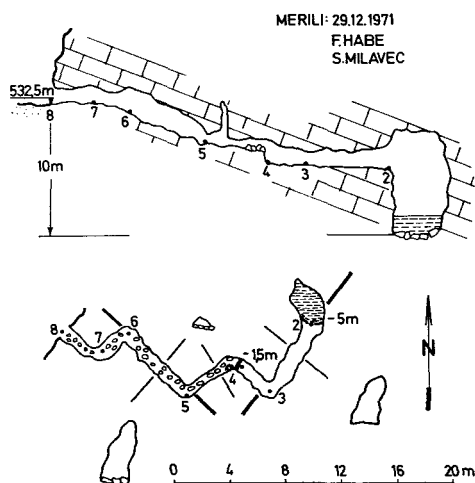
JAMA II.V GRAPI 1018



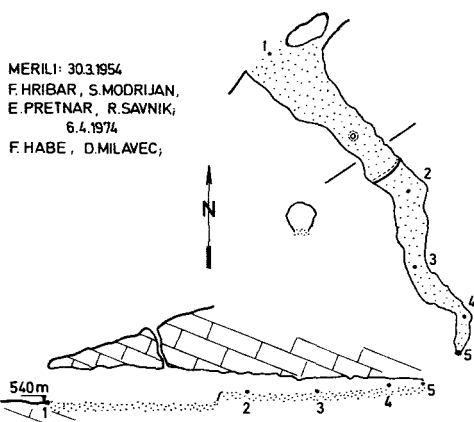
KUROVCA 3633



PONIKVE I. PRI STUDENEM 1688



JAKOBOVA LUKNJA



Sl. 15. Načrt jam: Ponikve I pri Studenem, Jama II v Grapi, Jakobova luknja, Kurovca
Abb. 15. Pläne der Höhlen: Ponikve I bei Studeno, Jama II v Grapi, Jakobova luknja, Kurovca

1. Požiralnik v Cerkvoniji, kat. št. 1702, (sl. 14)

Po osnovni državni karti 1 : 5000, Postojna - 33

x - 75 035	globina 6 m
y - 37 375	dolžina 7,5 m
z - 547 m	

V najjužnejšem delu Platojev se je na koncu 70 m dolgega suhega žleba razvil na stiku fliša in apnenca majhen požiralnik ob severo-južni razpoki. Začetek neznatne dolinke je v višini 547 m, dno pa leži na višini 543 m. Pod 6 m visoko navpično steno se preko majhnega naravnega mosta spusti ponorna jama 3 m globoko. Komaj dva metra dolga jamska razpoka je zadelana z gruščem, skozi katerega se ob srednji in visoki vodi pretaka majhna vodica, kot smo to ugotovili po daljšem deževnem obdobju 28. 11. 1973. Voda se odteka v smeri severno-južne razpoke (sl. 14)

2. Ponikve I pri Studenem, kat. št. 1688 (sl. 15)

Po osnovni državni karti 1 : 5000, Postojna - 32

x - 75 100	globina 10 m
y - 36 825	dolžina 27,5 m
z - 532,5 m	

Ponorna jama deluje kot požiralnik le, kadar imata potočka Jamnik in Ponikve, ki sicer ponikata vsak zase, toliko vode, da dosežeta vhod v jamo. To se zgodi takrat, kadar imata potočka več kot 2 l pretoka na sekundo.

I. Michler je imenoval jamo »Ponor vzhodno od jame Beloglavke« (zapisnik v arhivu Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, 11. 8. 1949). R. Savnik govori o »Požiralniku Divjega potoka« (zapisnik v Inštitutu za raziskovanje krasa SAZU).

Poldrugi meter visoki vhod je zadelan z dračjem in flišnim peskom. V prelomnih razpokah NW—SE in NE—SW smeri izdelan ponorni rov dosega ponekod do dva metra višine in poldrug meter širine. Prečni profili so erozijski (sl. 16) in močno razjedeni po koroziji. Jama se zaključuje s 7 m visokim, 4 m dolgim in 2 m širokim prostorom s sifonsko kotanjo globine 3,5 m. V njej voda nikdar ne presahne.

3. Ponikve II pri Studenem, kat. št. 603 (sl. 14)

Po osnovni državni karti 1 : 5000, Postojna - 32

x - 75 035	globina 6,5 m
y - 36 780	dolžina 13 m
z - 545 m	

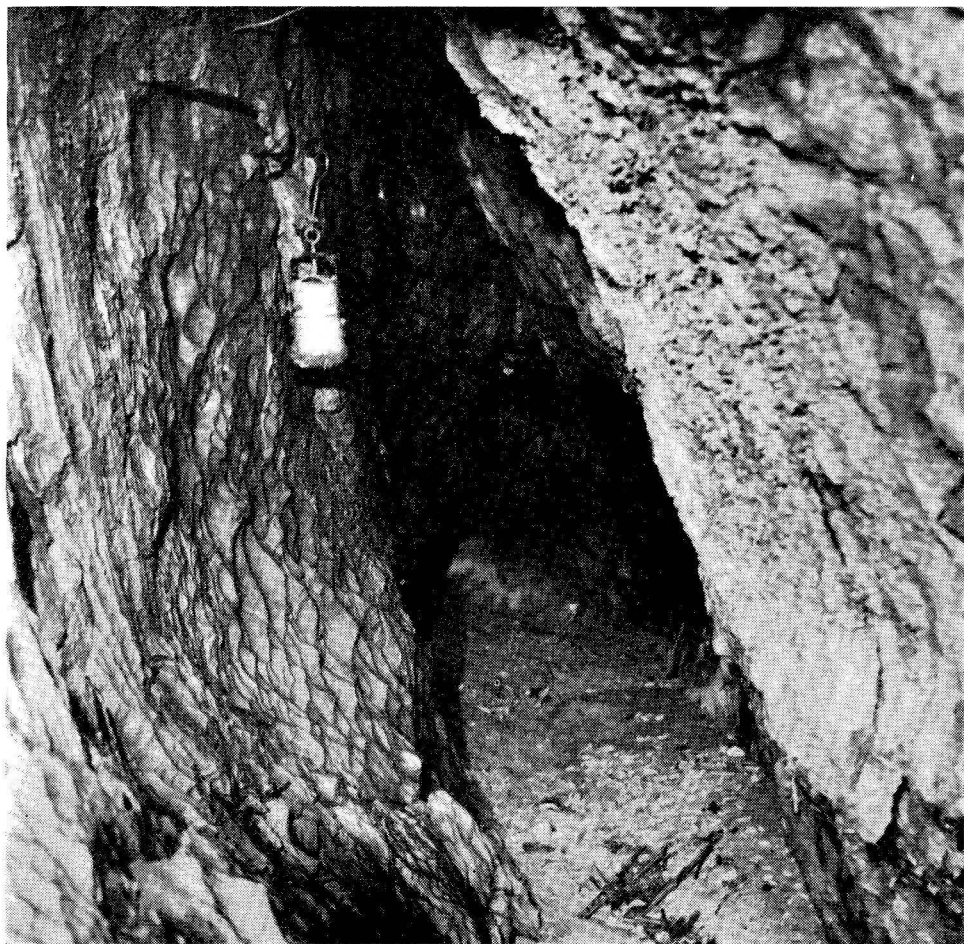
Jama se odpira s 3,5 m globokim in 4 m dolgim, močno po koroziji razjedenim vodnjakom, ki prehaja nato v komaj 1 m visok in 1 m širok rov. Jama je ustvarila voda, ko je vtekala vanjo v višini 545 m. Njena južna stena je zatrpana z gruščem, flišnimi prodniki in ilovico. Erozijske kotlice v ozkem rovu kažejo na to, da je voda ob zniževanju nivoja našla pot proti jugu in začela ponirati le dober meter nad sedanjim nivojem struge ob Ponikvah I. Sedaj je ozki rov na severnem kraju neprehoden.

4. Požiralnik v Jelovcu, kat. št. 746 (sl. 14)

Po osnovni državni karti 1 : 5000, Postojna - 32

x - 74 945	globina 2 m
y - 36 615	dolžina 14 m
z - 537,5 m	

(opomba: x, y so geografske koordinate, z nadmorska višina)



Sl. 16. Tip vodnega rova Ponikev v razpoki

Abb. 16. Typus eines Wasserkanals der Ponikve in einer Spalte

Ponorna jama je izdelana ob lokalni prelomni razpoki NW—SE, kjer slemenijo skladi v dinarski smeri in vpadajo v kotu 45° proti severovzhodu. Takoj za 2 m visokim vhodom pada potoček prek 1 m visokega praga v pol metra globok tolmun (sl. 17). Celoten rov je izrazito erozijski, visok v začetnem delu do 4 m, v končnem pa 3 m. Stene in strop so izoblikovani v ostrih, nožastih oblikah, tla pa prekriva apneni grušč, pomešan s flišnimi prodniki in glino. Na kraju se strop spusti v komaj meter visoko sifonsko kotanjo, iz katere odteka voda v neznano podzemlje. Ponorna jama je vodno aktivna tudi takrat, kadar presahnejo vsi potočki studenskega flišnega zatoka.



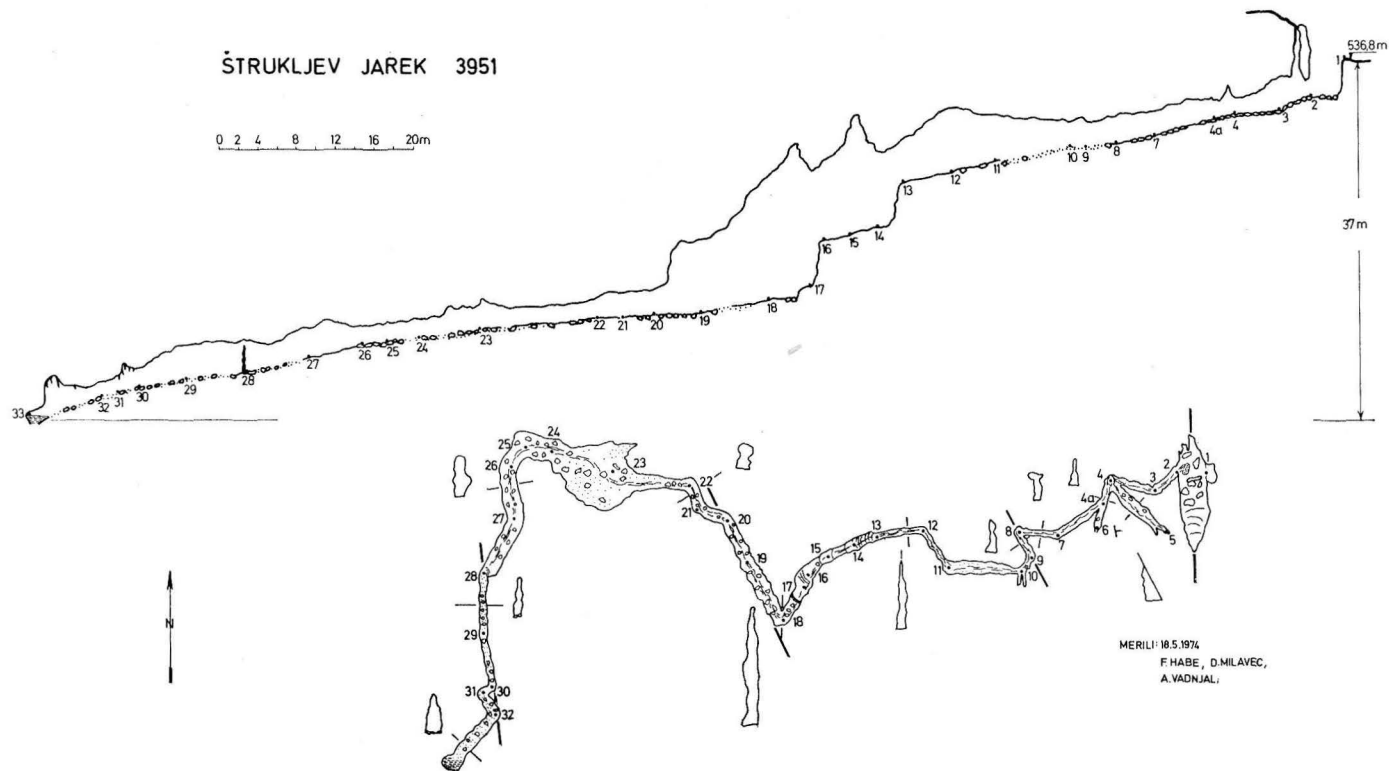
Sl. 17. Vhodni rov ponorne jame Potoka v Jelovcu
 Abb. 17. Eingangskanal der Ponorhöhle des Baches Potok v Jelovcu

5. Štrukljev jarek, kat. št. 3951 (sl. 18)

Po osnovni državni karti 1 : 5000, Postojna - 32

x - 74 735	globina 37 m
y - 35 890	dolžina 146 m
z - 536,8 m	

Koncem slepe doline Štrukljev jarek se odpira 4 m globoko in 9 m dolgo vhodno brezno, nastalo ob manjši drsi severno-južne smeri. Z odstranitvijo raznega odpadnega gradiva, zmetanega v brezno, se je odprla 146 m dolga ponorna jama. Takoj za vhodno drsno steno je izdelala voda v stropu, ki sega do površja, 6 m visok kamin. Ozek komaj 1 m širok in do 3 m visok rov v zahodni smeri je izredno razrezan,



Sl. 18. Načrt: Štrukljev jarek
Abb. 18. Plan des Grabens Štrukljev jarek

ves v ostrih erozijskih nožih. Glavnemu rovu se pridruži 8 m dolg stranski prostor, izdelan ob drsi dinarske smeri. Pri točki 8 zavije rov v ostrem kolenu proti jugovzhodu ob prelomni razpoki ter se takoj zatem obrne zopet v vzhodno smer. Prečni profili kažejo na izrazito mlado jamo. Rov je širok tod le do 1 m in visok do 6 m. Tla so vse do točke 11 prekrita s flišnim prodrom in glino. V nadaljnjem delu je jama izprana v gladki skali. Pri točki 13 se prevesi rov v 4 m globoko stopnjo (sl. 19), ki se po 6 metrih ponovno spusti 4 m globoko. Pri točki 18 dosega rov komaj 1 m širine, izdelan v 12 m visoki razpoki. Tod se obrne rov v ostrem kolenu ob drsi v dinarsko smer v dolžini 20 m. Prečni profil kaže, da se začenja jama tod širiti in nižati ob prehodu v večji, skoraj 20 m dolgi in do 6 m široki prostor, na oblikovanje katerega sta vplivala dva faktorja: po številnih prelomnih razpokah razrahljana kamnina in zastajajoča voda, ki pušča v tem prostoru flišno glino in prod. Vse do konca tega dvoranskega prostora potekajo rovi cikcakasto ob robu kredne plošče v zahodni smeri, tod pa se v ostrem kolenu obrnejo proti jugu, izdelani ob severno-južno potekajočem prelomu. Na prelom kažejo tudi ozki in visoki prečni profili (sl. 18). V zaključnem, proti jugozahodu obrnjenem delu jame se strop spusti v 1 m globoko sifonsko kotanjo.

V jami se stekata dva potočka: potoček Štrukljevega jarka, ki ob nizkih in srednjih vodah ponikuje v strugi pred jamo in doseže z vrha jamo le ob visokih vodah in vodica, ki priteka iz stranskega rova (točka 5—4). Voda se pojavi najprej na dnu vhodnega brezna, nakar ponikne in se pojavi šele ob sotočju obeh vodici pri točki 4, kjer je majhen tolmun. Od tod teče potoček skozi vso jamo in pada preko obeh stopenj v spodnji del jame. Pretok teh voda je v sušni dobi manjši od 1 l/sek, ob srednjih oziroma visokih vodah pa doseže od 1 do 3 l/sek.

Kapniškega bogastva v jami skoraj ni. Edina omemba vredna zasigana mesta so pri točki 17 in delno tla dvoranskega prostora med točkama 23 in 24 ter zaključni del jame, kjer so se na stropu razvili manjši stalaktiti.

Strukturno je jama izredno zanimiva. Zapovrstjo si slede smeri prelomov in lezik v dinarski smeri (NW—SE). Ob večjih drsah, kot je to slučaj med točkama 4 in 5 se je razvila tektonska breča. V jami pa je opaziti tudi razpoke in prelome smeri NE—SW, kot jih ugotavlja R. Gos pod a r i č v jugozahodnem krilu studenske sinklinale. Iz obojih smeri se je razvila cikcakasta smer podzemeljskih prostorov, kot smo v malem opazili že v Jami I v Ponikvah. Vhodni in zaključni deli jame pa so razviti ob severno-južnih prelomih. Prečni profili kažejo na izrazito mlado tvorbo rogov, saj so pri njih razmerja med višino in širino povprečno 1:3 ali celo več.

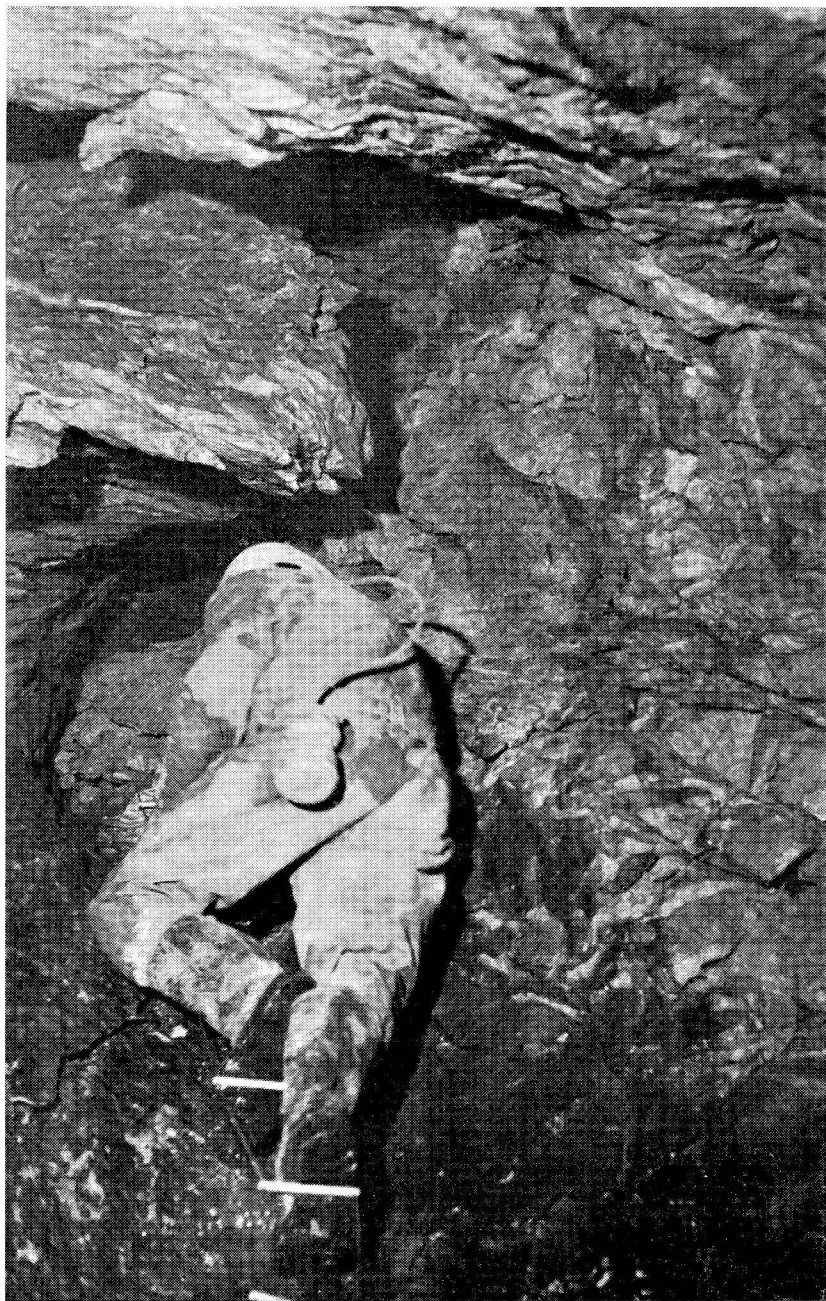
V neposredni bližini se je razvila vrsta grezov, eden od teh pa celo v manjše 17 m globoko brežno.

6. Brežno v Štrukljevem jarku, kat. št. 3535 (sl. 14)

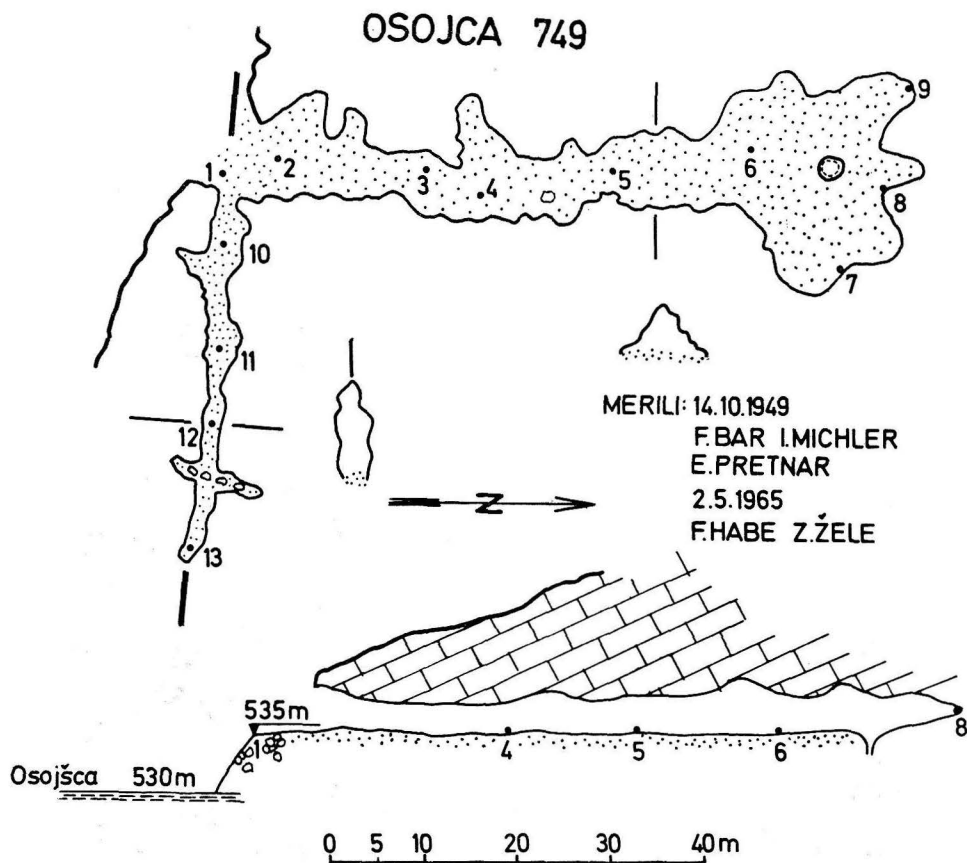
Po osnovni državni karti 1 : 5000, Postojna - 32

x - 74 735	globina 17,5 m
y - 35 760	dolžina 14 m
z - 545 m	

Vhodna odprtina brezna s premerom 2 m je ovalne oblike. Pri 5 m globine se brežno zvonasto razširi v večji prostor, izdelan v smeri razpoke NW—SE. Stene brezna so močno krušljive in korozijsko razjedene. V zvonastem delu sta nastala ob stenah dva do 6 m visoka kamina, v katerih so vidne razpoke, ki segajo skoraj do površja.



Sl. 19. Ozek, skalnat erozijski rov v Štrukljevem jarku ob 4-metrski stopnji
Abb. 19. Schmalere, felsiger Erosionskanal im Graben Štrukljev jarek
längs der 4 Meter hohen Stufe



Sl. 20. Načrt Osojce
Abb. 20. Plan der Höhle Osojca

V osrednjem delu brezna tik pod vhodno odprtino je 3 m visoki stožec podornega grušča, ki kaže, da je vhodna odprtina sekundarnega značaja. Skoraj 18 m dolga jama je delo majhne vodice, ki se skozi dno jame odmaka pod podornim gruščem v smeri proti Štrukljevemu jarku.

V dnu brezna je bilo ob našem obisku 1958. leta polno mrhovine, ki so jo kmetje zmetali v jamo že v italijanski dobi. Vseeno pa je bil takrat še možen dostop v jamo. Zdaj (1974) pa je brezno do vrha zadelano z vsem mogočim odpadnim gradivom in zato nedostopno.

7. Osojca, kat. št. 749 (sl. 20)

Po osnovni državni karti 1 : 5000, Postojna - 32

x - 74 100

globina —

y - 35 042

dolžina 110 m

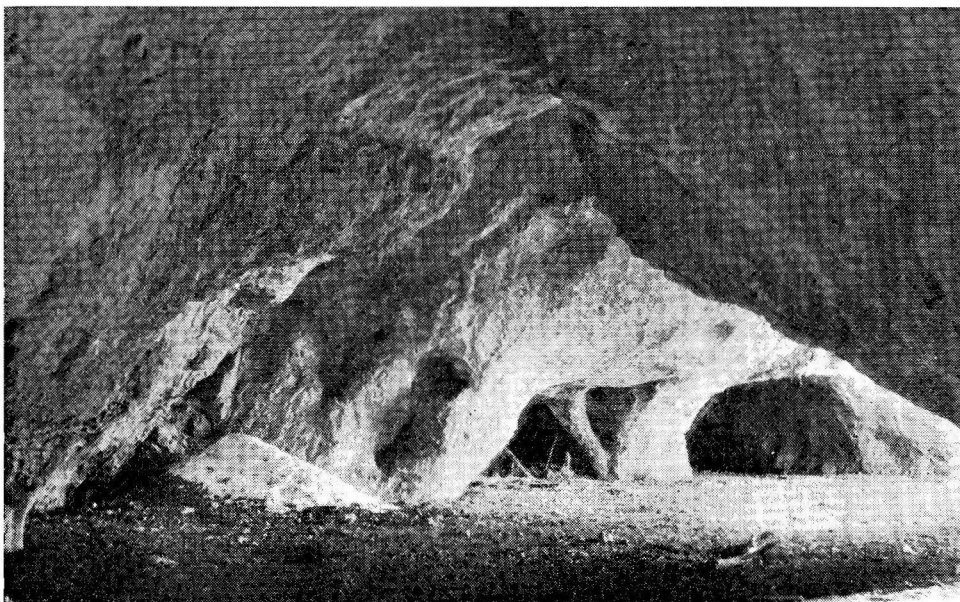
z - 535 m

8 m široki in 4 m visoki vhod je izoblikovan v breči. Glavni rov poteka 70 m daleč, širok je poprečno 5 do 8 m in visok 2 do 3 m. Ob zahodni steni rova je troje krajših vdolbin. Večja stranska vdolbina pri točki 4 vodi na površje. V vsej vzhodni steni glavnega rova je več velikih erozijskih kotlic (sl. 21), ki kažejo na to, da je jama nekdanj vršila funkcijo večjega požiralnika. Na kraju prehaja Glavni rov v večji dvoranski prostor, širok 20 m in visok do 5 m. Rov se pahljačasto zaključí v več manjših stenskih vdolbinah.

Na vzhodni strani vhoda se odcepi 40 m dolg stranski rov, širok v začetku 3 m, na kraju pa 1,5 m. Izdelan je ob lokalni zahodno-vzhodni prelomni razpoki in dosega višino do 8 m. Prečni profil in številne erozijske kotlice kažejo na vodni rov. Tla obeh rogov so prekrita s flišno glino. Ob izredno visokem vodnem stanju potok Osojščica ne more požirati vseh voda, ki se prelivajo v jamo. Ob taki situaciji začne na najnižjem mestu jame za točko 6 delovati bruhalnik. Ob jesenskih poplavih 1974. leta je zalivala voda jamo do višine 1 m. Ob upadanju ponikne voda v že omenjenem bruhalniku. Glavni rov je izdelala voda v leziki, stranski rov pa ob prelomni razpoki.

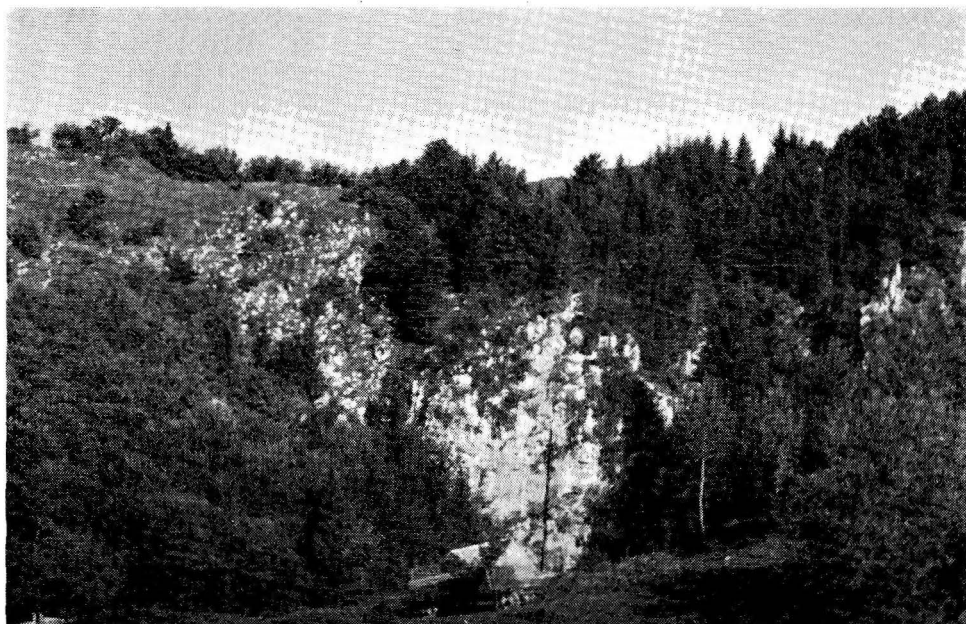
Viri: L. Bertarelli & E. Boegan (1926, 272)

Osnovna speleološka karta Vrhnika 2 c.



Sl. 21. Erozijski profil vhodnega dela nekdanje ponorne jame Osojce (kat. št. 749). Zanj so značilne velike erozijske kotlice. Na skrajni desni je vhod v prelomni Vzhodni rov

Abb. 21. Erosionsprofil des Eingangsteiles der ehemaligen Ponorhöhle Osojca (Katasterzahl 749) mit großen Erosionskolken. Die Öffnung ganz rechts ist der Eingang des Ostganges



Sl. 22. Zaključek slepe doline Grapa pod Bukovjem, kjer ponikuje Belščica
 Abb. 22. Sacktal Grapa unterhalb des Dorfes Bukovje mit der Schwinde des Baches Belščica

8. Jama I v Grapi, kat. št. 1017 (pril. 2)

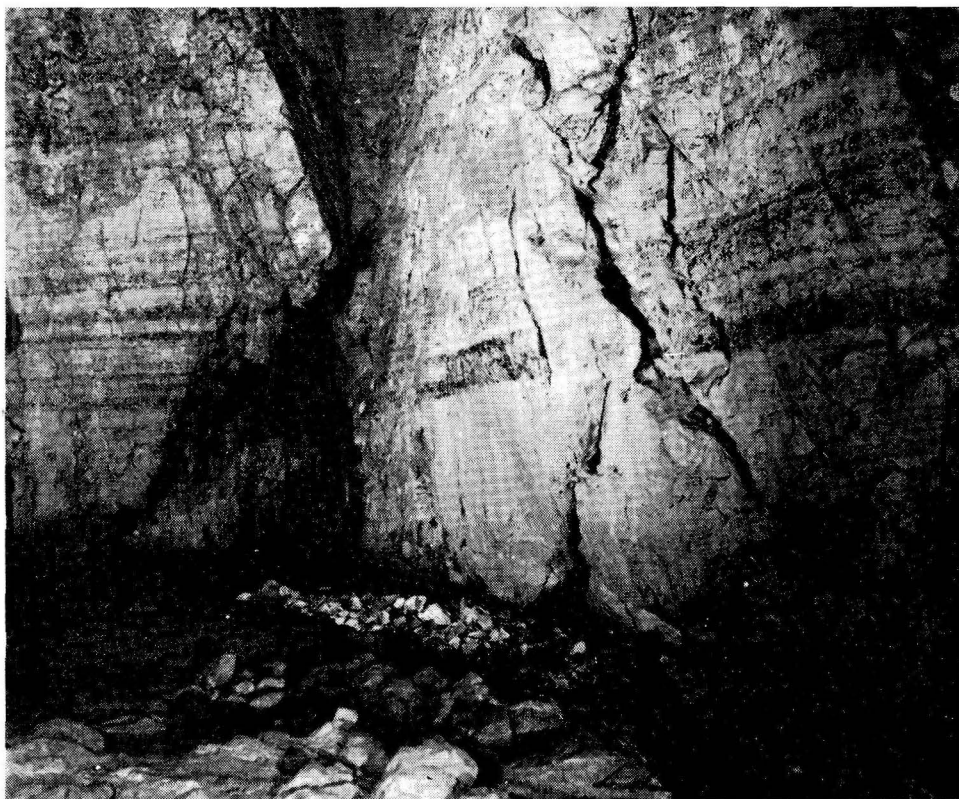
Osnovni podatki po »Osnovni speleološki karti Vrhnika 2 c, 1 : 25 000«

x : 75 750	globina 14 m
y - 33 925	dolžina 1319 m
z - 506 m	

Zaradi sifonskih zapirach v vhodnem delu jame je mogoče prodreti vanjo le ob velikih sušah. Italijanski jamarji so jo poznali le v dolžini 40 m, slovenskim jamarjem in angleškemu potapljaču M. Boonu se je posrečilo v letih 1951—1964 raziskati 914 m. Na osnovi teh raziskav je bila jama prvič nepopolno opisana 1965. leta (F. Habe 1965, 65—67). Izredno nizka voda poleti in jeseni 1971 pa je omogočila točne meritve in nadaljni prodor v nove jamske dele.

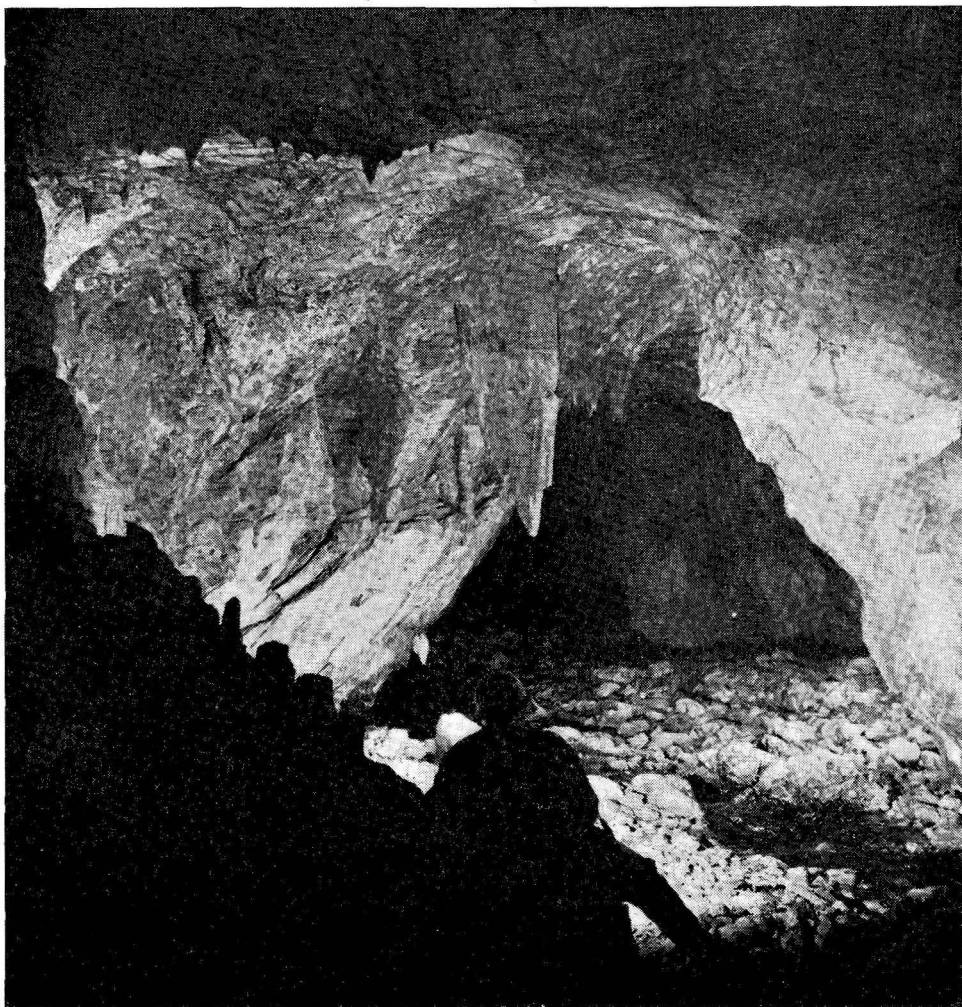
Pod 40 m visoko navpično steno iz zgornjekrednih neskladovitih apnencev se odpira vhod v jamo (sl. 22), izdelan ob lokalni razpoki smeri NNE—SSW. Nizek, ponekod le meter visok in do 5 m širok rov ob dveh vzporednih prelomih dinarske smeri zapira pri točki 5 navpična drsna ploskev, pod katero je le 2 m širok in 35 cm visok prehod. Ta ožina deluje ob visokih vodah kot sifonski zapirach, pred katerim so turbulentne vode ustvarile večji do 5 m širok in 3 m visok prostor s številnimi stenskimi in globokimi stropnimi kotlicami. Stene in strop so zasigani in na debelo prekriti s poplavno glino, tla so prekrita z debelim gruščem in flišnimi prodniki. V skrajnem severnem kotu tega prostora je do 2,5 m visok stožec naplavljenе glin in flišnih prodnikov. Od tod zavije rov v južnozahodno smer in poteka

v glavnem v isti smeri vse do raziskanega odtočnega sifona pri točki 40. Za prelomom pri točki 8 se rov razširi v večji prostor višine do 7 m, nakar se zopet zniža na 1 m višine do točke 11, kjer preide v 90 m dolgo, 20 m široko in do 10 m visoko Dolgo dvorano. Ta največji jamski prostor je nastal ob dveh večjih prelomih. Prvi je v dinarski smeri ob začetku dvorane, drugega pa tvorita drsi ob severni steni pri točki 13 (sl. 23). Dvoranski prostor se dvigne ponekod skoraj do 20 m. Ob južni steni dvorane je v vsej dolžini odložena flišna glina, ki je ponekod prekrita s sigo in stalagmiti (sl. 24). Strop je zasigan, na velikem stalaktitu in stenah pa so vidne marke poplavnih voda do višine 6 m. Medtem ko je severna stena dvorane od točke 13 dalje skoraj navpična in nezasigana, je južna stena močno zasigana. Ob točki 14 preide dvoranski prostor v ožji 5 m širok rov, ki prehaja v Dvorano ob so-točju (sl. 25). V njej se združujeta potoka Belščice in Severnega rova. 35 m dolga,



Sl. 23. Drsne ploskve ob prelomu v Dolgi dvorani Jame I v Grapi. Na stenah so vidni zaznamki nekdanjih visokih voda, ki so dosegale do 6 m višine, ko je zaradi zatrpanja Odtočnega kanala zastajala voda. Danes voda nikdar ne seže tako visoko

Abb. 23. Harnischflächen im Langen Saal (Dolga dvorana) der Höhle Jama I v Grapi mit Merkzeichen ehemaliger hoher Gewässer (bis zu 6 m Höhe) an den Wänden, wobei sich das Wasser infolge Verrammung des Abflußkanals aufstaute. Jetzt steigt das Wasser nicht mehr so hoch



Sl. 24. Do 6 m visoki sedimentni stožec grušča, flišnega peska in gline ob levi strani Dolge dvorane, prekrit s sigo in stalagmiti

Abb. 24. Bis 6 m hoher Sedimentkegel aus Schutt, Sand und Lehm an der linken Wand des Langen Saals (Dolga dvorana) der Höhle Jama I v Grapi, von Sinter und Stalagmiten überdeckt

do 15 m široka in do 8 m visoka dvorana se je razvila ob drsi NNE—SSW in prelomu dinarske smeri, v kateri je izdelan začetek Severnega rova. Strop je delno zasigan, tla pa so prekrita z gruščem, prodrom in flišno glino. Pri točki 17 se rov obrne proti jugu vse do točke 19, kjer se zasigani strop spusti do vodne gladine. Rov pred tem drugim sifonskim zapiranjem je na debelo prekrit s flišnim peskom in glino. Sifonska kotanja doseže največjo globino z 1,6 m in popolnoma zapre vsako nadaljnje

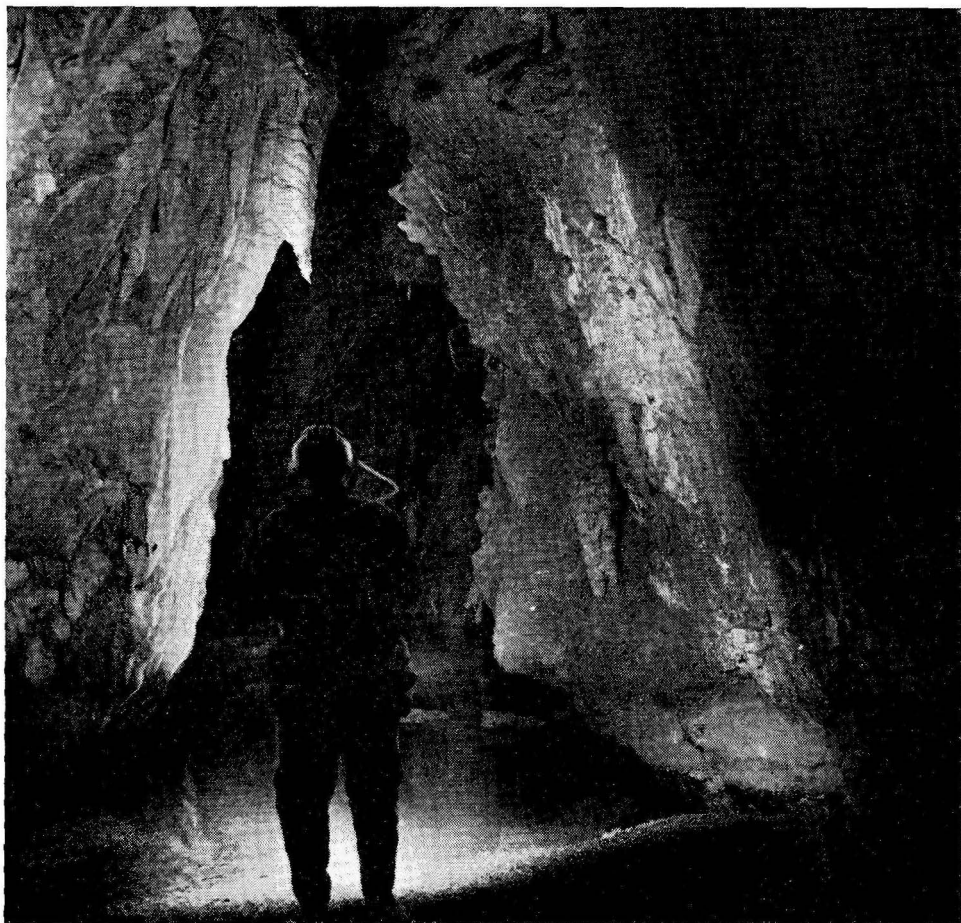
prodiranje. Angleškemu potapljaču M. Boonu, članu Caving Cluba se je posrečilo 1954 prodreti 294 m daleč po Odtočnem kanalu, ki se vleče v jugozahodni smeri do odtočnega sifona pri točki 39.

Ob tej priliki je bil kanal kompasno izmerjen in izdelani prečni profili, ki kažejo na mlajši erozijski profil, širok največ do 5 m in visok 2 do 3 m brez večjih dvoranskih prostorov. V strugi je veliko apnenčevega grušča, flišnih prodnikov in peska. Na kraju raziskanega dela je pri odtočnem sifonu kratek slepi rov, zatrpan s sedimenti. Med še neraziskanim odtočnim sifonom Odtočnega kanala in pritočnim



Sl. 25. Pogled v Dvorano ob Sotočju v Jami I v Grapi

Abb. 25. Blick in den Saal des Zusammenflusses (Dvorana ob Sotočju) der Höhle Jama I v Grapi



Sl. 26. Erozijski profil vstopnega rova v Severnem rovu v Jami I v Grapi, izdelan ob prelomu

Abb. 26. Erosionsprofil des Eingangskanals in Nordgang (Severni rov) der Höhle Jama I v Grapi, Schnitt längs des Bruches

sifonom v Vzhodnem rovu Predjame je še 280 m neznanega podzemeljskega toka (F. H a b e 1965, pril. 1). Podolžni profil Odtočnega kanala ni izdelan, njegovo obliko pa dobro nakazujejo prečni profili. Erozijske kotlice v kanalu so usmerjene proti jugozahodu.

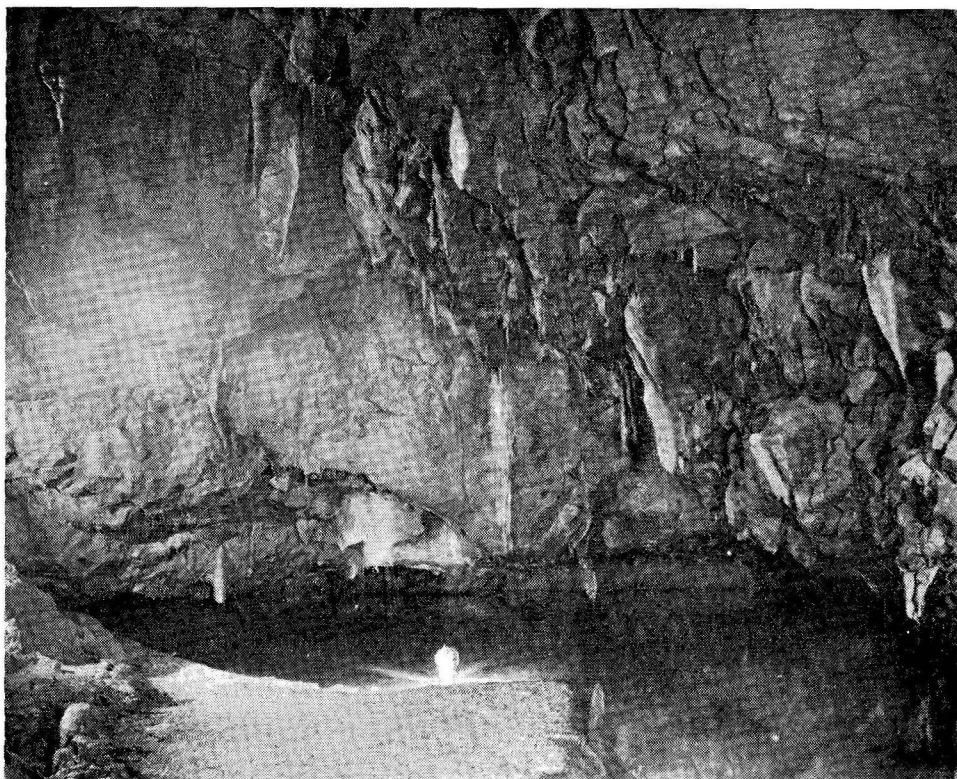
Od sotočja se odcepi Severni rov, ki poteka v začetnem delu v prelomih in drsah proti severu in se nato ob točki 53 obrne proti vzhodu. Ob točki 61 se je ob drsni ploskvi razvil nad 100 m dolg rov v dinarski smeri, nakar se v skrajnem delu obrne naravnost proti severu.

Začetni del Severnega rova je v dolžini 60 m izdelan v prelomu (sl. 26). Stene in strop so v erozijskih kotlicah, ki so ponekod prevlečene s sigo. V kolenu ob točki

43 je ob zahodni steni velik stožec flišnega peska in gline. Rov se tod rahlo obrne v NNE smer in ohranja vse do točke 45 profil 8 do 10 m visokega in 5 do 8 m širokega erozijskega rova. Pri točki 44 se rov ob prečni drsi (sl. 27) zniža na 80 cm in tvori sifonski zapiralec z 1 m globoko vodno kotanjo. Nadaljnji del del Severnega rova je dostopen le ob izredno nizkih vodah. Onstran sifonskega zapiraleca se rov razširi v večji dvoranski prostor ob drsi. Zaradi že omenjenega sifonskega zapiraleca so v tem prostoru ob stenah akumulirani do 5 m visoki stožci apnenčevega gruščja, prodnikov in gline. Na mnogih mestih je stožec prekrit s sigo z manjšimi in večjimi stalagmiti.

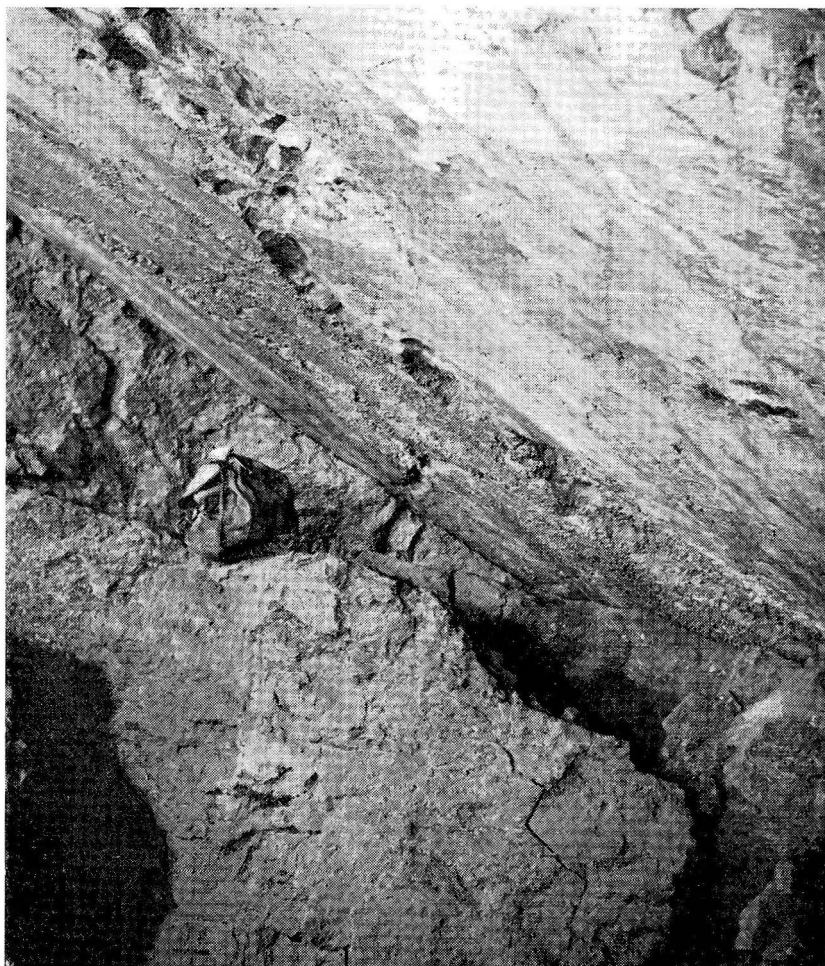
Ob točki 53 se rov, izdelan v prelomu, obrne proti vzhodu. Podorni stožec je potisnil potok ob severno steno. Ob prelomu pri točki 57 preide rov v večji, do 10 m visok dvoranski prostor. Ob zoženem kolenu pri točki 61 je le 3 m visok rov ob prelomni razpoki dinarske smeri poln podornega gruščja.

Pri točki 66 prehaja rov v večjo, 40 m dolgo in do 15 m široko Kaminsko dvorano, nastalo ob dveh vzporednih prelomih dinarske smeri. Njena tla so v začetnem delu prekrita z večjimi podornimi bloki. V jugovzhodni smeri se dvorana strmo dviga in tvori tod mogočni stožec drobnogruščnatega materiala iz tektonske



Sl. 27. Sifonski zapiralec v Severnem rovu pri točki 44

Abb. 27. Siphon im Nordgang (Severni rov) der Höhle Jama I v Grapi beim Punkt 44



Sl. 28. Drsa ob vstopu v Kaminsko dvorano Jame I v Grapi (Severni rov)

Abb. 28. Harnisch am Eingang des Kaminsaaes (Kaminska dvorana) der Höhle Jama I v Grapi im Nordgang (Severni rov)

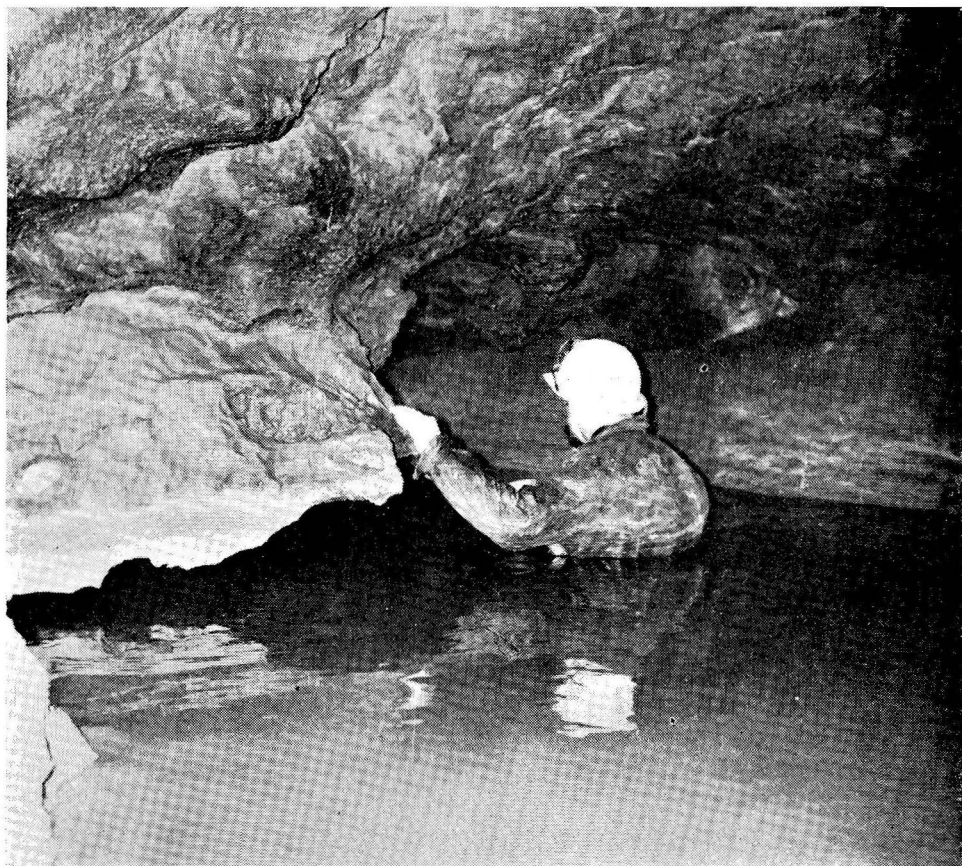
breče. Na njem so zrasli izredno beli, poldrug meter visoki stalagmiti. Prek 25 m visokih kaminov v stropu poteka prelom v severno-južni smeri. Ob severovzhodni steni dvorane je vidna dvojna drsa z vmesno tektonsko brečo (sl. 28).

V severni steni Kaminske dvorane se je ob dveh vzporednih drsah razvil rov, zalit z vodo in dostopen le ob nizkem vodnem stanju (sl. 29). Ob njegovi vzhodni steni se odcepita dva stranska rova. Prvi se konča z 20 m visokim kaminom, drugi pa dosega le pol metra višine in je ostrih nožastih oblik. Onstran že omenjenega zalitega rova se v severni smeri nadaljuje Podorna dvorana, dolga 30, široka

20 in visoka 10 m. Podorne bloke na debelo prekriva glina, odložena ob visokih poplavnih vodah. Manjše vode teko ob vzhodni steni dvorane, ob našem obisku pa je bila le v skrajnem pritočnem sifonu manjša vodna kotanja.

Hidrografske razmere v Jami I v Grapi

V Jami I v Grapi ponikajo vode Belščice iz zahodnega dela studenskega flišnega zatoka, kraškega izvira Belska voda in iz občasnih vodnic z dolomitskega ozemlja severno od Belskega. Ob nizkih vodah presiha Belščica že 30 m pred vhodom v jamo v strugi in se pojavlja v jami šele na kraju Dolge dvorane ob južni steni pri točki 15. Po dobrih 50 metrih toka sprejema iz Severnega rova potoček, ki je ob naših obiskih jame imel 1 do 2 l pretoka na sek. Teče sklenjeno le ob večjih vodah, ob nizkih pa se pojavi kot sklenjen potoček 120 m severno od sotočja. Ob nizkih vodah se



Sl. 29. Zaliti rov v Kaminski dvorani, prehoden le ob nizkih vodah
Abb. 29. Überschwemmter Gang im Kaminsaal, nur bei Niedrigwasser
begehrbar

pojaviijo globlji tolmuni pri točkah 56, 60 in 64. V vmesnih delih se preliiva vodica pod gruščem in peskom do sotočja. Manjše vodice dobiva potoček ob vzhodni steni pri točki 70.

Da bi dognali temperaturne razmere na teh jamskih vodah, smo izvršili več meritev, žal pa vse le ob nizki vodi, ko je jamski sistem dostopen.

Navajamo nekaj primerov teh meritev:

Datum	Merno mesto	Pretok l/sek	Tempera- tura vode °C	Zunanji zrak °C
26. 8. 1971	Belščica ob ponoru	15	16,1	23,3
	Sotočje	15	14,6	
	potoček Severnega rova	2	11,8	
28. 10. 1971	Belščica ob ponoru	10	5,2	
	ob Sotočju - Severni rov	1	6,2	
	vodna kotanja pri točki 69 v Severnem rovu	nedoločeno	10,5	
	vodica v rovu pri 71 a	0,2	6,5	

Kot je iz tabele razvidno, je kljub visoki zunanji temperaturi zraka Belščica ob ponoru sorazmerno hladna, ker se vanjo steka voda kraškega izvira v Belskem.

Navedene temperature kažejo na to, da je Belščica voda s površja, ki se ob različnih letnih časih različno segreva, medtem ko je voda Severnega rova s podzemeljskega dolomitnega področja. Vodna kotanja pri točki 69 pa je še od poletja ohranila poletno temperaturo podzemeljskih voda, ker takrat vse od poletja ni bilo bistvenih padavin, ki bi vplivale na temperaturo jamskih voda. Vodica pri točki 71 a prihaja očitno nekje s površja, kjer so bile v tem času sorazmerno nizke temperature.

Ob izredno nizki vodi 16. 8. 1974 je ponikovala Belščica v strugi 30 m pred ponorom. Ob tej priliki smo vzeli vzorce vode v jami ob sotočju. Hidrološko analizo teh je izvršila ing. M. Zupan s Hidrometeorološkega zavoda SRS, za kar se ji lepo zahvaljujemo.

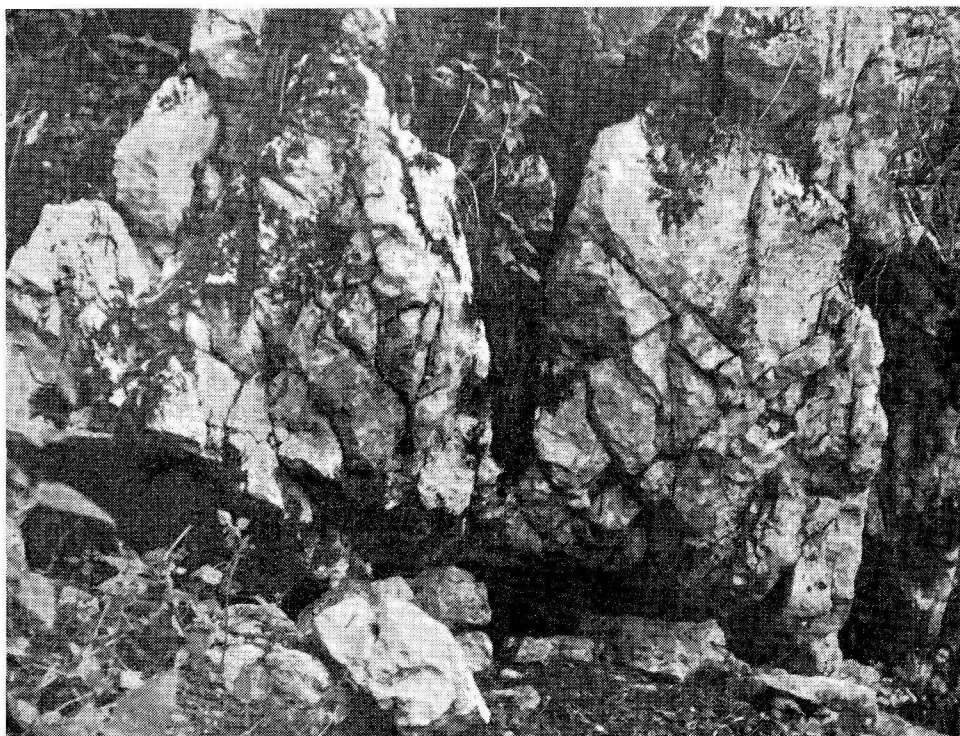
Merno mesto		Pre- tok l/sek	Trdota				
			total.	kalcijeve	magnez.	karbonat.	PH
Belščica z Grape	14,2	10	12,4	8,1	4,3	12,2	7,7
Severni potoček ob sotočju	12,3	1	12,3	7,2	5,1	12,3	7,4

Temperature in trdote kažejo, da imamo tu opravka z dvema različnima vodama. Severni potoček prihaja iz dolomitskega predela izpod Sv. Lovrenca, Belščica pa je takrat dobivala vodo le iz belskega kraškega izvira, medtem ko je pritok vode s flišnega predela presahnil.

Po dimenzijah Severnega rova sodeč, je sedanja vodica tega rova recentna. Sedimenti v njem in profili kažejo na to, da je ta rov izdelala večja voda.

Po združitvi obeh potočkov pri sotočju teče stalni potok vzdolž Odtočnega kanala. Barvanja Belščice pred ponorom v Grapi s fluoresceinom 26. 7. 1963 (F. Habe 1970, 45) so pokazala zvezo s potokom v Vzhodnem rovu predjamskega podzemeljskega sistema. Za 1130 m dolgo pot — od tega je 280 m nepoznane — je voda potrebovala 14 ur 42 minut, tj. 2,3 cm/sek.

Belščica je tik pred ponorom gonila mlin. Ko pa je leta 1924 tega podrl s stene odtrgan skalni blok, je delovala le še žaga vse do druge svetovne vojne. Po vojni je bil na mestu prejšnje žage manjši obrat za prekuho smrekovega olja, ki pa je deloval le od 1958 do 1968.



Sl. 30. Nekdanje ponorno mesto vodâ v Severnem rovu v višini 530 m v pobočju zatrepne stene v Grapi. Dobro je viden polkrožni profil danes popolnoma zatrpanih podzemeljskih prostorov

Abb. 30. Ehemalige Schwinde im Nordgang in 530 m Höhe in der Wand des Sacktales Grapa. Das halbrunde Profil der jetzt vollkommen verschütteten unterirdischen Räume ist gut sichtbar

Glede geneze jame bi povedali naslednje. Izdelana je v zgornjekrednih rudistnih skladovitih apnencih. Skladi slemenijo v glavnem v NE—SW smeri in padajo v kotu 30° proti severu. Ker leži jama ob robu predjamskega preloma, so imeli važno vlogo pri razvoju jamskega sistema številni prelomi in drse severno-južne in dinarske smeri. Vsi večji dvoranski prostori, Dolga dvorana, Sotočje, Severni rov od točke 46 do 50, 57 do 59, Kaminska in Podorna dvorana so nastali ob prelomih.

V razvoju jamskih prostorov je razlikovati troje faz. Najstarejši je Severni rov, kjer je v geološki preteklosti ponikovala voda v notranjost. Prvotni vhod v Severni rov leži 110 m severovzhodno od sedanjega ponora v višini okrog 530 m. Ob pregledu zunanje navpične stene je še viden polkrožni, popolnoma zatrpni vhod v Severni rov (sl. 30). Na povezavo s površjem kaže tudi močan preprih v severovzhodni steni Kaminske dvorane. Severni rov je močno preoblikovan po podorih in mogočnih sedimentih.

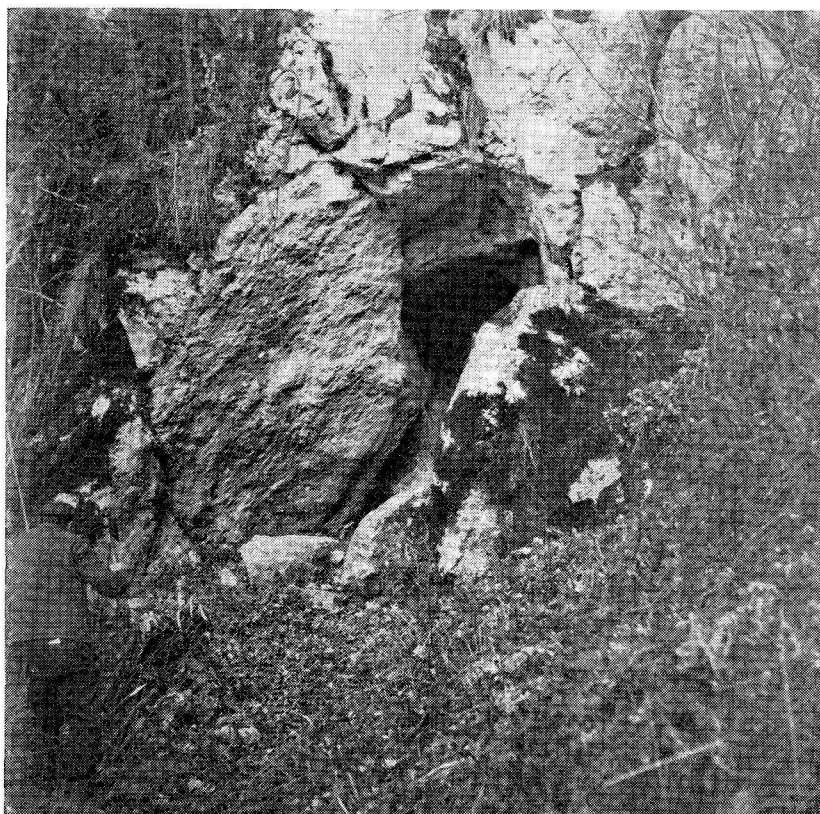
Na vmesno fazo kaže v zagatni steni nekaj metrov dolg zatrpni spodmol v višini 525 m, ki pa je lahko le ostanek nekdanjih večjih prostorov. Kratka, 17 m dolga Jama II v Grapi (sl. 15) ob severno-južni razpoki je le kratka vmesna erozijska faza v poglobljanju Belščice. Vode Belščice so se prvotno odtekale v sedaj popolnoma zatrpni, do 6 m visok in 7 m širok rob ob zahodni steni sotočja pri točki 17. Predpostavljati je, da je odtekala Belščica tudi še v fazi razvoja Vhodnega rova skozi ta rov proti Predjami. Šele ko so sedimenti rov do kraja zatrpali, si je voda izsilila pot proti jugu in se po 60 m toka obrnila ob lezikah proti jugozahodu v smeri proti Vzhodnemu rovu Predjamskega podzemeljskega sistema.

Ko je bil do vrha zatrpni rov ob sotočju pri točki 17, so zastajajoče vode pustile ob severni steni Dolge dvorane mogočne sedimente, sedaj že prekrte s sigo in stalagmiti. Te zastajajoče vode so razširile prostor v Dolgi dvorani, pogojen po več drsah in prelomih. Stalaktiti na stropu izkazujejo še danes vidne zaznamke visokih voda, ki so si v Odtočnem kanalu izsilile nadaljnjo pot. Na relativno mladost Odtočnega kanala kažejo trikotni erozijski profili z enakomerno širino struge, v kateri pa ni večjih jamskih sedimentov.

Kapniške tvorbe

Krepak pokazatelj starosti posameznih delov jamskega sistema so tudi kapniške tvorbe; medtem ko v mladem Odtočnem kanalu kapniških tvorb ni, nastopajo predvsem v Severnem rovu in v Dolgi dvorani Vhodnega rova. Prav iz Jame I v Grapi so publicirani prvi rezultati laboratorijskih raziskav Inštituta Rudjero Bošković iz Zagreba o starosti kapnikov s pomočjo ugotavljanja radioaktivnega ogljika ^{14}C (A. Sliepčević & J. Planinić 1974, 72—75). Datirani so trije stalagmiti: eden iz Vhodnega rova (točka 4), drugi iz Severnega rova pri točki 49 in tretji iz Kaminske dvorane Severnega rova (točka 68 e). Analiza je pokazala, da vsi trije izvirajo iz holocena in da so začeli rasti pred 6380 leti, to je 4430 let pred n. e. Za kristalasti stalagmit na podornem stožcu Kaminske dvorane je bila dognana starost 2400 ± 80 let, kar kaže na sorazmerno mlado starost podorov v Kaminski dvorani. Iz meritev je razvidno, da se giblje hitrost rasti kapnikov v mejah vrednosti, dobljenih za Srednjo Evropo (Gey & Franke 1970, 1—9) in za Postojnsko jamo (R. Gospodarič 1972, 92—98), ki znaša 7 do 13 mm na 100 let.

Viri: L. Bertarelli & E. Boegan 1926; F. Habe 1970; M. Boon 1962; A. Slejko 1957 in Osnovna speleološka karta Vrhnika 2 c, 1 : 25 000.



Sl. 31. Vhodna odprtina Jame II v Grapi, nastala v močno
prepokanem apnencu

Abb. 31. Eingangsöffnung der Höhle Jama II v Grapi in stark
zerklüftetem Kalkstein

9. Jama II v Grapi, kat. št. 1018 (sl. 15)

Osnovna speleološka karta Vrhnika 2 c, 1 : 25 000

x - 75 745	globina —
y - 33 960	dolžina 17 m
z - 511 m	

Vhod v jamo leži 5 m nad Jamo I v severozahodnem delu navpične stene v Grapi (sl. 31). V vhodnem delu dosega jama višino 2,5 m. Na stenah in stropu so ohranjene erozijske kotlice. Tla so prekrita s prstjo in glino. Skladi slemene v zahodno-vzhodni smeri in padajo v kotu 40° proti severu. Horizontalna jama je bila nekdanj povezana z Jamo I, danes pa so to zvezo sedimenti zatrpali. Kot ponorna jama pomeni kratko vmesno fazo pri poglobljanju Belščice.

Vse doslej opisane jame so stalne ali pa občasne ponorne jame na meji med flišem in apnencem. Nastale so v recentni fazi razvoja hidrografske mreže ob stu-

denskem flišnem zatoku, ali pa se v svoji sedanji funkciji prištevajo k tem, čeprav spadajo posamezni njihovi odseki v starejšo fazo razvoja. Tak je primer pri jamskem sistemu Jama I v Grapi.

V starejši fazi razvoja tega ozemlja pa so se razvile v uravnanem svetu jame, ki so nekdaj opravljale funkcije vodnih jam. Leže predvsem za največjimi sedanjimi ponornimi jamami v Bezgovcu. O njihovi funkciji bomo govorili kasneje pri opisu morfološko-hidrografskega razvoja.

10. Jama I v Bezgovcu, kat. št. 3532 (sl. 33)

Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 33

x - 74 880

globina 10 m

y - 36 830

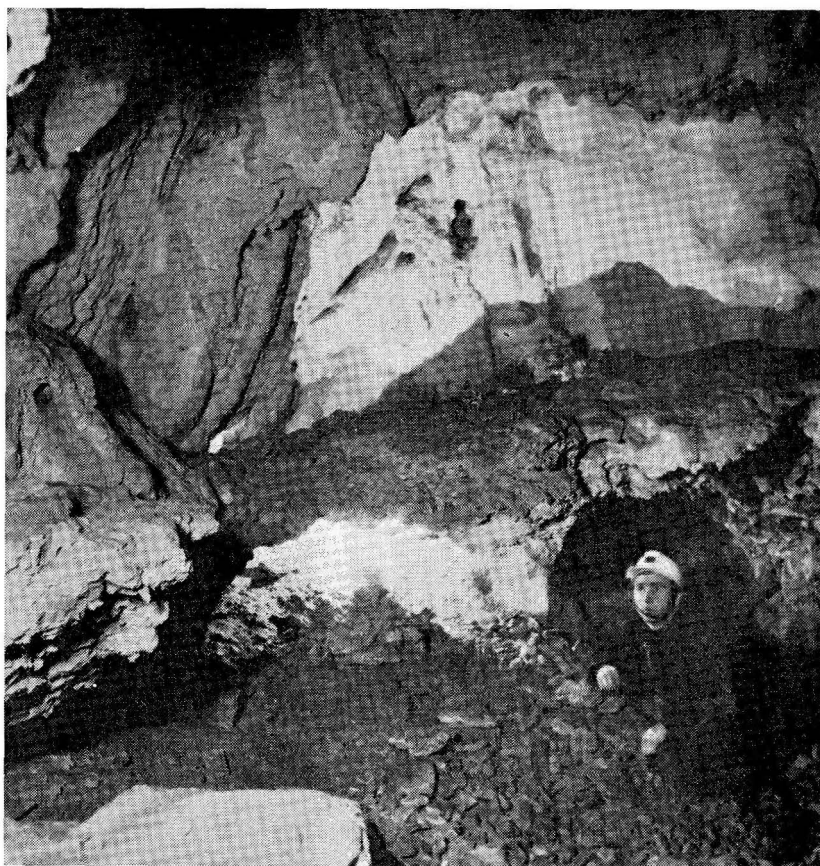
dolžina 54 m

z - 558 m



Sl. 32. Jama I v Bezgovcu (kat. št. 3532). Vidni sta obe vhodni odprtini ob razpoki, vmes naravni most

Abb. 32. Höhle Jama I v Bezgovcu (Katasterzahl 3532). Beide Eingangsöffnungen an der Spalte, dazwischen die Naturbrücke



Sl. 34. V dvorani Jame I v Bezgovcu je ob steni široka previsna sigova polica, ki kaže na nekdanje više ležeče jamsko dno

Abb. 34. Höhle Jama I v Bezgovcu. Im Saal an der Wand ein breites, überhängendes Gesims aus Sinter, das auf einen ehemals höher gelegenen Boden der Höhle hinweist

Poševna jama ima dva vhoda. Prvi vodi v 22 m dolg jugovzhodni rov, ki je poln podornega grušča in konča slepo. Številne stenske in stropne kotlice kažejo na njegovo nekdanjo vodno funkcijo. Onstran manjšega naravnega mostu (sl. 32) je vhod prek 10 m globoke stopnje v večji dvoranski prostor, dolg 16, širok 10 in visok do 10 m. Njegova tla so prekrita z gruščem, flišnim peskom in glino. Južna stran dvorane je močno zasigana. Ob steni je viseča široka sigasta polica (sl. 34), ki nazorno kaže, kako visoko je nekdanj segal v jami sediment, ki je bil pozneje odnešen. Manjša, nekaj metrov dolga in nizka rova na južnem kraju dvorane sta zadelana s flišno glino. Jamo so izvotlile tekoče vode ob lokalni razpoki dinarske smeri.

11. Jama II v Bezgovcu, kat. št. 3533 (sl. 33)

Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 33

x - 74 735

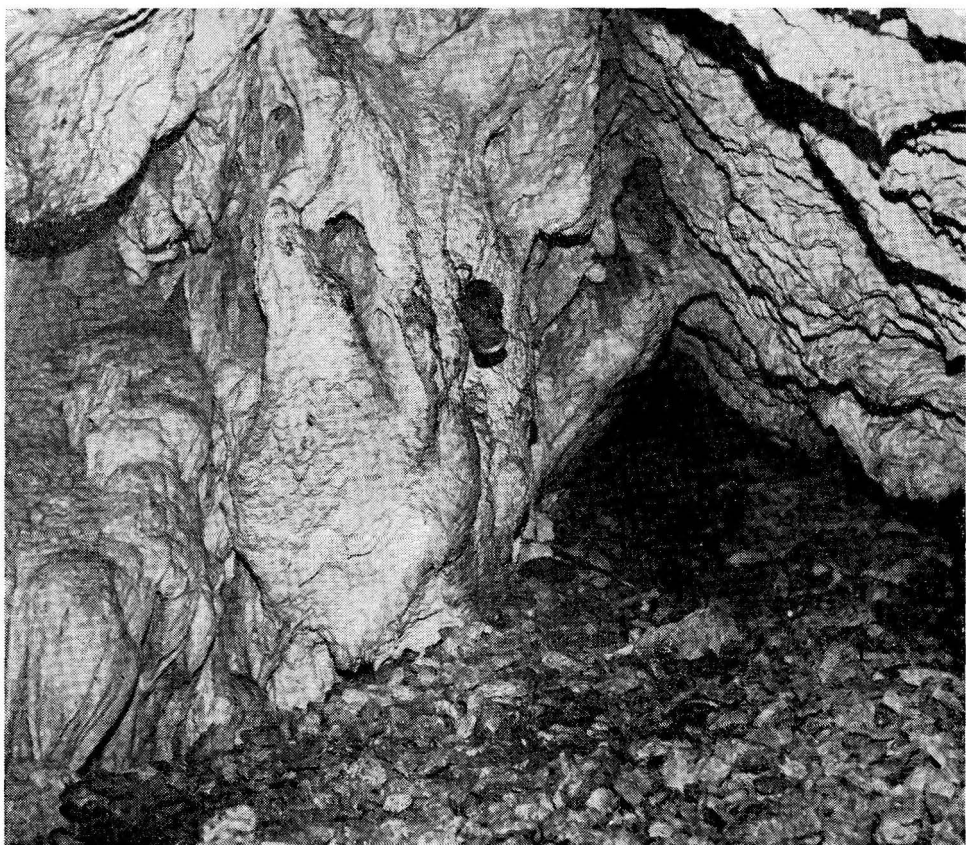
globina 20 m

y - 36 735

dolžina 66 m

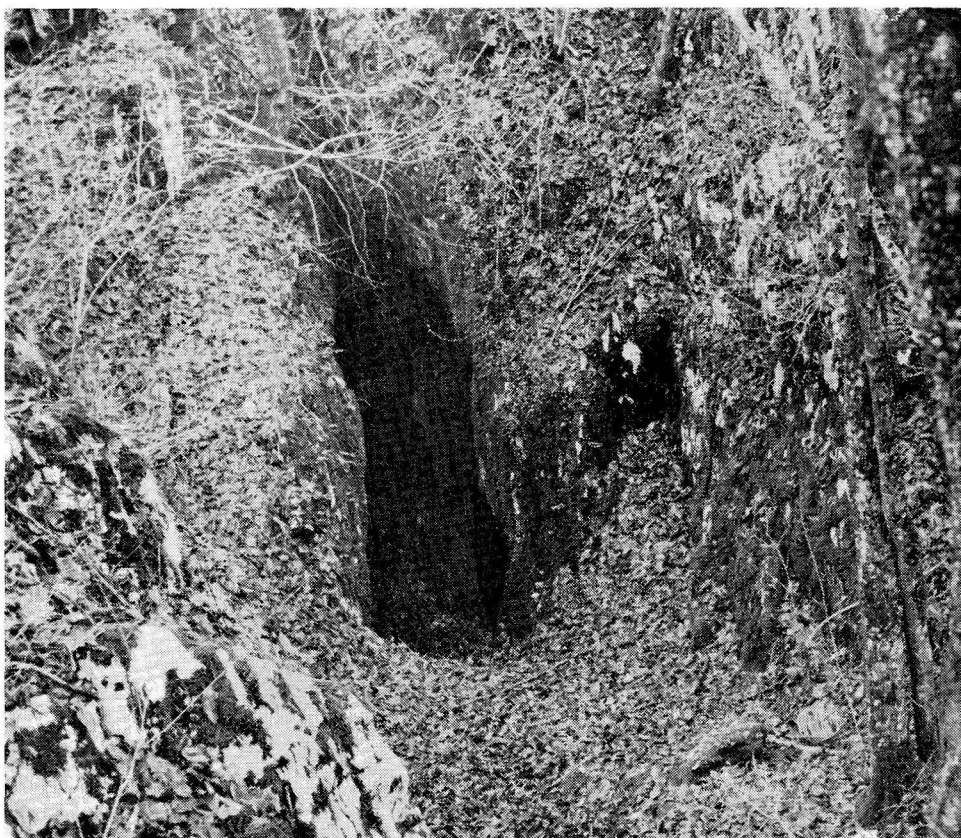
z - 558 m

Jama leži na uravnavi 550—560 m. Vhod je na dnu 6 m visoke navpične stene, visok le 1 m. Vhodni rov je izdelan v nizki pasaži z značilnim erozijskim profilom (sl. 35). Tla so prekrita s podornim gruščem. Po 20 metrih preide jama v vodoravni, 4 m visoki in do 8 m visoki strop. Ob prehodu v ravni del so tla zasigana, v vsem ostalem delu pa na debelo prekrita s flišno glino. Rovi so izdelani ob treh prelomnih razpokah severno-južne smeri, polni stenskih in stropnih kotlic. Začetni rovi v



Sl. 35. Komaj meter visok erozijski vstopni rov v Jamo II v Bezgovcu. Kljub precejšnji zasiganosti so vidne erozijske kotlice

Abb. 35. Kaum 1 m hoher durch Erosion entstandener Eingangsgang in die Höhle Jama II v Bezgovcu. Erosionskolke sind trotz der fortgeschrittenen Versinterung sichtbar



Sl. 36. Vhod v Jama III v Bezgovcu, izdelan ob drsni ploskvi

Abb. 36. Längs einer Harnischfläche entstandener Eingang der Höhle Jama III v Bezgovcu

poševnem hodniku so ohranili prvotni erozijski profil, spodnji del pa je razširjen v večje zasigane prostore, kjer so ponekod še vidne erozijske kotlice.

12. Jama III v Bezgovcu, kat. št. 3534 (sl. 33)

Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 33

x - 74 675

globina 14 m

y - 36 650

dolžina 24 m

z - 554 m

Na uravnani polici 550 do 560 m je na kraju komaj 15 m dolge dolinice, razvite ob drsi severno-južne smeri pod 6 m visoko navpično steno značilen vhod v jama (sl. 36), ki je kljub močnemu mehaničnemu preperevanju ohranil tipičen profil erozijskega rova. Strmo, z gruščem prekrito vhodno pobočje preide v večji prostor višine do 6 m. Ob prehodu iz zgornjega dela jame v spodnji se je ob 3,5 m globoki stopnji

ohranil izrazit erozijski profil (sl. 37). Spodnji zaključni prostor v jami je pokrit z gruščem in flišno glino. Tik pod stopnjo je manjše 3,8 m globoko korozijsko brezno. Na kraju se zoženi rov konča s 6 m visokim zasiganim kaminom. Strop in stene spodnjega prostora prekriva temna siga. V vsej jami je vidno močno mehanično



Sl. 37. Erozijski profil v Jami III v Bezgovcu pred 3,5 metrsko stopnjo
Abb. 37. Erosionsprofil der Höhle Jama III v Bezgovcu vor der 3,5 m hohen Stufe



Sl. 38. Dvojni vhod v Jamo IV v Bezgovcu na kraju manjše vrtače
 Abb. 38. Doppelter Eingang in die Höhle Jama IV v Bezgovcu am Rande einer kleineren Doline

preperevanje. Zaradi svoje lege se v vhodnem delu in po pobočju vse do že omenjene stopnje ohrani veliko snega.

13. Jama IV v Bezgovcu, kat. št. 4107 (sl. 33)

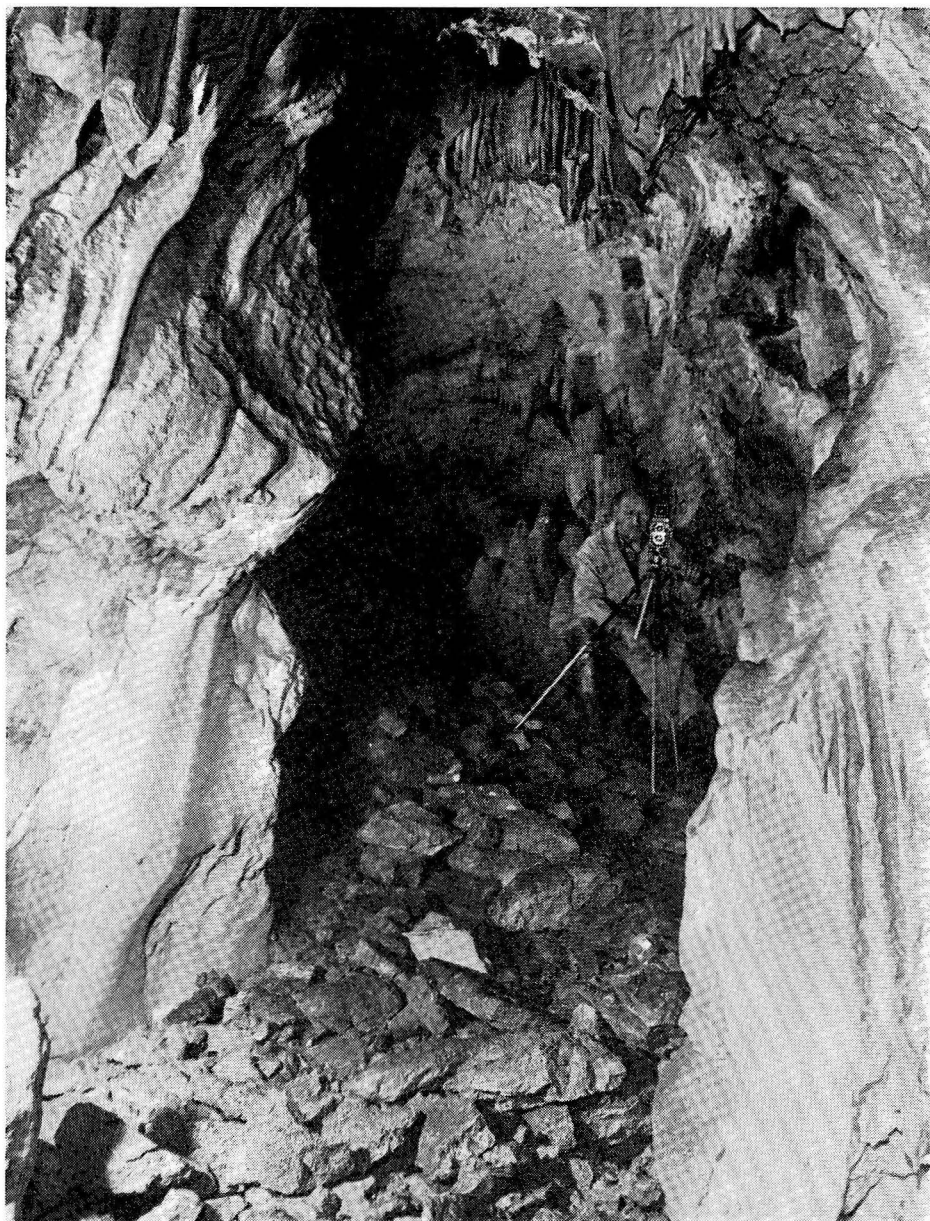
Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 33

x - 74 840	globina 16 m
y - 36 590	dolžina 119 m
z - 555 m	

Jama leži na isti uravnani polici kot ostale tri jame v Bezgovcu, v neposredni bližini ponora Potoka v Jelovcu. Dvojni vhod v jamo z vmesnim naravnim mostom (sl. 38) se odpira na severnem kraju manjše vrtače (562 m višine) v višini 555 m. Takoj za vhomom se jama prevesi v 5 m globoko poševno stopnjo, ki je vsa v podornem grušču. Rov se spušča v jugovzhodni smeri do točke 3, kjer se obrne v vzhodno smer. Tla tega dela so v lepih sigastih ponvicah. V ostrem kolenu se rov nato obrne v



Sl. 39. Zelo lepo zasigana Jama IV v Bezgovcu z značilnim erozijskim profilom in žlebastimi pasovi, ki kažejo na erozijsko delo ponikajoče vode
 Abb. 39. Die schön versinterte Höhle Jama IV v Bezgovcu mit charakteristischen Erosionsprofil und Rinnengürtel, die auf die Tätigkeit des fließenden Wassers hinweisen



Sl. 40. Podor je zatrpal Žlebasta dvorano. Kljub zasiganosti so vidne erozijske kotlice, ki kažejo na odtok vode (Foto J. Sajevec)

Abb. 40. Ein Einsturz hat den Rinnensaal (Žlebasta dvorana) in der Höhle Jama IV v Bezgovcu verschüttet. Trotz der Versinterung sind die Erosionskolke sichtbar (Foto J. Sajevec)



Sl. 41. Sigov slap v Kaminskem rovu v Jami IV v Bezgovcu

(Foto J. Sajevec)

Abb. 41. Sinterfall im Kamingang der Höhle Jama IV v Bezgovcu

(Foto J. Sajevec)

severovzhodno smer in preide v večjo Žlebasto dvorano. Ob vhodu vanjo je mogočen kapniški steber. Rov ima izrazit erozijski profil s številnimi kotlicami. Posebnost tega rova so žlebasti, nekaj dm globoki erozijski pasovi (sl. 39). V 4 m visoki steni je vidnih 5 takih žlebastih pasov, ki kažejo na postopno zarezovanje vode in ustvarjanje jamskega prostora. V žlebovih 4. pasu so se ohranili debelejši flišni prodniki, vezani s sigo v višini 1,5 m nad sedanjimi jamskimi tlemi. Ti prodniki kažejo, kako visoko so segali sedimenti v eni prejšnjih erozijskih faz. Gornji del Žlebaste dvorane, razcepljen v vzhodni in severni krak so zatrpali večji podori (sl. 40). Kljub temu pa so v zasiganih stenah vidni sledovi rečne erozije.

V nadaljnji fazi razvoja si je voda izsilila pot navzdol v spodnjo Kapniško dvorano, v katero vodi 5 m globoka stopnja. Dvorana je močno zasigana in slepo konča. Vanjo se steka tudi izredno zasigan Kaminski rov (sl. 41), preko katerega se napaja na 16 m globokem dnu jame kotanja kapniške vode. Tekoča voda se danes preliva s Potoka v Jelovcu v nižjem neznanem nivoju pod jamo.

14. Beloglavka, kat. št. 744 (pril. 3)

Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 33

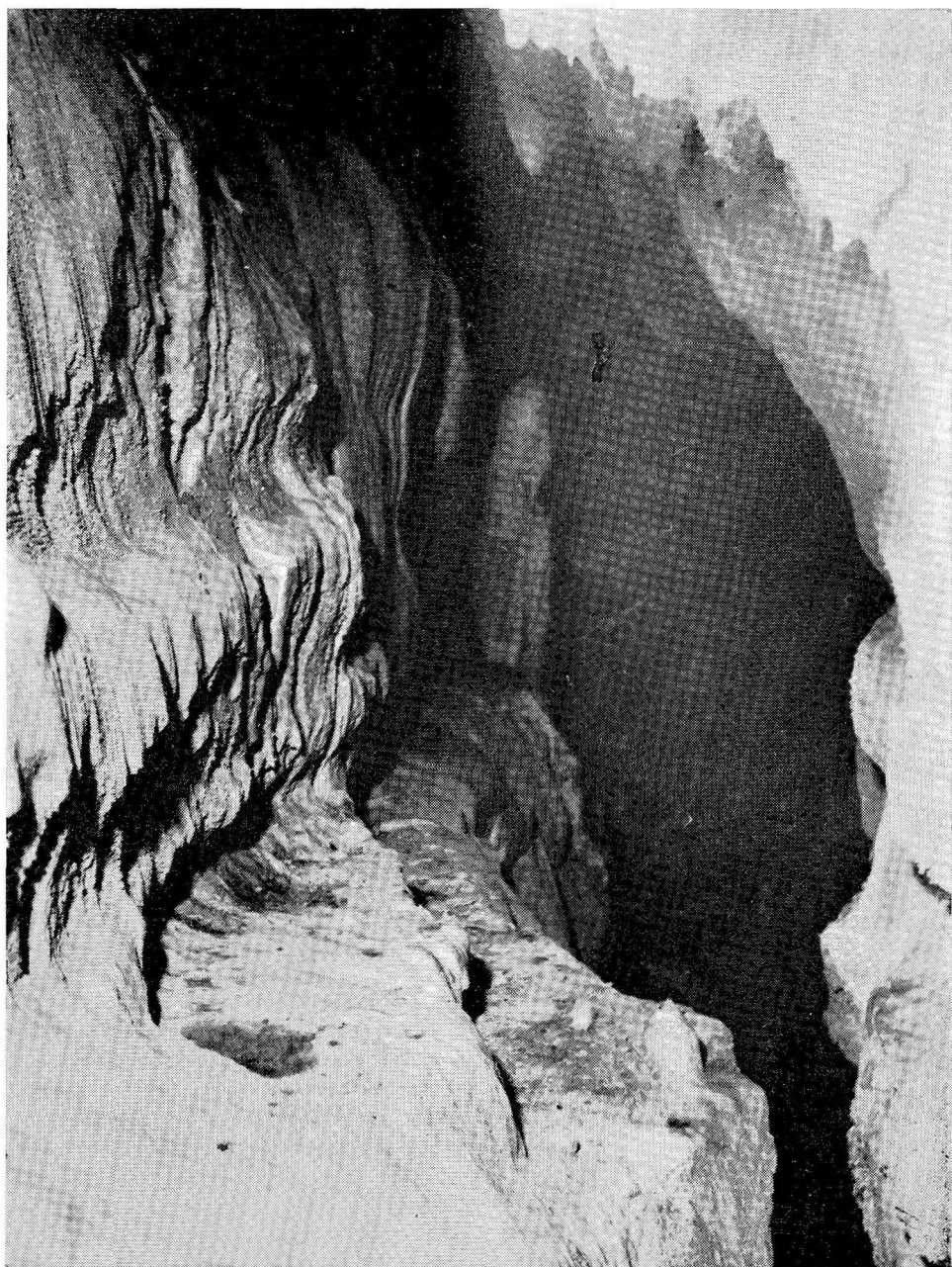
x - 74 795	globina 58 m
y - 36 615	dolžina 344 m
z - 560 m	

Raziskave 11. 8. 1949 do globine 18 m in dolžine 60 m, 30. 9. 1962 do globine 42 m in dolžine 164 m, 3. 4. do 1. 5. 1973 do globine 58 m in dolžine 344 m.

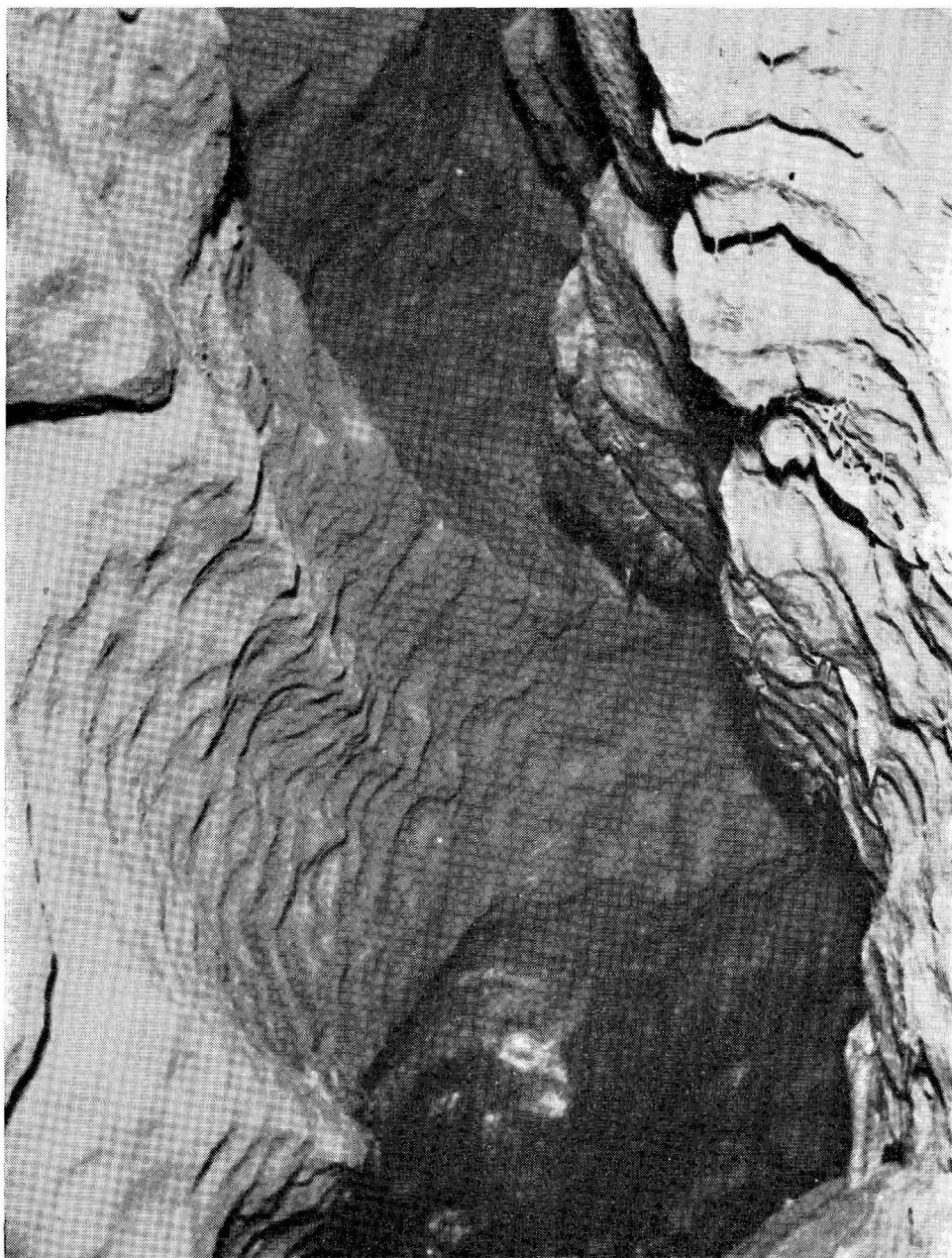
Vhod v jamo je ob prelomu pod skalnim robom uravnave 560 m, ki tvori pobočje večje vrtače v globini 549 m. Dvometrska navpična stopnja vodi v ozek poševen jamski hodnik z izrazitim erozijskim profilom višine 2 do 3 m in širine en meter, poln erozijskih kotlic. Stene in strop tega hodnika so prevlečene s sivo koralasto sigo, tla pa so prekrita s preperelim gruščem. V spodnjem delu te proti severu potekajoče pasaže se odpira kratek stranski rov, ki slepo konča, zatrpan s flišno glino. Pred točko 6 preide hodnik v večji prostor (višine do 4 m) in se nato ob ozki lisičini obrne v južno smer. Tod se začenja gornja etaža Beloglavke, nastala ob veliki navpični drsi v severno-južni smeri. Ob njej se je razvil 25 m dolg in do 8 m širok podolgovat dvoranski prostor, ki doseže v sredini višino do 10 m. Ob vzhodni drsni steni so se izredno ohranili že delno zasigani erozijski pasovi v obliki stopničastih poličk (sl. 42), ki kažejo na nekdanjo vodno funkcijo jame. Najnižji del gornje etaže, kjer je nekdanj voda ponikovala, je v višini 536 m, medtem ko segajo nedostopne razpoke na dnu tega dvoranskega prostora vsaj do globine 525 m.

Dvoranski prostor je močno zasigan. tla so na debelo prekrita s sigo, le v najnižjem delu je sprijet grušč, med katerim vodijo ob desni, zahodni steni zatrpni kanali znatno nižje. Vzrok nastanka tega večjega prostora je v tem, da je vzhodna stena v osrednjem delu dvorane izdelana v močno pretrtih skladih. Prav zato imamo v najnižjem delu tega prostora večji, delno zasigan podorni gruščnati stožec, ob steni pri točki 8 pa so vidni nedostopni nižji kanali, ki vodijo v spodnje, nedostopne etaže jame, kamor se sedaj odteka kapniška voda.

Podorna dvorana se ob južnem koncu strmo dviga navzgor in prehaja v ozki rov Lisičino. Prvim obiskovalcem se je tu končala jama. Z odstranitvijo nekaj stalagmitov in delnim izkopom v flišni glini pa se nam je posrečilo prodreti še naprej. Tod je ob kompaktni drsi vidna 1 m široka plast tektonske breče, ob kateri si je voda izdolbla pot v nadaljnji del jame. Lisičina je le 15 m dolg rov, komaj pol



Sl. 42. Stopničaste erozijske poličke v drsni steni Podorne dvorane v Beloglavki
Abb. 42. Stufenförmige Erosionsgesimse in der Harnischwand des Versturzaales
(Podorna dvorana) der Höhle Beloglavka



Sl. 43. Erozijski rov s pasovi ob petmetrski stopnji v Blatnem rovu v Beloglavki
Abb. 43. Gang mit Erosionsgürteln in der Höhle Beloglavka bei der Fünfmeter-
stufe im Lehmgang (Blatni rov)

metra širok in 2 m visok, zatrpan s flišno glino in drobnim peskom. Koncem te pasaže (pred točko 17) je voda odložila flišne prodnike, ki dosegaajo velikost $5 \times 3 \times 2$ cm, kar dokazuje na večjo transportno moč ponikujočega potoka. Ob istem prelomu kot v Podorni dvorani je tudi izdelan rov onstran Lisičine, Kapniška dvorana, ki je 25 m dolga in do 5 m visoka. Je lepo zasigana, številni kapniški stebri v njej pa so prepokani, kar kaže na recentne premike tal. Kljub močno zasiganim stenam so še vidni erozijski pasovi. Strop ima obliko žlebastega korita. Vzhodna stena ima poleg manjših erozijskih kotlic, ki kažejo na tok navznoter, 5 izrazitih horizontalnih erozijskih pasov. Kapniška dvorana se slepo konča ob podoru.

Koncem Lisičine se rov pri točki 16 ostro obrne proti severovzhodu in se strmo spušča v Zasigani rov, izdelan v prelomni razpoki. V njem so stene, strop in tla prevlečena z debelo sigo. Žlebasti strop je visok do 5 m, v stenah pa so ohranjeni štirje zapovrstni erozijski pasovi. V spodnjem delu Zasiganega rova se pojavlja debelo sedimentirana glina.

Ob točki 20 se jama obrne naravnost proti severu. Tu prehaja v Blatni rov preko dveh, 2 in 5 m globokih stopenj. Rov postaja vedno širši in višji ter doseže širino 4 in višino do 11 m. V njem so še posebej izraziti 4 erozijski pasovi s številnimi facetami (sl. 43). Na kraju Blatnega rova se obrne jama v vzhodno-zahodno smer. V žepu podobnem rovu (točka 26—28) je sedanja požiralniška cona visokih voda, ki pritekajo s severne strani v ta rov. V treh končnih razvejanih krakih, nastalih ob vzporednih prelomih, kažejo prečni profili širine do 1 in višine do pol metra na mlade recentne rove. Zaliva jih občasno voda, ki pritiska ob visokih vodah s severa s strani Potoka v Jelovcu. Na to kažejo erozijske kotlice, ki so tod usmerjene v obratni smeri.

Genetično imamo v Beloglavki opravka z dvema razvojnima fazama. V starejšo fazo lahko prištevamo vso jamo do točke 30, v mlajšo fazo mlade razvejane rove, ki so strukturno različni od ostalih jamskih rovo.

Medtem, ko je Vhodni rov v glavnem ohranil svojo prvotno obliko, je jama v Podorni dvorani ob močno premaknjeni drsni ploskvi izgubila prvotno podobo erozijskega rova. Zaradi tektonsko močno pretirte zahodne stene je prišlo do večjih podorov, ki so zatrpali nižje odvodne kanale. Prelomna drsna ploskev je vidna tudi na površju ob vzhodnem robu vrtače. Podor je zatrpal tudi rov ob izhodu iz Podorne dvorane v Zasigani rov. Vode so si morale izsiliti svojo pot skozi Lisičino, ob katere koncu je sedimentiran že omenjeni flišni prod in pesek. Kapniška dvorana, ki se slepo konča, je le kratek podaljšek proti jugu usmerjenega toka. Dvo- in petmetrska stopnja v Blatnem rovu sta delo kapniških voda, ki so pronicale skozi strop v Podorno dvorano. V tej fazi, kmalu po podoru, se je voda že prestavila v nižje kanale, Beloglavka pa je tako prenehala opravljati funkcijo vodnega rova. Še pozneje so visoke vode, ki so pritiskale s Potoka v Jelovcu v razvejane razpoke, odlagale debele sedimente flišne gline in ponirale v jami na mestih, kjer je bila že v prvi fazi ponorna cona jame. Na usmerjenost vodc iz smeri Potoka v Jelovcu kaže tudi smer erozijskih kotlic, obratno od smeri kotlic v starejšem delu jame.

15. Jakobova luknja, kat. št. 780 (sl. 15)

Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 32

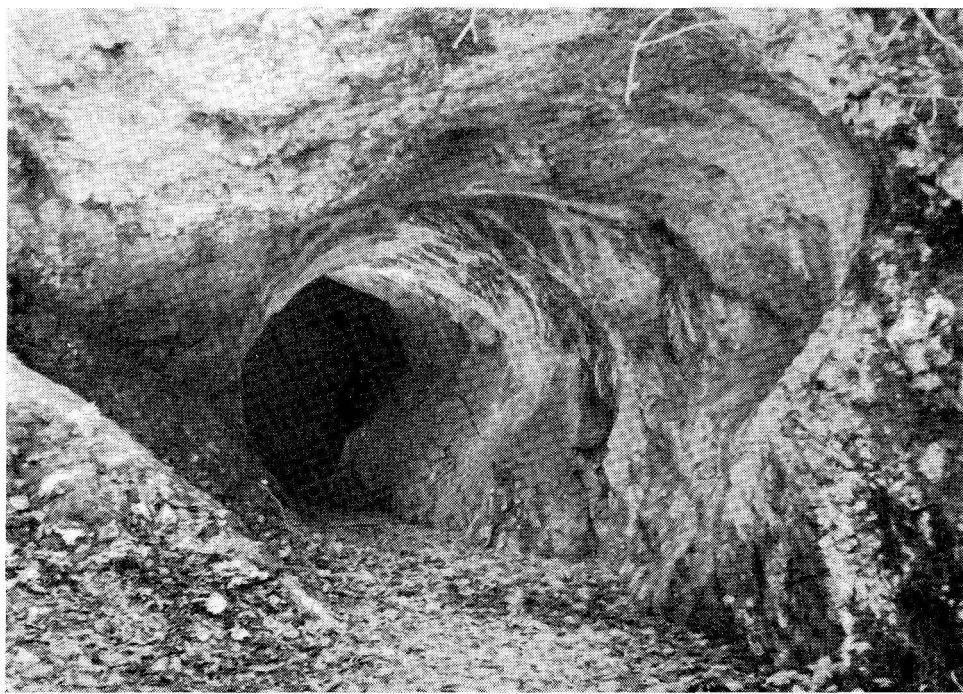
x - 74 500

globina —

y - 35 315

dolžina 27,5 m

z - 540 m



Sl. 44. Vhod v Jakobovo luknjo z značilnim erozijskim profilom

Abb. 44. Eingang der Höhle Jakobova luknja mit charakteristischem Erosionsprofil

Nad Matičkovo ogrado je skalni zatrep s prepadno steno, za katero je izdelana višja terasa v višini 540 m. Tod je južno od manjše vrtače vhod v Jakobovo luknjo. 3 m širok in 2,5 m visok vhod (sl. 44) kaže na izrazito nekdanjo vodno funkcijo jame. Levo od vhoda je ozek rov, ki pride v jamo v steni en meter od tal. 10 m od vhoda je v stropu kamin, ki vodi do površja. V dolžini 12,5 m od vhoda so tla ravna, prekrita z ilovico in flišno mivko. Ob meter visoki stopnji pa se rov zoži in preide končno v ozko razpoko, zadelano s peskom in glino. Kljub temu, da je jama izpostavljena mehaničnemu preperevanju, pa so še vedno dobro ohranjene tipične oblike erozijske jame, predvsem številne manjše in večje erozijske kotlice. Skladi slemene v dinarski smeri in padajo v kotu 30° proti severu.

Jama ima ime po delavcu belske žage, ki je hodil sem prenočevat.

16. Brezno v Globošaku, kat. št. 4108 (sl. 14)

Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 34

x - 75 765	globina 7 m
y - 37 635	dolžina 5,5 m
z - 555 m	

Brezno leži med dvema večjima vrtačama na pobočju sinklinalne doline, ki vodi proti Pivki jami. 7 m globoko brezno je nastalo ob lokalni razpoki dinarske smeri.

Skladi v breznu padajo v kotu 20° proti NW. Jugovzhodna, močno pretrta stena je navpična in od nje izvira debel grušč, ki prekriva poševno pobočje in dno brezna.

17. Kurovca, kat. št. 3633 (sl. 15)

Osnovna državna karta 1 : 5000, Postojna - 34

x - 75 500	globina 4 m
y - 35 775	dolžina 22 m
z - 625 m	

Jama je korozijskega nastanka ob močno pretrti coni predjamskega preloma. Leži v zgornjekredni luski nad dolinko Studenske vode. Komaj 1 m visoki vhod v jamo prehaja v močno pretrt jamski prostor, ki je ponekod koralasto zasigan. Tla so prekrita z gruščem, v zadnjem delu jame pa je avtohtona rdeča ilovica.

Morfološko-hidrografski razvoj (priloga 1, 4)

Že A. Melik govori v svoji študiji o pliocenski Pivki (1951, 17—38) o več suhih dolinah, ki drže iz Postojnske kotline proti Planinskemu polju. Prva taka dolina so Postojnska vrata. Druga nizka proga se vleče ob vznožju Hrušice z najvišjim prevalom v višini 660 m pri Strmici. A. Melik navaja, da je to podolje, po katerem naj bi se gibala proti Planinskemu polju rečica čez Studeno in Strmico. I. Gams (1965, 61—101) poudarja v svoji razpravi, da razmeroma nizek svet, ki se vleče čez Studeno, Strmico proti Planini, nima značaja suhe doline, saj je podoben nižji svet ob stiku med dolomitom in apnencem ter flišem običajen pojav. Pri Strmaškem polju torej nimamo opraviti z neko fluvialno zasnovo. Po Gamsu je ta dolomitna kvartarna ravnica (sl. 45) — majhno polje na dolomitni podlagi — produkt ploskovne denudacije, ki je bila poleg korozije pglavitni činitelj na krajevno zdobljenih dolomitnih skladih. Tudi P. Habič (1968, 168—169) omenja to značilno robno uravnavo v pretrtem dolomitu ob predjamski prelomnici, katere zasnova pa je vezana na starejša morfogenetska dogajanja v Postojnskih vratih. Za sedanji značaj robne police so bili predvsem merodajni periglacialni procesi, v katerih je bilo pospešeno polzenje drobirja po dolomitnih bregovih in nanašanje na robno ravnico. Pogled na celotno pokrajino s pobočja Planinske gore (sl. 45) kaže, kako prehaja Strmaška ravnica ob strmi stopnji v konkavno izoblikovan svet studenskega flišnega zatoka v obliki plitve kadunje, kjer je mogla najti pliocenska predjamska rečica svojo naravno pot prek Postojnskega krasa v svetu studenskega flišnega zatoka in od tod v smeri proti Pivki jami po svetu studenske sinklinale. Sicer pa tudi A. Melik navaja (1951, 28), da je v novejši pliocenski dobi vodna zveza potekala južneje od Strmice v smeri prek Studenega proti Pivki jami. Stara predjamska rečica, ki je izvirala na Hrušici nedaleč od Podkrajja, je očitno tekla mimo Belskega in južno od Studenega proti jugovzhodu. R. Gospodarič & P. Habič (1966, 23) navajata v razpravi o razvoju ponornega sistema pri Postojni najnižjo zarezo v vsem apniškem obrobju med Postojno in flišnim zatokom južno od Studenega, medtem ko meni I. Gams (1965, 65) da ta reliefna oblika nima značaja suhe doline, ampak da je kraško preoblikovana, tako,



Sl. 45. Pogled s pobočja Planinske gore na Strmaško ravnilo in na vglobljeni studenski flišni zatok nastal med strmaško dolomitno stopnjo in flišnim hrbtom Trebeži (560 m)

Abb. 45. Blick vom Hang des Berges Planinska gora auf die Quartärebene von Strmica und die eingetieftete Flyschbucht von Studeno zwischen der Dolomitstufe von Strmica und dem Flyschrücken Trebeži (560 m)

da so popolnoma zabrisani sledovi fluvialnega reliefa. R. Gospodarič & I. Habič (1966, 23) pa sta prav v tem svetu na obeh straneh Magdalenske suhe doline ugotovila višje skalne police z izrazitimi ježami, ki segajo v višino 580 do 600 m. Pri proučevanju morfološkega razvoja postojnske stopnje sta ugotovila sledove erozijskega vrezovanja ob postopnem prelaganju ponikalnic od višine 570 do 510 m. Ti erozijski sledovi na kraškem površju se ujemajo z ustreznimi podzemeljskimi kanali in s terasami v flišu (1966, 23).

Pribiti je treba že ob začetku naših izvajanj, da razvoj ponornega sistema pri Postojni ob južnem robu Postojnskega krasa ne moremo primerjati z razvojem severnega roba v studenskem flišnem zatoku, ki se je razvijal v velikem delu zase. Vode studenskega flišnega zatoka izginjajo v podzemlje Postojnskega krasa višje kot pri Postojni in Velikem Otoku. Do tega sklepa je v svojem raziskovanju prišel tudi R. Gospodarič, ki v svoji študiji »O razvoju jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartaru« dostopni doslej v tipko-

pisu (1973, 37), objavljeni pa v dopolnjeni obliki v tej knjigi »Krasoslovnega zbornik«, navaja, da ne moremo recentnih ponornih rovov primerjati med seboj po nadmorski višini; odpade pa tudi primerjava fosilnih ponornih jam, ker so lahko višinske razlike še večje.

V začetni fazi je zasnova vodâ v zgornji pliocenski dobi enotna. Od predjamskega prostora se je ob severnem robu Pivške kotline mimo Belskega in Studenega v prostoru studenske sinklinale gibala voda proti Pivki jami in se združila z vodami, ki so tekle preko Ravbarkomande v smeri proti Planinskemu polju. V tej suhi dolini je danes dno v višini 560 do 580 m; pelje mimo Pivke jame in je izredno opazna s postojnske strani (sl. 46). Na njej so se ponekod ohranile ježe, zasledili pa smo ob njej zlasti v začetnem delu krajše slepe dolinke s ponorno steno. V tej razvojni fazi je fliš zapolnjeval vsaj do te višine ves prostor med Predjamo in studensko sinklinalo. Vode so uravnale severna pobočja Postojnskega krasa od Polhovice in Suhega vrha do studenske sinklinale. Na to kaže obsežna uravnava v višini 575–560 m, ki spremlja vse severno pobočje Postojnskega krasa, kot tudi pobočja doline v studenski sinklinali. Nekako v to višino postavljata R. Gospodarič in P. Habič (1966, 25) zasnovo postojnske stopnje in Mačkovske suhe doline. V tej fazi so vode še tekle površinsko na področju studenske sinklinale.

V ta proces fluvialne uravnave pa ni bil vključen svet Strmaške ravnice, ki se širi v višini 640–680 m in ga je preoblikovala le ploskovna denudacija. Vode, ki so prihajale s pobočja Sv. Lovrenca (1119 m) so se izgubljale v sami ravnici in v robnih krednih apnencih. Nekako v višini 580 m pa so vode v predjamskem prostoru z erozijo dosegle robne apnence in začele vtekati vanje. V tej fazi je nastajala uravnava na Vrhéh (terasni nivoji od 560 do 580 m) in z njo se začne ustvarjati razvodje med Lokvo in Nanoščico (R. Gospodarič & P. Habič 1966, 25). Vode, ki so se dotlej gibale v Podgori proti vzhodu, so bile pritegnjene v ponorne razpoke pri Predjami in pozneje v Grapi, ko so dosegle tamkajšnje apniške sklade v višini 550 m. Hrbti širokih terasnih nivojev v višini 560–575 m od Hribov in Trebežev pa vse do Studenega določno nakazujejo smer odtoka proti jugozahodu, od Belske žage pa se obračajo nato proti severozahodu proti Grapi. Zlasti je ta nivo izrazito ohranjen v dolomitu vse iznad Studenega, pod Pecami in severno od Belskega (pril. 1). V tej razvojni fazi je nastajal v 1,3 km dolgem sistemu Jame I v Grapi Severni rov z vhodom v višini okrog 535 m, še danes viden v vzhodni steni v Grapi (sl. 30) v obliki polkrožnega nekdanjega vhodnega stropa.

Vode z dolomitnih pobočij Sv. Lovrenca in s fliša so tekle do roba Postojnskega krasa, kjer so vse do faze uravnave v višini 560 m še tvorile enoten tok, ki se je ob tem apniškem robu gibal proti zahodu v prostor Belščice. V fazi terasne uravnave 560 do 550 m pa se je pretrgal enotni tok Belščice iz flišnega zatoka. Potočka Jamnik in Ponikve sta takrat še tekla ob robu te uravnave proti potoku v Jelovcu; na tej uravnavi so začele vode ponikati in ustvarjati ponorne jame v Bezgovcu. Pretrgana je bila enotna površinska vodna zveza z Belščico. Zahodni potočki zatoka, ki so dobivali le kratke vodice s terasnega hrbita Trebežev, so ustvarili le ozke terasne nivoje in se v tej fazi še kot enoten tok odtekali v Belščico. Ko so dosegli višino okrog 540 m pa so jih pritegnile razpoke v apnencu. Razen kratke Jakobove luknje nad Matičkovo ogrado ni tod ponornih jam. Za vse jame v Bezgovcu, ležeče na terasni uravnavi od 550 do 560 m,



Sl. 46. Pogled z viadukta avtoceste pri Postojni na dolinsko zajedo — fosilno dolino, ki vodi mimo Pivke jame do flišnega zatoka pri Studenem

Abb. 46. Blick vom Viadukt der Autobahn bei Postojna auf das fossile Tal, das an der Pivka jama vorbei zur Flyschbucht von Studeno führt

so značilne strme vhodne pasaže, ki vodijo v vodoravne podzemeljske prostore v globini okrog 540 m. Flišna glina in flišni prodniki v njihovih rovih pričajo o erozijskem delu teh voda, ki so tudi danes ohranile strme padce ob prehodu v notranjost. To kaže zlasti voda Potoka v Jelovcu, ki na razdalji dobrih 100 m do razvejanih kanalov Beloglavke pade kar za 40 metrov. Vse jame v Bezgovcu so usmerjene proti jugu. Največja dosežena globina je v Beloglavki (502 m) in je še nižja od globine vodoravnega dela rovov v Medvedji jami, za katero meni R. Gospodarič (1973, 35), da jo je bolj primerno po nastanku vzeti na ponikanje vode iz studenske (severne) kot pa iz zagonske (zahodne) strani.

Kot že rečeno, se je v fazi vrezovanja teh potočkov enotni rečni tok razbil v vrsto potočkov, ki so vsak zase začeli ustvarjati svojo slepo dolino. Namesto odnašanja proti zahodu, se je začelo vrezovanje proti jugu in odnašanje flišnega materiala v nastajajoče ponore in obrobne jame. Razvijati se je začela podoba flišne kadunje — plitve skleda — (sl. 45) med strmaško dolomitno stopnjo na severovzhodu in 560 m visokim flišnim hrbtom Trebeži na jugozahodu. Vsi

potočki so tako izdelali svoje dolinice v nivoju 550 m do 540 m, ponorna mesta pa so v višini okrog 537 m. V isti višini ponirajo tudi potočki, ki prihajajo iz ozkih flišnih grap zahodno od motela Erazem. Edino ob požiralniku za Erazmom, ki priteka z razvodnega hrbta flišnih Trebeži (560 m) se je razvila 3 m visoka zatrepna apniška stena, vsi drugi požiralniški občasni potočki pa ponikujejo v manjših rupah ob stiku z apnencem. Flišni svet ob križišču pri motelu Erazem (kota 531 m) se je razvijal v postpliocenski dobi kot posebna



Sl. 47. Tretja razvojna faza Potoka v Jelovcu, kjer so pod petmetrsko navpično steno še danes vidni zatrpani vhodi v nekdanje požiralne rove

Abb. 47. Dritte Entwicklungsphase des Tälchens des Baches Potok v Jelovcu, wo unterhalb der 5 m hohen Wand noch heute die verrammelten Eingänge ehemaliger Schlucklöcher sichtbar sind



Sl. 48. Sklep nekdanje slepe doline Štrukljevega jarka, kjer je nekdanj voda ponikovala. Podobno situacijo najdemo ob vsem stiku fliša in apnenca v studenski uravnavi za vsemi sedanjimi potočki

Abb. 48. Schluß des ehemaligen Blindtales Štrukljev jarek, wo früher das Wasser versickerte. Eine ähnliche Situation ist in der Einebnung von Studeno in der ganzen Kontaktzone zwischen Flysch und Kalkstein bei allen jetzigen kleinen Bächen zu beobachten

vglobljena pokrajinska enota med 580 m visokim hrbtom Na vrhéh na severu, zahodnim flišnim razvodnim hrbtom Trebeži in vzhodno apniško Polhovico, ki je najzahodnejši del Postojnskega krasa. Tudi s tega sveta so odtekale vode povrhnje mimo Belske žage v Belščico. Ob vrezovanju nivojev okrog 550 m je nastajala edina kratka ponorna jama Jakobova luknja, katere vhod je usmerjen tako, da je mogla vanj vtekati voda s flišnega sveta okrog motela Erazem. Prav v tem se z bruhalniki pred Belsko žago pojavljajo površinske in podzemeljske bifurkacije med jadranskimi in črnomorskimi vodami. Po svojem nivoju je tod najnižja estavela v Kozarjevi ogradi, ki z višino 521,5 m dosega nivo aluvialne Belščice in pomeni v bistvu nadaljevanje obglavljene Belščice ob zahodnem robu Postojnskega krasa.

Podolžni profil od Potoka v Jelovcu do jame Beloglavke (pril. 3) na nivoju 550 do 560 m daje zanimiv vpogled v morfološki razvoj tega sveta na stiku med flišem in apnencem v kvartaru:

I. faza: nastanek Beloglavke v višini 560 m. Izdelale so jo skupne vode potokov Jamnika, Ponikev in Potoka v Jelovcu ob prelivanju s fliša na apneno uravnajo višine okrog 560 m.

II. faza: Nastajanje Jame IV v Bezgovcu v višini 555 m, ko so še vsi trije potočki tvorili enotno rečico. Kratka doba tega vrezovanja pa je zapustila v jami le malo flišnih sedimentov. Dokaz o precejšnji transportni moči vode so večji flišni prodniki, ohranjeni na stenah Žlebaste dvorane.

III. faza: Ponovno zarezovanje voda je v višini 551 m ustvarilo 5 m visoki skalni zatrep, v katerem so še izginjale skupne vode vseh treh potočkov (sl. 47).

IV. faza: Dvometrski skalni zatrep v višini 545 m so že izdelale vode Potočka v Jelovcu. Ponikve s potokoma Jamnik in Ponikve so se razvile v samostojno slepo dolino, s skupnim ponorom, 1 m do 2 m nad sedanjim ponorom.

V. faza: Nastanek recentnega ponora ob sedanji višini 537 m. Časovno kratka faza je mogla ob ponorih izdelati sorazmerno kratke in nizke jamske rove, ki se že po nekaj metrih končajo z odtočno sifonsko kotanjo. V njih je tudi sorazmerno malo flišnih sedimentov.

Tak razvoj je doživljal tudi ostali svet studenskega flišnega zatoka, le s to razliko, da so manjše vode in dolgotrajnejši pretok v Belščico ustvarile manj razvojnih faz. Tipičen primer za ta razvoj je Štrukljev jarek, kjer je za sedanjim ponorom izredno markanten zaključek nekdanje slepe doline tik ob robu apnenih skladov (sl. 48). Sedanji požiralniki so v grezih še pred apnenim robom začeli ponikovati v notranjost, kar kaže na tenko plast flišnega pokrova, ki tod transgredira na apnence.

Kratki zaključki

Svet studenskega flišnega zatoka predstavlja v Postojnski kotlini posebno morfološko enoto, vloženo med dolomitni svet pod Sv. Lovrencom (1119 m) na severu in kredni apniški rob Postojnskega krasa na jugu. Zanj je še tipično, da leži v svetu predjamskega preloma, ki je bistveno vplival na strukturo površja in podzemlja.

Iz tega sveta je treba izključiti Strmaško kvartarno ravnico, ki se je samostojno razvijala kot produkt ploskovne denudacije dolomitnih pobočij in se amfiteatralno umikala od tod potekajočega krednega roba. Ostala je v višini 640 do 660 m. Po vseh znakih sodeč, kakor ugotavljajo raziskovalci, se je pliocensko odmakanje s severnega roba Pivške kotline vršilo v prostoru od Hrušice preko Predjame, Belskega in Studenega v jugovzhodni smeri po studenski sinklinali. Takrat so studenski flišni zatok zapolnjevali flišni sedimenti vsaj do višine 580 m in se je voda lahko prelivala na uravnani svet Postojnskega krasa v smeri proti Planinskemu polju.

Ko so se vode v tem flišu zarezale do apniških skladov pri Predjami v višini pod 580 m in pozneje v Grapi v višini okrog 550 m, se je začela voda flišnega sveta gibati v obratni smeri proti zahodu in ponikanju postopno ustvarjati podzemeljski svet Predjame in pozneje v Grapi. Posebno markanten je nivo 540 do 560 m, ki je tu, v severnem delu Postojnske kotline na široko zastopan. Do tega nivoja se je flišni zatok odmakal normalno, po površinski poti z enotnim tokom Belščice. Te vode so ob robu Postojnskega krasa na studenski strani uravnale apniški svet v višini 550 do 560 m. V to razvojno fazo spada nastanek Severnega rova Jame I v Grapi in začetek poniranja voda v Bezgovcu, kjer se začne oblikovati najdaljša jama tega predela, Beloglavka. Nekdanja enotna Belščica je obglavljena, začno se v nivojih 550 do 540 m ustvarjati samostojne



Sl. 49. Meja med flišem in apnencem, ki jo spremljajo številni grezi in ponorne rupe. Situacija ob Kozarjevi ogradi (v ozadju), spredaj Matičkova ograda z estavelo

Abb. 49. Grenze zwischen Flysch und Kalkstein, begleitet von zahlreichen Erdfällen und Schlucklöchern. Im Hintergrund die Kozarjeva ograda, vorn hinter der Stange die Matičkova ograda mit der Estavelle

spele dolinice, katerih nekdanji ponori na kraju dolinic leže še na apnencu in se končno pomaknejo v višini 537 m v flišni svet, kjer skozi tenki flišni pokrov pred apniškim robom uhajajo vode v kraško notranjost. Ob primeru Potoka v Jelovcu smo spoznali pet razvojnih faz. Tako se je ob odnašanju flišnega gradiva iz zatoka razvila flišna kadunja, podobna vglobljeni skledi. Nagnjenost v dve smeri pa označuje obe fazi razvoja. Svet polagoma pada proti zahodu v smeri doline Belščice in je vglobljen ob stiku med apnenci in flišem ob južnem robu. V samem apneniškem robu Postojnskega krasa je zanimiva ugotovitev, da so se jame razvile predvsem ob vzhodnem kraju studenskega zatoka, medtem ko je zahodni apniški svet Polhovice skoraj brez jam in so razvite le redke vrtače. Tudi glede vrtač je svet za vzhodno skupino potočkov zatoka izredno bogat, saj je na primer na področju Cerkevnijskega okrog 80 vrtač na km². Mejo med flišem in apnencem spremljajo številni grezi in ponorne rupe, ki kažejo na svojevrstno razvojno pot tega sveta, pogojeno po litoloških in hidrografskih posebnostih flišnega zatoka (sl. 49).

Zusammenfassung

DIE MORPHOLOGISCHE, HYDROGRAPHISCHE UND SPELÄOLOGISCHE ENTWICKLUNG DER FLYSCHBUCHT VON STUDENO

Das Pivkabecken kann als das hydrographische Dach des Innerkrainer Karstes angesehen werden. Den größten Teil des flyschbedeckten Beckens und des verkarsteten oberen Pivkagebietes entwässert die Pivka mit ihrem Nebenfluß Nanošica zum bekannten Ponor am Eingang zur Höhle von Postojna; sie gehört somit dem Einzugsgebiet des Schwarzen Meeres an. Speläologische Untersuchungen im Randgebiet des kleinen Poljes von Sajevče, das einen Teil des Pivkabeckens bildet, haben dann gezeigt, daß das Bächlein Sajevščica gegen Süden zur Innerkrainer Reka abfließt (F. H a b e & F. H r i b a r 1962). Besonders interessant ist das nördliche Randgebiet des Beckens, welches durch den 560—580 m hohen Flyschrücken Na Vréh vom Großteil des Beckens abgesondert wird. Dieses von den Höhen der Hrušica — der Sajevka (762 m), des Sv. Lovrenc (1019 m) und des Lipovec — im Norden, und vom erwähnten Flyschrücken im Süden begrenzte Gebiet trägt den Namen Podgora. Hier hat sich ein besonderes hydrographisches Netz entwickelt: den westlichen Teil der Podgora entwässern die kleinen Bäche Belščica und Lokva, welche westwärts fließen und am Rande der Kreidekalke in die Höhle Jama v Grapi beziehungsweise in das Höhlensystem von Predjama versickern, von wo sie dann unter Tag die Karstquellen von Vipava erreichen. Beide Bäche gehören somit dem Einzugsgebiet des Adriatischen Meeres an (F. H a b e 1965). Der östliche Teil der Podgora verbreitet sich in die flache Mulde der Flyschbucht bei Studeno, wo die Wässer jedoch gegen Süden fließen und am Rande des Karstes von Postojna südlich von Studeno versickern. Ein nur geringer Teil des Wassers der Bucht fließt unter dem Namen Studenska voda zur Belščica und damit zur Adria. Das nördliche Randgebiet des Pivkabeckens in der Flyschbucht von Studeno hat sich für sich, getrennt vom übrigen Becken, entwickelt. Die Wässer von Studeno versickern in den Untergrund des Karstes von Postojna in höherer Lage als die Wässer bei Postojna und Veliki Otok (R. G o s p o d a r i č 1973, 37).

Im oberen Pliozän floß das Wasser aus dem Gebiet von Predjama den Nordrand des Pivkabeckens entlang an den heutigen Ortschaften Belsko und Studeno im Raum der Antiklinale von Studeno vorbei gegen die Pivkahöhle und vereinigte sich mit den Wässern, welche damals über die heutige Lokalität Ravbarkomanda (Räuberkommando) in der Richtung zum Polje von Planina flossen. Auf diese Phase der hydrographischen Entwicklung weist das ausgeprägte Trockental hin, welches von Studeno gegen die Pforte von Postojna zieht.

In dieser Entwicklungsstufe reichte der Flysch in der Flyschbucht von Studeno mindestens bis zur Höhe von 580 m. Als sich aber die Wässer in diesem Flysch tiefer, bis zu den Kalkschichten längs der Bruchlinie von Predjama einschnitten — so zuerst bei Predjama und dann im Graben Grapa westlich von Belsko — begann das Wasser ins Karstinnere zu versickern und die entgegengesetzte westliche Richtung einzuschlagen. Während des stufenweisen Einschneidens und Versickerns schuf es die Etagen des Höhlensystems von Predjama und später die Unterwelt der Jama v Grapi. Während ihres Fortschreitens gegen Westen schufen diese Wässer im Kalkstein die Terrassenniveaus, welche die Flyschbucht von Studeno an ihrer nördlichen und südlichen Seite begleiten. Besonders markant ist das Niveau in 540—560 m Höhe,

welches in großer Ausdehnung vertreten ist. Bis zu diesem Niveau floß das Wasser auf der Oberfläche ab. In diese Entwicklungsphase ist die Entstehung des Nordganges der Jama v Grapi zu setzen, gleichzeitig beginnt aber auch schon die Versickerung im Kalkrand des Karstes von Postojna und damit die erste Anlage der Höhle Beloglavka (s. Beil. 1 und 3). Der einst einheitliche, gegen Westen gerichtete Lauf der Belščica wurde geköpft und die Wässer der Flyschbucht von Studeno begannen sich in die südlich der Ortschaft in Niveaus zwischen 550—540 m gelegenen Randklüfte des Karstes von Postojna zu verlieren. Hierbei schufen sie selbständige blinde Tälchen, deren Wässer heute in der Kontaktzone zwischen Flysch und Kalk in 532—537 m Höhe versickern. Als Beispiel sei das Bächlein Potok v Jelovcu erwähnt, bei dem fünf Entwicklungsphasen festgestellt werden konnten (Beil. 3). Diese fallen im Kalkstein von 560 m abwärts stufenweise bis zum Kontakt zwischen Kalk und Flysch in 537 m Höhe ab, wo die Wässer heute durch die dünne, verwitterte Flyschdecke ins Karstinnere versinken. Infolge der Abtragung des Flyschmaterials durch die fächerförmig angeordneten Bäche entwickelte sich eine einer eingetieften flachen Schüssel ähnliche Mulde (Abb. 45). Im heutigen Relief dieser Flyschmulde macht sich die Neigung der höher gelegenen Terrassenniveaus gegen Westen bemerkbar, während die jüngeren Niveaus an den blinden Tälchen gegen Süden abgedacht sind.

Höhlen haben sich vor allem am Ostrand der Flyschbucht von Studeno als Ergebnis der stufenweise erfolgten Versickerung der Wässer gebildet. Unter ihnen nimmt die höchste Lage am Rande des Terrassenniveaus bei 560 m die schräg längs Brüchen und Harnischen entstandene Höhle Beloglavka ein (344 m lang, 58 m tief, vgl. Beil. 3 und Abb. 42, 43). Genetisch können wir bei ihr zwei Phasen unterscheiden. Die obere ältere Phase, welche bis zum P. 30 reicht, besteht aus größeren, teilweise versinterten schrägen Gängen. Diese setzen sich in die untere, jüngere Phase fort, für welche stark verzweigte junge Wassergänge charakteristisch sind, in denen zeitweilig die Hochwässer des schon erwähnten Sickerbaches Potok v Jelovcu auftreten. Die Luftlinie zwischen dem Schluckloch des Potok v Jelovcu und den unteren Abschnitten der Beloglavka beträgt nur 200 m. Das starke Gefälle dieser kurzen Strecke läßt auf die rasch erfolgte Tieferlegung der versickerten Gewässer schließen.

Die Höhlen I—IV v Bezgovcu (Abb. 33) sind kleinere einstige Schlucklöcherhöhlen, die in Höhen von 555—558 m entstanden sind. Zahlreiche Strudellöcher und Flyschablagerungen weisen auf die Tätigkeit der Wässer aus der Flyschbucht von Studeno hin. Unter ihnen ist besonders die 119 m lange und 16 m tiefe Höhle IV v Bezgovcu mit dem ausgeprägten, schön versinterten Saal Žlebasta dvorana (slow. žleb = Rinne) zu nennen (Abb. 38—41). Im westlichen Rand des Karstes von Postojna ist beim Sägewerk Belska žaga in 580 m Höhe die 28 m lange einstige Wasserhöhle Jakobova luknja mit ihrem markanten Eingang erwähnenswert.

Der Bach Osojščica, dessen Quellgebiet im Flyschrücken der Hügel bei Zagón gelegen ist, versickert heute in 530 m Höhe. Vorzeiten hat er in 5 m höherer Lage die 110 m lange einstige Wasserhöhle Osojca geschaffen (Abb. 20, 21). Sie zeichnet sich durch ihren ausgeprägten Eingang und tiefe Strudellöcher aus. Bei Hochwässern sind die jetzigen klufftförmigen Schlucklöcher der Osojščica nicht imstande, das gesamte Wasser aufzunehmen, so daß es über den Rand in die Höhle Osojca überfließt. Zu gleicher Zeit betätigen sich auch zwei Wasserspeier, die unmittelbar am Weg zwischen dem Motel Erasmus und dem Sägewerk Belska žaga liegen. Dieses oberflächlich abfließende Wasser ergießt sich in die Belščica und somit ins Einzugsgebiet des Adriatischen Meeres, während die unteren Kanäle des Ponors der Osojščica zum unter-

irdischen System der Pivka abfließen und somit dem Einzugsgebiet des Schwarzen Meeres angehören. Wir haben es also hier mit einer zeitweiligen unterirdischen Bifurkation zu tun.

Die jüngsten Schlucklochhöhlen am Ende der blinden Tälchen der Bäche von Studeno sind längs lokaler Bruchfugen entstanden und liegen in Höhen zwischen 533 und 537 m. Sie erreichen Längen bis zu 30 m und schließen mit kleineren ungangbaren Siphonkesseln ab. Eine Ausnahme bildet bloß die 37 m tiefe Schlucklochhöhle Štrukljev jarek (Abb. 18, 19) im Talschluß des gleichnamigen Tales. Sie erreicht die Länge von 146 m. Die Eingangs- und Endabschnitte der Höhle haben sich in Brüchen gebildet, welche von Norden gegen Süden gehen. In der Höhle selbst aber verlaufen die Richtungen der Brüche und Schichtfugen teils von NW gegen SO, wo sich Harnischen entlang eine tektonische Brekzie entwickelt hat, teils anderen Klüften und Brüchen entlang, die von NO gegen SW ziehen. Die Querprofile weisen auf die junge Entstehungszeit der Gänge hin, stehen doch ihre Höhe und Breite im Verhältnis 1 : 3 zueinander oder noch abweichender.

Mit Fluoreszein durchgeführte Färbungen des Baches Potok v Jelovici und zweier Zuflüsse der unterirdischen Pivka in der Pivkahöhle brachten kein positives Ergebnis. Der Umstand, daß alle Trocken- und Wassergänge im Randgebiet des Karstes von Postojna südlich von Studeno die Richtung auf die unterirdische Pivka einschlagen, bietet jedoch verlässliche Indizes dafür, daß sich diese Wässer längs der Synklinale von Studeno in die unterirdische Pivka ergießen, und zwar irgendwo nach ihrem Abflußsiphon in der Pivkahöhle.

Aus der Flyschbucht von Studeno floß das Wasser in der zweiten morphologischen und hydrographischen Entwicklungsphase gegen Westen ab und begann die unterirdischen Räume der Höhle Jama I v Grapi auszuhöhlen (Beil. 2). Nach Anzapfung der Wässer und ihrer Übernahme in den Nordrand des Karstes von Postojna erhielt sich an der Bruchlinie von Predjama nur noch der Bach Studenska voda, welcher der Belščica zufließt. Diese versickert am Ende eines blinden Tales unter einer 40 m hohen Kalksteinwand in die Höhle Jama I v Grapi westlich des Dorfes Belsko. Bis 1952 sind nur die ersten 50 m dieser Höhle erforscht worden. In außergewöhnlich trockenen Sommern drangen unsere Höhlenforscher in den Jahren 1951 bis 1971 in das Innere der Höhle vor und entdeckten den Nordgang (Severni rov) und den Abflußkanal (Odočni kanal). Mit einer Ganglänge von insgesamt 1319 m ist die Jama v Grapi I neben der Höhle von Postojna und dem Höhlensystem von Predjama die drittlängste Höhle im Bereich des Pivkabeckens (Abb. 22—29). Den Nordgang der Höhle zeichnen große Räume und zahlreiche Tropfsteingebilde aus. Diesen Gang hat die Belščica geschaffen, als sie noch in höherer Lage floß. Ablagerungen verrammelten den ursprünglichen Abfluß so massiv, daß sich das Wasser einen neuen Weg gegen SW bahnen mußte, und zwar durch einen neidrigen Erosionsgang, welcher das ausgeprägte Querprofil eines jungen dreieckigen, durch Erosion längs eines Bruches entstandenen Ganges aufweist und keinen Sinterschmuck trägt. Vom erforschten Abflußsiphon im Abflußkanal (vgl. die Beilage 2) bis zum Zuflußsiphon im Ostgang des Höhlensystems von Predjama liegt nur noch eine 280 m lange unbekannte unterirdische Strecke. Im Jahre 1963 durchgeführte Färbungen (F. H a b e 1970, 45) haben erwiesen, daß das Wasser der Belščica im Ostgang des Systems von Predjama wiedererscheint.

Literatura in viri

- Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Osnovna speleološka karta Vrhnika 2c, 1:25 000 (tipkopis). Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, 1973, 1—84, Postojna.
- Osnovna državna karta Postojna — 32, 33, 34, 1:5000.
- Bertarelli, L. & E. Boegan 1926: Duemila Grotte. 339—344. Milano.
- Boon, J. 1962: The Grapajama, Slovenija. Shepton Mallet Caving Club, Series Three, Journal Number 4, 1—7. Somerset.
- Brodar, S. 1952: Prispevek k stratigrafiji kraških jam Pivške kotline, posebej Parske golobine. Geografski vestnik 24, 43—76. Ljubljana.
- Acta carsologica 4, 57—84. Ljubljana.
- Buser, S. 1964: Tolmač h geološki karti Gorica, z geološko karto izdelano za potrebe Gozdnega gospodarstva Postojna. Ljubljana.
- Gams, I. 1965: H kvartarni morfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. Geografski vestnik 37, 61—101. Ljubljana.
- Geyh, M. A. & H. W. Franke 1971: 14 C Datierung von Kalksinter aus slowenischen Höhlen. Der Aufschluss 22, 22—37. Göttingen.
- Gospodarič, R. 1965: Tektonika ozemlja med Pivško kotlino in Planinskim poljem ter njen pomen za sistem Postojnskih jam (tipkopis). Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, 1—163. Postojna.
- Gospodarič, R. & F. Habe & P. Habič 1968: Vodni viri za Postojno (tipkopis), Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, 27—28. Postojna.
- Gospodarič, R. 1973: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. Doktorska disertacija (tipkopis), 1—197. Postojna.
- Gospodarič, R., & P. Habič 1966: Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline. Naše jame 8/1—2, 12—32. Ljubljana.
- Habe, F. 1970: Predjamski podzemeljski svet. Acta carsologica 5/1, 5—94. Ljubljana.
- Habe, F. & F. Hribar 1964: Sajevoško polje. Geografski vestnik, 36 (1964), 13—14. Ljubljana.
- Habič, P. 1968: Kraški svet med Idrijo in Vipavo. Prispevek k poznavanju razvoja kraškega reliefa. Dela Inštituta za geografijo SAZU 11, 1—239. Ljubljana.
- Kossmat, F. 1916: Die Morphologische Entwicklung der Gebirge im Isonzo- und oberen Savegebiet. Zeitschr. d. Gesellschaft f. Erdk. zu Berlin 9, 575—675. Berlin.
- Krebs, N. 1924: Fragmente einer Landeskunde des Innerkrainer Karstes. Cvijič-Festschrift. Belgrade.
- Limanowski, M. 1911: Wielkie przemieszczenia mas skalnych w Dinarydach kolo Postojny. Rozprawy wydzialu Mat. Przyn. Akad., ser. III, tom 10, dzial A-W. Krakow.
- Melik, A. 1951: Pliocenska Pivka. Geografski vestnik 23, 17—39. Ljubljana.
- Michler I. Zapisnika barvanja studenskih ponikalnic 5. 6. 1954 in 22.—24. 2. 1957. Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU. Postojna.
- Pavlovac, R. 1963: Stratigrafski razvoj starejšega paleogena v jugozahodni Sloveniji. Razprave 4. raz. SAZU 7, 419—556. Ljubljana.
- Pleničar, M. 1961: Prispevek h geologiji Postojnskega jamskega sistema. Naše jame 2 (1960), 54—58. Ljubljana.
- Rus, J. 1925: Morfogenetske skice iz notranjskih strani. Geografski vestnik 1, 24—29. Ljubljana.
- Slejško, A. 1957: Jama v Grapi. Proteus 19, 131—132. Ljubljana.
- Winkler, A. 1957: Geologisches Kräftespiel und Landformung. 1—489. Wien.

HIDROGEOLOŠKE ZNAČILNOSTI POVODJA BELE
PRI VRHNIKI IN PROBLEMI IZRABE KRAŠKIH
VODA ZA OSKRBO

(S 13 SLIKAMI)

DIE HYDROGEOLOGISCHEN EIGENHEITEN DES EINZUGSGEBIETS DER
BELA BEI VRHNIKA UND DAS PROBLEM DER AUSNUTZUNG VON
KARSTWÄSSERN FÜR DIE WASSERVERSORGUNG

(MIT 13 ABBILDUNGEN)

PETER HABIČ

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 6. FEBRUARJA 1975

VSEBINA

Izvleček — Abstract	218
Uvod	219
Hidrogeološke značilnosti doline Bele	220
Hribski potok	227
Primcov in Bečkajev studenec	233
Barvanje potoka v Koritih	235
Hidrogeološke značilnosti ožjega zaledja Primcovega studenca	237
Vodna zveza med Hribskim potokom in Primcovim studencem	245
Pregled važnejših hidrogeoloških ugotovitev	249
Nekateri problemi izrabe vodnih virov za oskrbo	251
Die hydrogeologischen Eigenheiten des Einzugsgebiets der Bela bei Vrhnika und das Problem der Ausnutzung von Karstwässern für die Wasserversorgung (Zusammenfassung)	254
Literatura in viri	255

Izvilleček

UDK 551.444:628.112 (497.12-14)

Habič, Peter: Hidrogeološke značilnosti povodja Bele pri Vrhniku in problemi izrabe kraških voda za oskrbo. Acta carsologica 7, 215—256, Ljubljana, lit. 30.

Preučeni so kraški izviri v dolomitih in apnencih v dolini Bele pri Vrhniku. Izviri v dolomitu imajo dobro vodo, vendar so ob nizkih vodah prešibki. Izdaten kraški izvir sredi naselja je vedno bolj onesnažen in brez čiščenja ni uporaben. Preučene so možnosti za zajetje vode v nenaseljenem krasu pred izvirom. Z urbanizacijo kraških predelov se stopnjuje vprašanje, kako varovati zaledje izvirov in kako zagotoviti čiščenje kraške vode za pitje.

Abstract

UDC 551.444:628.112 (497.12-14)

Habič, Peter: Hydrogeological Characteristics of the Bela River Basin and the Problems of Karst Water Supply. Acta carsologica 7, 215—256, Ljubljana, Lit. 30.

The karst sources in dolomites and limestones in the valley of the Bela stream near Vrhnika are studied. The sources in dolomites have good waters, but they are at low waters too feeble. The abundant karst source in the centre of the settlement is more and more polluted and useless without purifying. The possibilities for water catchment uninhabited karst before the source are studied. By the karst region urbanization the question how to protect the hinterland of sources and how to assure the purifying of karst water for drinking increases.

Naslov — Address:

dr. Peter Habič
Inštitut za raziskovanje krasa SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Uvod

Kras je s svojim vodnim bogastvom lahko dragocen vir za oskrbo naselij s pitno vodo. Kraška voda nadomešča podtalnico v prodnih in peščenih naplavinah, arteško vodo v posebnih geoloških razmerah in razne umetne zadrževalnike površinskih voda. Nekatere naravne posebnosti ovirajo izrabo kraške vode za oskrbo, druge pa jo pospešujejo. V naslednjem bomo obravnavali probleme izkoriščanja vode v izvirnem območju krasa, ne pa onih v ponornih predelih ali sredi kraškega površja.

Dokler je poraba vode še razmeroma majhna, se mnoga naselja na krasu in na njegovem obrobju lahko oskrbujejo iz raznih studencev in vodnjakov. Najbolj primerni za vodno oskrbo so precej stalni izviri v dolomitu; v ugodnih legah lahko celo gravitacijsko napajajo vodovodno omrežje. Z naraščanjem potreb pa postajajo vedno bolj zanimivi tudi večji kraški izviri, kjer pa teh ni, je treba izrabiti vodno bogastvo kraškega podzemlja. Uspešna izraba kraških voda je zelo odvisna od poznavanja hidrogeoloških značilnosti krasa, izdatnosti in režima podzemeljskih voda. Z naraščanjem potreb se izboljšujejo metode za odkrivanje in zajemanje vode v krasu, pa tudi za oplemenitenje režima ter kvalitete vode.

Ob zahodnem obrobju Ljubljanskega barja je vrsta izdatnih in stalnih kraških izvirov Ljubljanice, vključno pa primanjkuje zdrave pitne vode za oskrbo Vrhnike in bližnjih naselij. Vzrokov za takšno neskladje je več in jih bomo na kratko predstavili. Tu se srečujemo z značilnimi vodnimi problemi krasa in hkrati z omejenimi možnostmi izrabe bogatih kraških voda za oskrbo naselij.

Kraški izviri Ljubljanice dobivajo vodo iz obsežnega naseljenega in prometno zelo izpostavljenega kraškega zaledja, zato so te vode že precej onesnažene in brez posebnega čiščenja niso primerne za pitje (M. Zupan 1974). Sedanja oskrba Vrhnike z vodo je navezana na tri manjše kraške izvire, od katerih sta dva v dolomitu, tretji pa v apnencu. Največ vode črpajo iz slednjega, to je iz Primcovega studenca, medtem ko dolomitna izvira Lintvern in Staje gravitacijsko prispevata manj vode. Slednja dva izvira imata sicer dobro pitno vodo, vendar premalo, Primcov studenec je dovolj močan, ima pa bakteriološko okuženo vodo in se po močnem deževju tudi precej kali. Izvir in zajetje sta že sredi naselja, ki se naglo razvija, zato številnih virov onesnaževanja v neposrednem zaledju ni mogoče odpraviti. V zadnjih letih se je z razraščanjem naselja nad izvirom kvaliteta vode znatno poslabšala in zgodilo se je že, da je gnojnica tekla po vodovodnih ceveh; zaradi vode je bila na Vrhniki leta 1971 tudi epidemija hepatitisa (S. Opačič & D. Markić 1974).

Glede na celo vrsto nevšečnosti postaja vedno bolj jasno, da sedanje zajetje pri Primcu ni več primerno za oskrbo Vrhnike in sosednjih naselij. Dokler pa ne bo zgrajeno novo zajetje s čistilnimi napravami, je treba obstoječi vodni vir v največji možni meri varovati pred onesnaženjem.

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU je leta 1968 po naročilu Komunalnega podjetja iz Vrhnike podrobneje preučil izdatnost in kvaliteto Primcovega studenca in skušal ugotoviti položaj in obseg njegovega zaledja. Pri teh raziskavah se je pokazala tudi potreba po preučitvi širšega kraškega zaledja Hribskega potoka in porečja Bele, ker so vse vode med seboj povezane.

Nobeden od obravnavanih izvirov dotlej ni bil zajet v redni opazovalni mreži Hidrometeorološkega zavoda SRS. Hribski potok in Primcov studenec so začeli redno opazovati šele l. 1973, zato sta izdatnost in kvaliteta približno ugotovljena z občasnimi merjenji in opazovanji. Posebej je bil merjen in opazovan pretok Lintverna, ki je tipična zaganjalka in bruha vodo v neenakih presledkih. Rezultati raziskav tega intermitentnega kraškega izvira so že objavljeni (P. H a b i č 1970). V povodju Bele je bilo izvedenih več barvanj. Dokazana je zveza Bele s Hribskim potokom ter potoka v Koritih pod Planino s Primcovim in Bečkajevim studencem. Ugotovljena je tudi podzemeljska zveza Majerjevega in Hribskega potoka. Podrobneje je bila preučena geološka zgradba (R. G o s p o d a r i č 1968) ter morfološke in speleološke značilnosti kraškega zaledja izvirov. Z ročnimi vrtinami je bila v vrtačah neposredno nad Primcovim studencem dosežena kraška voda in nato opazovano nihanje njene gladine. Geološki zavod iz Ljubljane je izvrtal tri strojne vrtine, globoke od 10 do 12 m, in izvedel dvojne poskusnih črpanj. S temi raziskavami in z obdelavo podatkov je dopolnjeno znanje o hidroloških značilnostih preučevanih izvirov. Tretja naloga je obsegala določitev najugodnejšega mesta za novo zajetje v primerni oddaljenosti od naseljenega območja. Žal so metode za odkrivanje vodnih žil v krasu še zelo nepopolne, zato te naloge ni bilo mogoče v celoti izpolniti. Praktično je še vedno lažje zajeti vodo kraškega izvira, kot iskati glavno žilo v njegovem zaledju. Vkljub temu je bilo na podlagi geoloških in hidroloških raziskav, vrtanj in poskusnega črpanja opredeljeno najugodnejše območje za zajetje kraških voda izven naseljenih predelov. Zaradi pomanjkanja sredstev program nadaljnjih raziskav in predvsem poskusnih črpanj ni bil izveden.

Hidrogeološke značilnosti doline Bele

Zahodno obrobje Ljubljanskega barja je med Borovniško in Podlipsko dolino reliefno razmeroma malo razčlenjeno. Edino ob izvirih Ljubljanice pri Vrhniki sega barska ravnina globlje v obod s trojnim zatrepom. Južna dva kraka tega zatrepa, Retovje in Močilnik, se končata s strmimi prepadnimi stenami, pod katerimi so izviri Velike in Male Ljubljanice. Tretji, širši krak, imenovan tudi Klis, ob katerem so izviri Hribskega potoka ter Primcovega in Bečkajevega studenca, se zahodno od Vrhnike nadaljuje v dolino Bele. Ta je v spodnjem delu še razmeroma prostorna in vanjo se vedno bolj razrašča del Vrhnike, navzgor pa se dolina zoži in preide v ozko sotesko, kjer je ob potoku komaj prostora za gozdno pot. Dolina Bele je dolga le dobrih 5 km in precej položna, saj se povzpne s Klisa do povirnih grap le za 100 m. Precej bolj strme so stranske

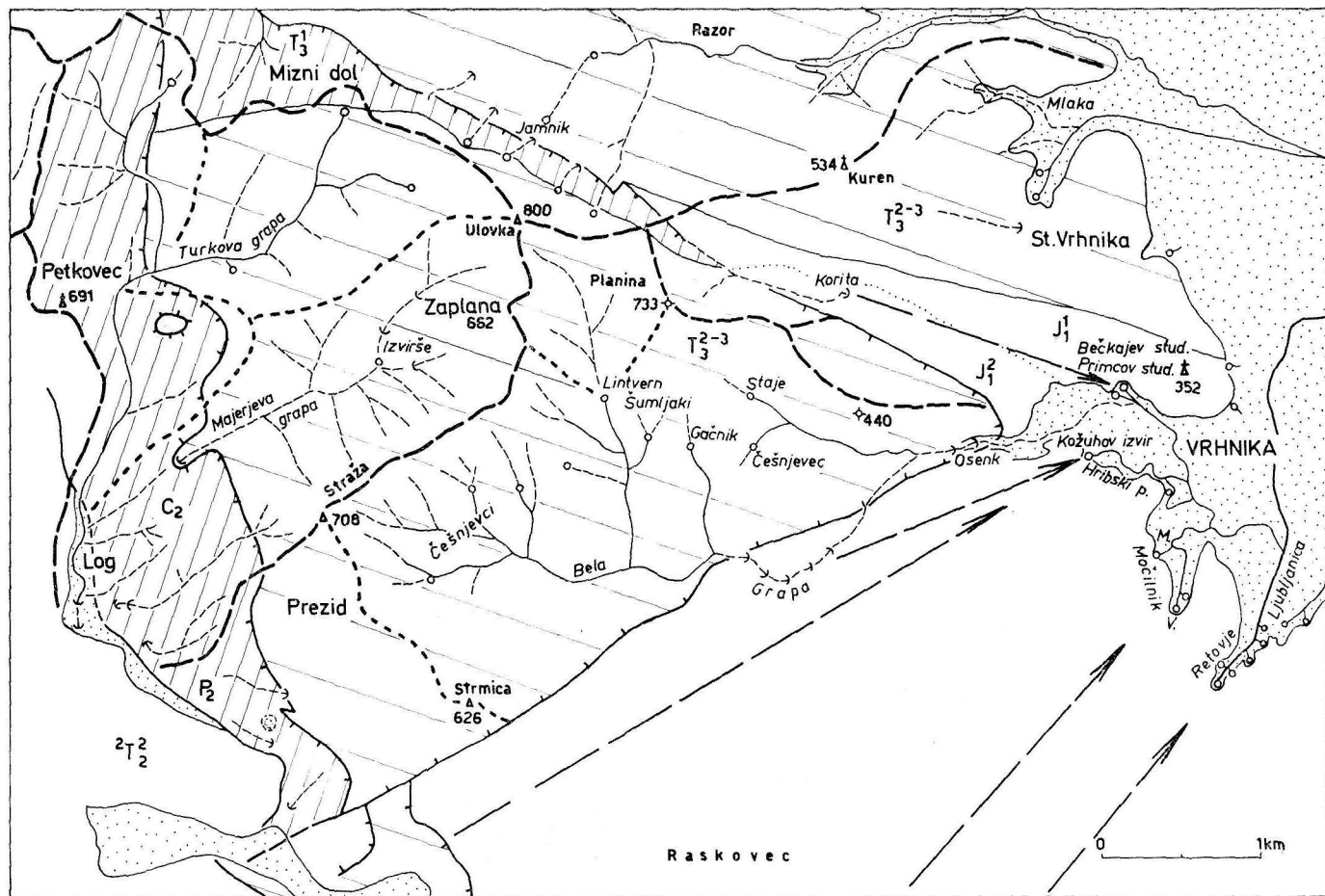
grape in sklepni del doline, ki sega iz višin okrog 400 m do razvodnih slemen v višinah med 600 in 800 m.

Oblika glavne doline in stranskih grap opozarja na precejšnjo mladost in intenzivno vrezovanje v starejše planotasto površje v višinah nad 500 m. Zgornji in srednji del doline je brez naplavin, te se pojavijo šele v spodnjem razširjenem prehodu v neposredno dno Barja pri Vrhniki. Tam je Bela nasula obsežen vršaj dolomitnega gruščja ter z njim zajezila kraške izvire Hribskega potoka in Primcovega studenca. Dolina Bele se je oblikovala vzporedno z razvojem mladopleistocenske tektonske kotline Ljubljanskega barja in hudourniške vode iz strmih dolomitnih bregov so z drobirjem zasipale nastajajočo depresijo (P. Habič 1973 a). V zgornjem in srednjem delu doline teče Bela pretežno po živoskalni podlagi, v spodnjem delu pa po lastnih naplavinah. Povirje Bele in vse njene stranske grape so zarezane v triasnem dolomitu zaplaninskega pokrova, osrednji del doline pa je izoblikovan ob stiku tega dolomita s krednimi apnenci, ki pripadajo vrhniško-cerkniški grudi (S. Buser 1965). Na apnenice zadene Bela v srednjem in znova v spodnjem delu doline, kar bistveno vpliva na njeno hidrološko značilnost (sl. 1).

Porečje Bele je vrezano ob stiku dveh tektonskih enot z različno litološko sestavo, zato je asimetrično, saj z desne apniške strani nima nobenega dotoka. Bela dobiva vodo le z leve strani, iz stranskih dolomitnih grap, ki so zarezane v južno pobočje Planine (733) in Ulovke (800). V grapah so razmeroma visoke v bregu razvrščeni značilni prelivni izviri, kot so Češnjevci, Jelovec, Lintvern, Šumljaki, Gačnik, Staje in drugi. Izviri so povečini majhne izdatnosti, od 0,5 do 5 l/s, so pa razmeroma stalni in imajo nekoliko več vode le krajši čas po izdatnejših padavinah. Ob deževju je njihov prispevek Beli, razen Lintverna in Staj, manjšega pomena, saj se več vode nateče s površja po grapah in dolini navzdol. Visoke vode Bele so cenjene na 2 do 3 m³/s, vendar priteče toliko vode do Vrhnike le ob največjih nalivih, sicer pa je Bela v spodnjem delu večinoma suha. Dobro tretjino visokih voda prispeva Lintvern, ki je nekaj dni po deževju stalen izvir, nato pa bruha vodo v vedno daljših presledkih. Leži v eni od stranskih grap, ki so zarezane v južno pobočje Planine. Voda izvira iz dolomitnega kraškega masiva v nadmorski višini 504 m, dobrih sto metrov nad dnom doline.

Lintvern je tipičen intermitentni kraški izvir ali zaganjalka in se odlikuje z izredno intenzivnostjo zaganjanja. Prvi ga je opisal L. Schönleben (1681), nato ga omenja J. V. Valvasor (1689), pozneje pa so pisali o njem še W. Putick (1903), J. Wester (1942), D. Novak (1967), D. Gavrilović (1967) in P. Habič (1970). Zaradi dobre vode in ugodne lege je bil leta 1937 zajet za vrhniški vodovod. Znatna razlika med nizkimi (3,5 l/s) in visokimi vodami (1000 l/s) kaže na izredno neuravnovešen režim. Kot zaganjalka deluje pri srednjih in nizkih vodah, ko je poprečni dotok v podzemeljski rezervoar manjši od 400 l/s, pri visokih vodah pa nekaj časa po dežju stalno teče. Izbruhi si nato sledijo v različnih presledkih od nekaj ur do 20 dni. V času med dvema izbruhoma se prelija iz podzemlja le okrog 10 l/s, maksimalni pretok ob normalnem izbruhu znaša okrog 400 l/s, ob visoki vodi pa lahko doseže tudi do 1000 l/s (sl. 2).

Najnižji stalni izvir ob Beli je v Stajah pod Planino in podobno kot vsi drugi v tem predelu spada med prelivne dolomitne izvire, ima pa sorazmerno



Sl. 1. Hidrogeološka skica povodja Bele, Hribskega potoka in Primcovega studenca. 1 izvir, 2 ponikalnica, 3 občasna ponikalnica, 4 razvodnica, 5 smer podzemeljskega toka, dokazana zveza, 6 nariv, 7 litostratigrafska meja, 8 kvartarne naplavine, 9 kredni, jurski in triasni apnenči, dobro prepustne kamnine, 10 triasni dolomit, srednje prepustne kamnine, 11 permokarbonski in triasni skrilavci in peščenjaki, neprepustne kamnine

Abb. 1. Hydrogeologische Skizze des Einzugsgebietes der Bela, des Hribski potok und des Primcov studenec. 1 Quelle, 2 Schwinde, 3 zeitweilige Schwinde, 4 Wasserscheide, 5 unterirdische Fließrichtung, nachgewiesene Wasserverbindung, 6 Überschiebung, 7 lithostratigraphische Grenze, 8 Quartäre Aufschüttung, 9 Kreide-, Jura- und Triasskalke — gut durchlässige Gesteine, 10 Triasdolomit — mitteldurchlässige Gesteine, 11 permokarbonische Schiefer, Triasschiefer und Sand-



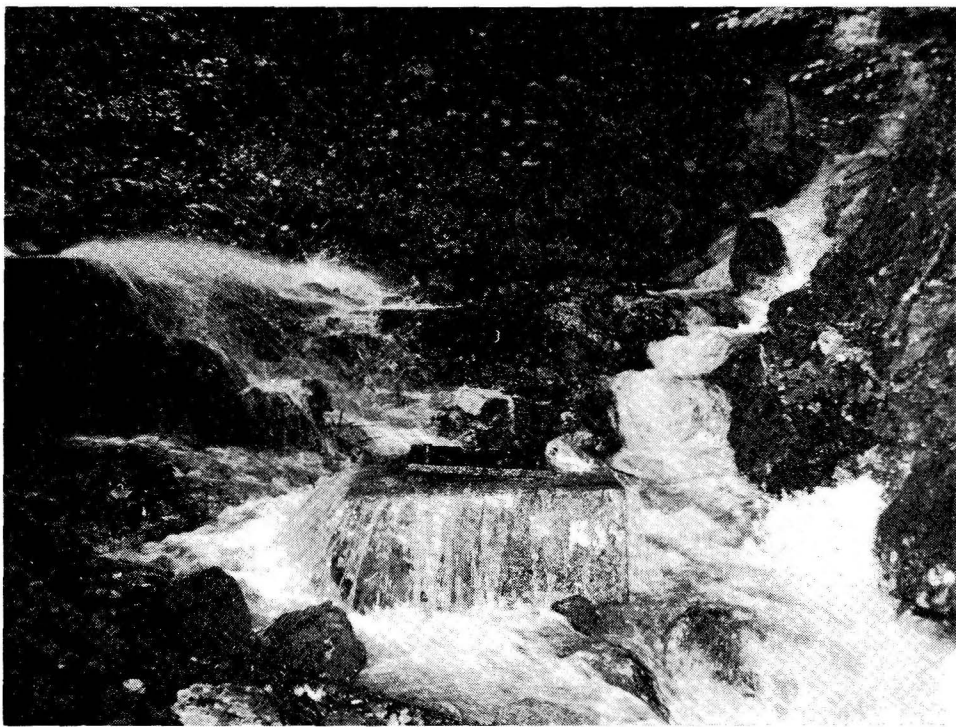
Sl. 2. Ob izviru Lintverna. Po nalivih deluje ta zaganjalka kot stalen izvir s pretokom do $1 \text{ m}^3/\text{sek}$

Abb. 2. An der Quelle des Lintvern. Nach Regengüssen betätigt sich diese intermittierende Quelle als ständige Quelle mit Durchflüssen bis zu $1 \text{ m}^3 \text{ sec}$.

najbolj umirjen režim. Voda v Stajah izvira med 404 in 406 m nadmorske višine in le po najmočnejšem deževju priteka še iz 30 m višje ležečega in 80 m oddaljenega izvira. Spodnji izvir je obzidan z okrog 4 m globokim jaškom, iz katerega je napeljan vodovod. Voda priteka iz majhne votline ob izrazitem prelomu v dolomitu. Ob visoki vodi niti vodovodne, niti prelivne cevi ne zmorejo celotnega dotoka, zato sili voda pod pritiskom izpod pokrova jaška (sl. 3). Izvir v

Stajah je po hidroloških in morfoloških značilnostih ter po legi tipičen kraški izvir v dolomitu. Minimalna izdatnost je ocenjena na 1,5 l/s. Leta 1968 je imel najnižji pretok dne 29. 10. in sicer 4 l/s, po izdatnem nalivu 22. 9. t. l. pa je znašal pretok okrog 250 l/s. Pretoki v Stajah so zaradi odmaknjene lege doslej le nekajkrat merjeni, občasna opazovanja pa kažejo, da je izvir po deževju še precej izdaten. Leta 1904 je bil zajet za oskrbo Vrhnike, žal pa so izrabljene le minimalne vode, vse druge se neizkoriščene prelivajo mimo zajetja. Temperatura vode niha med 8° in 10° C in je nekaj višja od temperature Lintverna. Obe vodi sta kemično zelo sorodni, saj pritekata iz skupnega dolomitnega zaledja.

Med Lintvernem in Stajami je na južnem pobočju Planine še več manjših stalnih ali občasnih izvirov. Pomembnejši so Šumljaki, Gačnik in Češnjevec. Po hidroloških značilnostih so podobni izviru v Stajah, le da so precej šibkejši, saj dajejo ob suši manj kot 1 l/s, ob visokih vodah pa največ 100 l/s. Podobni, vendar še nekoliko šibkejši so izviri v zahodnih povirnih grapah Bele pri Strmci. Vkljub stalnim izvirov v povirju ima Bela po dolini navzdol zelo nestalen tok. Ob suši izgubi že vso vodo v Grapi, to je v zoženem srednjem delu doline



Sl. 3. Izvir v Stajah ob visoki vodi. Dotok vode v zajetje je precej večji od kapacitete odtočne cevi

Abb. 3. Quelle Staje bei Hochwasser. Der Zufluß des Wassers zum Wasserwerk ist merklich stärker als die Kapazität des Abflußrohres

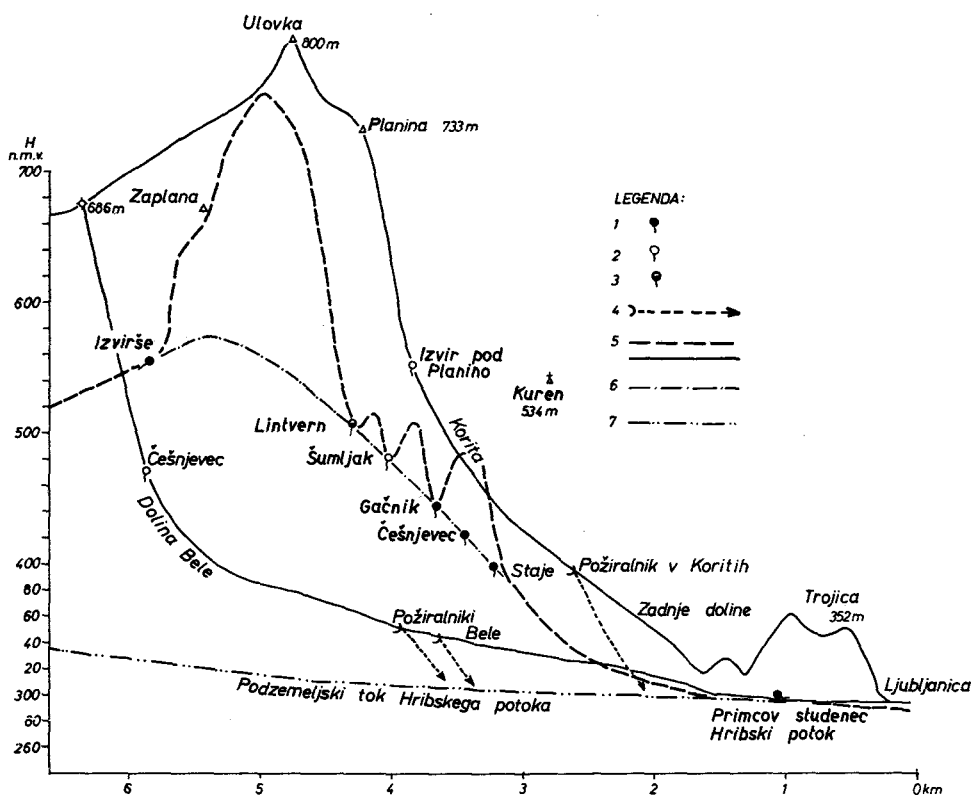
na krednih apnencih. Le nekoliko večje vode in občasni izbruhi Lintverna podaljšajo površinski tok po dolini navzdol do Osenka, kjer Bela znova zadene na apnenca in v njih ponikne. Kadar je v strugi več vode, kot jo zmorejo ti požiralniki, teče po apnencih mimo Osenka in ponikne nekaj sto metrov niže, ko priteče do lastnih gruščnatih in peščenih naplavin. Samo ob najvišji vodi teče Bela po strugi do sovodnji s Primcovim studencem, kar se lahko zgodi sicer večkrat na leto, traja pa nekaj ur ali največ teden dni.

Na podlagi geološke zgradbe (R. Gospodarič 1968; S. Buser 1965) in že znanih vodnih zvez v zaledju izvirov Ljubljani (A. Šerko 1946; I. Gamš 1965) je bila postavljena domneva, da Bela zateka v izvire Hribskega potoka, del njenih voda pa morda tudi v Primcov in Bečkajev studenec. To domnevo smo želeli preveriti z barvanjem Bele v Grapi.

Za barvanje so bile ugodne vodne razmere dne 28. 5. 1968, ko je vsa Bela ponikala v Grapi. Opazovani so bili Hribski potok, Primcov studenec in Mali Močilnik, talne vode v naplavini spodnje Bele ni bilo mogoče zajemati. Sicer pa to tudi ni bilo potrebno, ker je vsa Bela ponikala v srednjem delu doline na apnencih. Bela je bila obarvana ob 14. uri s 3 kg fluoresceina, ko je imela v Grapi 10 l/s vode. Barva se je pojavila po 50 urah v Kožuhovem izviru Hribskega potoka, dne 30. 5. ob 16. uri. Najmočnejše je bila voda obarvana dne 31. 5. ob 6. uri zjutraj, koncentracija barve pa je nato polagoma upadala in zadnjo sled je bilo mogoče zaznati še 1. 6. ob 16. uri. V dneh po barvanju Bele je padlo nekaj dežja, zato so vode v izviri narasle in tudi Bela je tekla dalje do Osenka, kjer se je končno izgubila v strugi. Dež ni motil samega poteka barvanja, temveč je le pospešil pretok vode po podzemlju in zaradi višjih voda se je barva nekoliko bolj razredčila. Povprečna hitrost podzemeljskega toka od Grape do izvirov Hribskega potoka pri Kožuhu je v razdalji 2000 m in pri 50 m višinske razlike (25 ‰) znašala 1,0 cm/s. Upoštevati pa moramo veliko nesorazmerje med količinami Bele v Grapi in izviri Hribskega potoka. V času barvanja so bili pretoki v razmerju 1 : 50, ko pa se je pojavila barva v izviri, je imel Hribski potok okrog 1000 l/s, razmerje pa se je povečalo na 1 : 100. Hitrost podzemeljskega toka Bele se ujema s hitrostjo, ki so jo ugotovili pri barvanju Petkovšnice in Rovtarice (A. Šerko 1946).

Z barvanjem je torej dokazano zatekanje Bele v podzemeljski tok, ki napaja izvire Hribskega potoka ter dobiva pretežni del vode iz območja Rovtarice in Petkovšnice. Prispevek Bele k tem vodam je razmeroma majhen, v Grapi ponikne največ 10–20 l/s. V spodnjem delu doline na apnencih pri Osenku do 100 l/s. Voda se izgublja tudi v strugi od Osenka navzdol, vendar tam ponikne že v dolomitni gruščnati naplavini, njena nadaljnja podzemeljska pot pa še ni znana.

Bela ima svojevrsten vodni režim, ki je značilen za dolomitne kraške predele, kjer del padavin ponikne in napaja niže ležeče izvire, del pa odteče po površju. Ker pa je pretežni del porečja Bele izoblikovan ob stiku dolomita in izdatno zakraselega apnenca, se v režimu površinskih voda še bolj uveljavlja kraški značaj. V takšnih razmerah ni mogoče podrobneje opredeliti vodnih razmer in ugotoviti prave velikosti hidrografskega zaledja. Še najlažje se približamo dejanskim razmeram, če upoštevamo morfološko površinsko razvodje in ga skušamo dopolniti s podzemeljskim na podlagi hidrogeoloških značilnosti.



Sl. 4. Sestavljeni vzdolžni prerez Hribskega potoka in Primcovega studenca. 1 stalni kraški izvir, 2 občasni izvir, 3 zaganjalka, 4 požiralnik in smer podzemeljskega toka, 5 prerez površja, 6 nivo kraške vode v dolomitu, 7 nivo kraške vode v apnencu

Abb. 4. Zusammengesetztes Längenprofil des Hinterlandes der Quellen Hribski potok und Primcov studenec. 1 ständige Karstquelle, 2 zeitweilige Quelle, 3 intermittierende Quelle, 4 Schluckloch und unterirdische Fließrichtung, 5 Oberflächenprofil, 6 Karstwasserniveau im Dolomit, 7 Karstwasserniveau im Kalk

Površinsko razvodje Bele poteka na levi dolomitni polovici porečja od Storževega griča (440) čez Planino (733) na Ulovko (800) in nato po slemenu do Straže (708 m) nad Prezidom. Razvodna slemena razen na Straži niso ostra, temveč zaobljena in v zakraselem dolomitu ponikne znaten del padavin. Na dolomitu v območju Strmice poniknejo vse padavine v podzemlje. Podobno velja tudi za osrednji najvišji hrbet zaplaninskega dolomitnega pokrova v predelu med Planino in Ulovko. Takšne hidrografske razmere so tudi onstran površinskega razvodja v območju Zaplane in Majerjeve grape. Očitno je torej, da se znaten del padavin v okolici Zaplane preceja globlje v zakraseli dolomit in napaja tudi kraške izvire v Beli, zato je izdatnost teh izvirnov, predvsem Lintverna in Staj, nesorazmerna z velikostjo njihovega površinskega zaledja. Izvir v Stajah ima na primer le 0,45 km² površinskega zaledja na strmem jugo-

vzhodnem pobočju Planine med Blatnim dolom (460) in Storževim gričem (440). To področje je v celoti obraslo z listnatim drevjem in ni naseljeno, kar je zelo ugodno za režim in kvaliteto vode. Izdatnost izvira pa kaže, da se v Staje stekajo vode iz precej širšega zaledja, kot ga je mogoče opredeliti s površinskim razvodjem.

Pretakanje vode v dolomitu je v veliki meri odvisno od nagnjenosti skladov in sistema razpok. Skladi dolomitnega zaplaninskega pokrova so večinoma nagnjeni proti SW, večji prelomi pa potekajo v smeri sever—jug, pa tudi v dinarski smeri. Očitno je geološka zgradba ugodna za odtok podzemeljskih voda proti jugu v povirje Bele. Takšna usmerjenost odтока je nedvomno omogočila tudi intenzivnejšo erozijo in poglobljanje doline Bele, še posebno, ker so se tudi površinske vode lahko odtekale neposredno k nižjemu Ljubljanskemu barju. Bistveno drugačne morfološke in hidrografske razmere pa zasledimo v tistem delu zaplaninskega dolomitnega pokrova, ki se vkljub zakraselosti še vedno v pretežni meri odceja v porečje Petkovščice in z njo šele posredno v kraške izvire ob robu Barja.

Na usmerjenost odтока podzemeljskih voda iz zaplaninskega dolomitnega pokrova proti jugu kaže tudi zanimiva razporeditev izvirov v povirju Bele. V shematičnem podolžnem prerezu so prikazani glavni prelivni izviri (sl. 4). Najvišje leži Lintvern, potem pa si v smeri proti Stajam sledijo Šumljaki, Gačnik in Češnivec. Vsi so pomaknjeni v srednji del zatrepnih stranskih grap, ki se zarezujejo v pobočje Planine.

Pri oceni letne izdatnosti Bele si pomagamo s količino padavin in približno omejitvijo zbirnega področja. V zaledju Lintverna in Staj pade povprečno na leto okrog 1800 mm padavin in če računamo, da vsaj polovico te vode odteče v izvire, potem bi za 2 km² zaledja znašal poprečni letni pretok 60 l/s. Pri popolnem izkoriščanju te vode bi se lahko Vrhnika v celoti oskrbovala s pitno vodo iz gravitacijskega vodovoda. Žal pa zakrasela dolina Bele vkljub ugodnim reliefnim razmeram zavira izgradnjo primerne akumulacijskega bazena za letno izravnavo vodnega režima.

Hribski potok

Pri Kožuhovem mlinu na zahodnem obrobju Vrhnike izvira Hribski potok v dveh le nekaj deset metrov oddaljenih izvirih. V nasprotju z izrazitimi zatrepnimi dolinami ob drugih izvirih Ljublanice južno od Vrhnike (Močilnik, Retovje) je pri Kožuhovem izviru zatrep komaj opazen. Voda izvira ob vznožju strmega kraškega brega, ki ga obdajajo naplavine potoka Bele. Gladina v izvirih niha med 296,5 in 297,5 m nadmorske višine. Na nihanje pa vpliva razen pretoka tudi zapornica bližnjega mlina (sl. 5).

Izvir Hribskega potoka je po hidroloških lastnostih najbolj soroden Primcoveму studencu na nasprotni strani doline Bele. Po pretokih je precej močnejši, ob visoki vodi do desetkrat, ob nizkih pa komaj dvakrat; tudi kemične lastnosti vode so si v obeh izvirih zelo podobne. Bakteriološko so vode okužene že na območju glavnih ponikalnic v zaledju, to je v povodju Rovtarice in Petkovščice, ki napajata izvir Hribskega potoka. K zdravi pitni vodi pa tudi ne prispevajo odplake iz naselja Kurja vas ob cesti Vrhnika - Logatec, ki leži v neposrednem kraškem zaledju Kožuhovega izvira. Hribski potok je potemtakem



Sl. 5. Kožuhova zapornica pri izviru Hribskega potoka ob visoki vodi. Z njo so uravnavali dotok vode v bližnji mlin, hkrati pa spreminjali vodno gladino v kraškem zaledju, kar je vplivalo tudi na izdatnost Primcovega studenca

Abb. 5. Sperre Kožuhova zapornica an der Quelle des Hribski potok bei Hochwasser. Sie regulierte den Zufluß des Wassers zur nahe gelegenen Mühle, veränderte aber zugleich auch den Wasserspiegel des Karsthinterlandes, wodurch die Ergiebigkeit des Primcov studenec beeinflusst wurde

že sedaj precej izpostavljen onesnaževanju in bi morali vodo stalno čistiti, če bi jo hoteli uporabiti za oskrbo, potrebni pa bi bili tudi zaščitni ukrepi v širšem prispevnem območju.

Od vseh izvirov Ljubljance je Kožuhov izvir pomaknjen najbolj proti zahodu in vodna gladina je v njem vedno višja kot v drugih izvirih na kraškem obrobju Barja pri Vrhniki. Izvir se odlikuje tudi s sorazmerno majhnim nihanjem temperature v teku leta in pretoki so poleg Primcovega studenca tu najbolj ustaljeni. V starejših študijah je ocenjena minimalna izdatnost Kožuhovega izvira na 120 l/s, maksimalna pa na 12 m³/s (F. J e n k o 1954). Leta 1968 so bile najnižje vode ob koncu oktobra, ko je imel Hribski potok okrog 400 l/s, najvišje pa v dneh 22. in 23. 9. in sicer 4,5 m³/s. Dne 7. 11. 1971 je imel po daljši suši Kožuhov izvir še 130 l/s pretoka. Ta vrednost se bistveno ne razlikuje od prej znanih minimalnih pretokov. Maksimalni pretok v Kožuhovem izviru pa posebej še ni merjen, temveč le skupno z vodami Bele in Primcovega ter Bečkajevega

studenca. Po naših meritvah znašajo ti pretoki ob najvišjih vodah okrog $4 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimalna izdatnost Kožuhovega izvira pa verjetno ni večja od $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Podrobnejše podatke o vodnih razmerah Hribskega potoka pa bo mogoče dobiti le na podlagi rednih opazovanj in meritev.

Dosedanje meritve temperature in trdote Kožuhovega izvira kažejo na razmeroma ustaljen režim, kar je verjetno odraz počasnega pretakanja voda skozi kraško podzemlje, tako da se med potjo temperatura ponikalnic izenači s temperaturo kraškega podzemlja. Po opazovanjih F. Habeta (1936) je to izravnavanje pri Kožuhovem izviru in Primcovem studencu precej izdatnejše kot pri drugih izvirih Ljubljane, kjer so amplitude v teku leta večje (primerjaj I. Gams 1966, 36). V naslednji tabeli so prikazani podatki o temperaturi in trdoti vode v različnih letnih obdobjih.

Hribski potok

Datum	Trdote v °nT					
	t° C	K	Cel.	Ca	Mg	Nk
10. 10. 1964	10,8	11,1	11,9	7,0	3,9	0,8
6. 12. 1962	8,6	10,9	12,0	7,0	5,0	1,1
7. 1. 1963	9,0	7,4	8,5	5,4	3,1	1,1
28. 5. 1968	9,6	9,4	10,4	6,4	4,0	1,0
10. 6. 1968	9,8	9,4	10,3	7,4	2,9	0,9
23. 9. 1968	9,8	10,2	11,0	7,2	2,9	0,9
29. 10. 1968	9,8	11,3	12,3	7,4	4,9	1,0

Omejitev prispevnega območja Kožuhovega izvira ni enostavna. Kraški značaj izvira in zlasti njegova izdatnost je v očitnem nesorazmerju z območjem, ki bi ga po morfoloških kriterijih lahko prisodili k temu izviru. Z barvanjem je dokazano, da se v Hribski potok odtekata ponikalnici Rovtarica in Petkovščica (A. Šerko 1946). Pri številnih drugih barvanjih v porečju Ljubljane pa se barva ni nikoli pojavila v Hribskem potoku. Tako pri barvanju Logaščice (N. Čadež 1952) kot tudi pri barvanju Hotenke (I. Gams 1965) je ostal izvir Hribskega potoka neobarvan. Tudi pri barvanju voda na Cerkniškem in Planinskem polju se barva ni pojavila v Hribskem potoku, temveč le v drugih vzhodnejše ležečih izvirih Ljubljane. Vse to kaže, da ima Hribski potok samosvoje, od drugih izvirov Ljubljane ločeno kraško zaledje. Ker pa se vode Hribskega potoka in Ljubljane pretakajo v isti geološki zgradbeni enoti, vsaj med Logaškim poljem in obrobjem Barja, je skoraj težko verjeti, da kraški tokovi niso med seboj povezani. Jurski in kredni apnenci cerkniško-vrhnjske grude so izdatno zakraseli, o tem priča tudi mešanje voda v zaledju izvirov od Bistre do

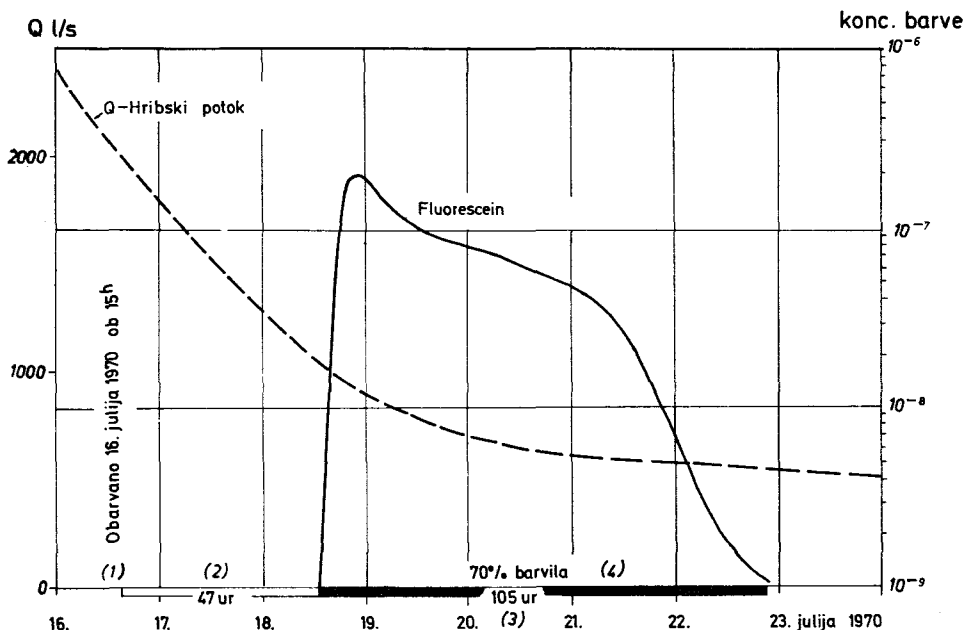
Močilnika (P. Habič, R. Gospodarič 1974). Zakaj pa bi bili samo podzemeljski kanali Hribsčice ločeni od drugih?

Barvanje ponikalnic v Rovtah in Petkovcu je bilo doslej izvedeno le enkrat in z razmeroma majhnimi količinami barvila, zato ni izključeno, da zaradi razredčenosti barve v sosednjih izvirih niso opazili. Predvidevamo namreč, da se vsaj del voda iz zaledja Hribskega potoka lahko odteka tudi v druge kraške izvire, ki leže niže. Verjetno se prav zaradi višinskih razlik vode iz niže ležečih kanalov med Logaškim, Planinskim in Cerknjskim poljem ter Ljubljanskim barjem ne morejo prelivati v kanale, ki napajajo izvir Hribskega potoka. Podobno enosmerno zvezo smo ugotovili tudi med Cerknjskim poljem in Rakovim Škocijanom (P. Habič 1973). Vsekakor bi bilo zelo koristno ugotoviti ali so kanali v zaledju Hribskega potoka povsem ločeni od drugih tokov podzemeljske Ljubljane in če je možna le enosmerna zveza s prelivanjem voda v zaledju Kožuhovega izvira v druge izvire Ljubljane. V primeru, da se v obratni smeri vode ne mešajo, obstaja namreč veliko več možnosti za uspešno zaščito prispevnega območja Hribskega potoka. V ta namen bi bila potrebna tudi podrobnejša razmejitev prispevnega območja podzemeljske Logašice in Hribsčice, saj nagel razvoj naselij in industrije na Logaškem polju vedno bolj ogroža še edini perspektivni vodni vir za oskrbo naselij v zahodnem predelu Ljubljanskega barja.

Po dosedanjih rezultatih barvanj ter po geološki zgradbi sodeč poteka razvodje med podzemeljsko Logaščico in Hribskim potokom čez Raskovec (652) in preko severne polovice Logaškega polja, kjer se naveže na površinsko razvodje med Logaščico ter Rovtarico. Z vidika zaščite je kritično območje prav na Logaškem polju. Prispevno območje Hribskega potoka lahko omejimo dalje s severnim in zahodnim razvodjem Rovtarice ter severnim in vzhodnim razvodjem Petkovščice. K povodju Hribskega potoka spada tudi nekdanji levi pritok Petkovščice, ki ponika v Majerjevi grapi pri Zaplani. Z barvanjem je dokazana njegova zveza s Hribskim potokom, ni pa izključeno, da se del voda iz zaplaninskega dolomitnega pokrova ne odteka tudi v Primcov studenec.

Majerjeva grapa je izoblikovana zahodno od Zaplane in se odpira v dolino Petkovščice. V spodnjem delu je poglobljena v karbonske in permske peščenjake in skrilavce, ki so narinjeni na dolomit zaplaninskega pokrova. Povirni dolomitni del Majerjeve grape je v okolici Zaplane zakrasel v tolikšni meri, da se v njem le redko pojavijo površinski potoki. Majhni studenci že po nekaj deset metrih poniknejo. Edino Izvirše pri Zaplani je večji izvir, ki ima po deževju do 500 l/s pretoka, ob suši pa se voda zadržuje le v izvorni kotanji, ki je izoblikovana ob prelomu. V izrednih sušah se zniža gladina za več kot meter pod prelivni rob izvira. Ob višjih vodah teče potok do glavnega požiralnika, ki se je odprl v strugi ob stiku dolomita in nanj narinjenega skrilavca. V tem nenavadnem požiralniku ponika večina vode in le ob izrednih nalivih se prelije še naprej po strugi v Petkovščico. Zanimiva lega požiralnika na prehodu s prepustnega na neprepustno površje nas je mikala, da smo z barvanjem poskusili ugotoviti, kam odteka te vode. Za barvanje so bile ugodne razmere v drugi polovici julija 1970.

Dne 16. 7. smo ob 15. uri vlili 7 kg fluoresceina v požiralnik, ki je v nadmorski višini 520 m in je požiral okrog 70 l/s vode. Opazovali smo izvire Male Ljubljane, Hribskega potoka in Primcovega studenca. Barva se je pojavila po 47 urah, dne 18. 7. ob 14. uri, v izviru Hribskega potoka, ki je oddaljen v značni



Sl. 6. Barvni val v izviru Hribskega potoka ob barvanju požiralnika v Majerjevi grapi pri Zaplani

Abb. 6. Farbwellen in der Quelle des Hribski potok nach der Färbung des Schluckloches im Graben Majerjeva grapa bei Zaplana. 1 Zeit der Einspeisung 16. 7. 1970, 15,00, 2 Dauer des Farbdurchgangs bis zur Quelle 47 St., 3 Dauer der Wasserwelle in der Quelle 105 St., 4 Farbstoffmenge in der Quelle 70 %

črti 5,7 km in leži 220 m niže. Dne 18. 7. ob 23. uri ali po 54 urah je bila koncentracija barve največja, zadnje sled barve pa smo mogli ugotoviti še 22. 7. ob 18. uri. Izvir je bil obarvan skupno najmanj 100 ur, v tem času je odteklo okrog 70 % barve. V Primcovem studencu in Malem Močilniku barve nismo opazili. Srednja hitrost podzemeljskega toka je bila 2,2 cm/s pri 38 ‰ strmcu. Pretok v izviru Hribskega potoka se je med obarvanjem zmanjšal od 2,4 m³/s, dne 16. 7., na 500 l/s, dne 23. 7. 1970; potok v Majerjevi grapi pa je že drugi dan po barvanju presahnil (sl. 6).

Rezultati barvanja v Majerjevi grapi potrjujejo pripadnost povodja Petkovščice Hribskemu potoku, celo tistih njenih voda, ki ponikajo na območju zaplaninskega dolomitnega pokrova. Nenavaden položaj požiralnika v Majerjevi grapi je pogojen z naravno zgradbo, poleg tega pa so bolj propustni apnenci verjetno blizu pod dolino, da se je lahko izoblikoval požiralnik ob stiku dolomita in skrilavcev. Na podlagi sedanjega poznavanja geološke zgradbe (R. Gosporič 1968) sklepamo, da odteka Majerjev potok neposredno skozi dolomit zaplaninskega pokrova v kredne apnenice v podlagi. Ti pripadajo vrhniško-cerčniški grudi in v njih je tudi izvir Hribskega potoka. Na območju Zaplane kot tudi v širšem idrijsko-žirovskem krovnem sistemu (J. Mlakar 1969) imamo opraviti z površinsko in podzemeljsko cirkulacijo.

Prispevno območje Hribskega potoka je tedaj sestavljeno iz več morfoloških in hidrogeoloških enot. Bližnje zaledje obsega jurske in kredne apnenice v predelu med Raskovcem in Strmico. Površje je kraško in vrtačasto ter obraslo z listnatim in iglastim gozdom. V tem predelu je več manjših brezen in jam korozijskega nastanka, zanimiva pa je tudi udornica Snežna dolina ob cesti Vrhnika - Logatec, nikjer pa ni mogoče priti globlje v podzemlje do vodnih tokov. Širše zaledje je geološko pestro zgrajeno in že na kratke razdalje, pa tudi v globino, se menjajo prepustne in neprepustne kamnine. Od geološke podlage je odvisno tudi oblikovanje reliefa ter razvoj površinske in podzemeljske vodne mreže. Na površju prevladuje sicer fluvialni relief, vendar je precej tudi kraških pojavov. Značilne so vrtače, rupe, požiralniki ter manjše slepe doline ob ponorih. V sušnem obdobju presahne znaten del površinskih voda in ker se tudi z južne polovice prispevnega območja padavine neposredno odtekaajo v podzemeljske tokove, ni čudno, da ima Hribski potok znatno več vode kot obe ponikalnici Petkovščica in Rovtarica skupaj.

Zaledje Hribskega potoka s povodjem Rovtarice in Petkovščice ter s predpostavljeno podzemeljsko razmejitvijo od ostalega porečja Ljublanice med Raskovcem in Logaškim poljem obsega približno 30 km². V primerjavi s porečjem Bele in Primcovega studenca je trikrat večje in temu primerno veliki so tudi pretoki v Kožuhovem izviru. Upoštevati pa moramo hidrološko povezanost zaledja Hribskega potoka s porečjem Bele, kot je pokazalo barvanje, prav tako pa je treba računati s hidrološko zvezo med Hribskim potokom in Primcovim studencem, kar bomo še obravnavali.

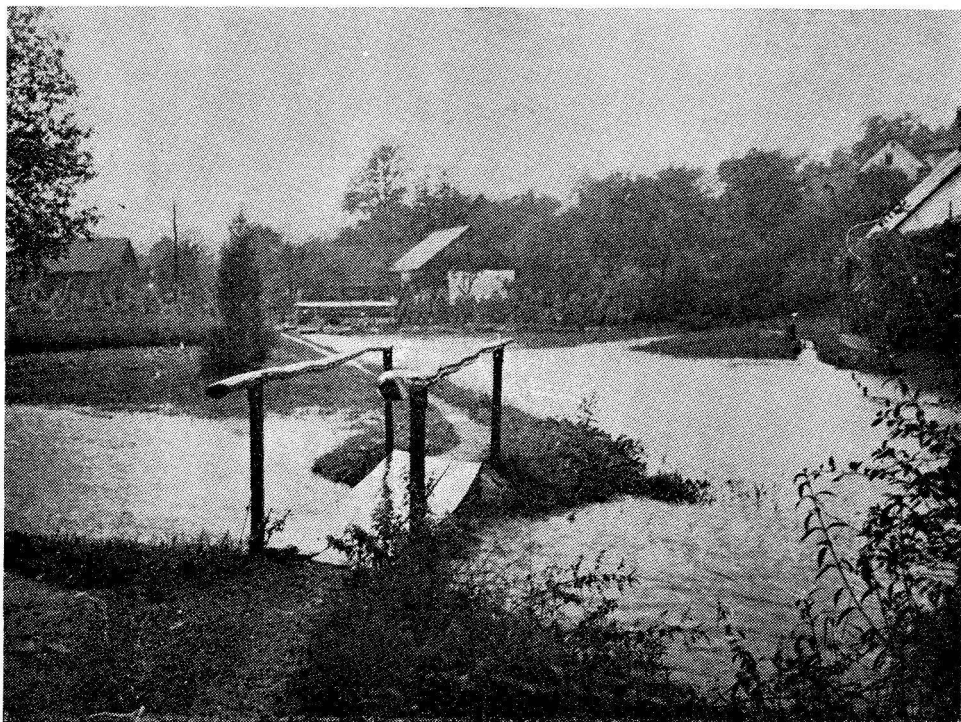
Pestra geološka zgradba je skupaj z značilnim reliefom omogočila večjo naselitev v okolici Zaplane, Petkovca in Rovt. V tem predelu prevladujejo samotne kmetije, le v Logu ter v Rovtah je več hiš skupaj. Doslej se v tem kmetijskem območju še ni uveljavila industrijska in druga obrtniška dejavnost, ki bi povečevala onesnaženje in okuženost vode. Razen lokalnih cest v širšem zaledju prečka neposredno kraško zaledje Hribskega potoka cesta Ljubljana - Postojna. Prav ta je najvažnejši potencialni vir onesnaženja podzemeljskih voda Hribskega potoka. Z razlitjem večjih količin nafte s ceste, bi bil izvir dalj časa neuporaben za vodno oskrbo. K sreči je nova avtocesta precej odmaknjena od neposrednega zaledja izvira in bo lahko prevzela ves promet naftnih derivatov in drugih škodljivih tekočin.

Bolj kot cesta pa že sedaj ogrožajo kvaliteto Hribske vode številne domačije v neposrednem zaledju izvira. Ob stari cesti proti Logatcu se je nad izvirom razrastla Kurja vas. Sprva je štela le nekaj hiš, pretežno kmečkega in polkmečkega značaja. V zadnjem desetletju pa je zrastle tam več delavskih hiš in vse kaže, da se jim bodo kmalu pridružile še nove. Čeprav je v ožjem zaledju Kožuhovega izvira kras nekaj višji kot v naseljenem zaledju Primcovega studenca, so lahko posledice nepremišljene gradnje v tem predelu povsem enake kot pri Primcu. Odprta gnojišča, greznice in nekanaliziran odtok raznih odplak so že doslej močno onesnažili kras ob izviru Hribskega potoka, tako da brez zanesljivega čiščenja ni voda tam nič bolj uporabna kot voda Primcovega studenca. Ker pa se v Hribski potok steka še več površinskih voda in je zaledje tudi gostejše naseljeno, so vode še bolj izpostavljene nadaljnjemu onesnaževanju. Iz tega sledi, da razen na videz večje izdatnosti nima Hribski potok nobene prednosti pred Primcovim.

Primcov in Bečkajev studenec

Ob južnem vznožju Tičnice, ki jo dolina Bele loči od sklenjenega kraškega oboda Barja pri Vrhniki, sta dva manjša, vendar stalna kraška izvira. Drug od drugega sta oddaljena dobrih 50 m, vendar se po kvaliteti voda nekoliko razlikujeta. Po 100 m ločenega površinskega toka se izlivata v strugo Bele (sl. 7). Še najbolj pa sta podobna izviru Hribskega potoka, od drugih izvirov Ljubljane pa se razen po legi razlikujeta tudi po temperaturi, izdatnosti in režimu.

Za približno predstavo o značaju kraškega izvira so potrebni vsaj podatki o malih, srednjih in visokih vodah. Primcov in Bečkajev studenec nista bila vključena v redno opazovanje in merjenje, zato smo skušali spoznati jakost izvirov in njihov režim iz razpoložljivih podatkov in z občasnimi meritvami ter opazovanji. Ocene minimalne izdatnosti Primcovega in Bečkajevega studenca so doslej zelo različne. Ing. F. Hočev ar je ob suši v septembru 1946 nameril v Primcovem studencu 15 l/s, v Bečkajevem pa 20 l/s. Ing. F. Jenko (1954) je s poskusnim črpanjem ob suši leta 1949 prisodil obema izvirova za 5 l/s več vode. Po njegovih podatkih naj bi imel Primcov studenec okrog 20 l/s, Bečkajev pa



Sl. 7. Ob sovodnji Bele, Primcovega in Bečkajevega studenca po nalivu dne 22. 9. 1968
Abb. 7. Zusammenfluß der Bela, des Primcov studenec und des Bečkajev studenec nach dem Struzregen am 22. 9. 1968

25 l/s ob skrajni suši, visokovodne pretoke v obeh izviri pa je cenil na 160 in 200 l/s.

Vkljub izdatni suši v poletju in zgodnji jeseni 1967 ni primanjkovalo vode v zajetju pri Primcu. Čeprav so stalno črpali 35 l/s, se je okrog 30 l/s še prelivalo iz zajetja v strugo. V letu 1968 ni bilo tako nizkih voda, zato se je vkljub suši v začetku poletja prelivalo iz obeh izvirov še okrog 40 l/s. V jesenski suši, ko ves oktober ni bilo dežja, pa je mimo zajetja odtekalo še 50 l/s vode. Tedaj smo opazili tudi zanimiv pojav, da se je izdatnost obeh izvirov občutno zmanjšala, ko so pri Kožuhovem izviru odprli zapornico in znižali gladino v izviru. Pretok pri Primcu je upadel skoraj za polovico, s tem je bila nakazana tudi posredna zveza med Hribskim potokom in Primcovim in Bečkajevim studencem.

Pretočne količine v Primcovem in Bečkajevem studencu so izredno ustaljene in razmeroma malo nihajo, kar je posebnost v primerjavi z drugimi kraškimi izviri pri Vrhniki. Čeprav nimamo na voljo dovolj podatkov o ekstremnih pretokih v posameznih izviri Ljubljanice, so že iz razpoložljivih podatkov vidne precejšnje razlike (K. Žibrik, A. Pečinin 1974). Medtem ko visoke vode v izviri Ljubljanice okrog 75-krat presegajo nizke, so v Primcovem in Bečkajevem studencu visoke vode močno pridušene in so v najboljšem primeru le 15-krat večje od nizkih. Ob izredno močnem nalivu, dne 22. 9. 1968, sta imela Primcov studenec 600 l/s, Bečkajev pa 400 l/s, oba izvira skupaj sta imela približno 1 m³ vode. Za primerjavo so v naslednji tabeli prikazani nekateri pretoki Primcovega in Bečkajevga studenca ter Hribskega potoka v letu 1968:

Datum	Primcov studenec l/s	Bečkajev studenec l/s	Hribski potok l/s
10. 5	70	25	—
22. 5.	90	30	—
10. 6.	160	100	2500
18. 6.	120	80	1200
2. 7.	80	25	—
22. 9.	600	400	4500
23. 9.	200	130	4000
2. 10.	70	25	—
15. 10.	60	20	600
25. 10.	50	20	400
2. 11.	90	60	1700
16. 12.	60	20	600

Primcov in Bečkajev studenec se torej odlikujeta z razmeroma izravnanim režimom, imata sorazmerno veliko izdatnost ob suši in pridušene pretoke ob visokih vodah. Le po najhujših nalivih so pretoki nekoliko večji, ker pa naglo upadejo, jih pripisujemo le ožjemu zaledju. Tudi kalnost vode in neposreden odziv na močne padavine dokazujeta izdatnejši dotok iz bližnjega kraškega zaledja. Po maksimalnem specifičnem odtoku, ki znaša za celotno kraško porečje Ljubljanice pri Vrhniki okrog 140 l/s/km^2 , bi pripadalo tema izviroma le 7 km^2 zaledja. Ob nizkih vodah bi se s tolikšnega površja nateklo le okrog 20 l/s vode, dejansko pa so nizke vode vsaj trikrat večje. Očitno je torej, da dobivata Primcov in Bečkajev studenec vodo iz obsežnejšega zaledja. Če ga ocenimo po minimalnem specifičnem odtoku, ki znaša za porečje Ljubljanice 3 l/s/km^2 , pripada ob nizkih vodah Primcovemu in Bečkajevemu studencu skupaj najmanj 20 km^2 kraškega zaledja. Visoke vode se iz tega zaledja nedvomno odtekaajo še v druge kraške izvire, lahko pa delno odtečejo tudi po površju, saj pripada verjetno znaten del porečja Bele kraškemu zaledju Primcovega studenca.

Položaja in obsega kraškega zaledja Primcovega in Bečkajevga studenca ni mogoče natančno opredeliti. Po morfoloških značilnostih lahko omejimo le povodje hudourniškega potoka v Koritih pod Planino. Razen tega spada k neposrednemu zaledju še območje Betajnovе vzhodno od Storževega griča, kjer je v dolomitu izoblikovana viseča suha dolina in preide proti jugu v kraško površje Zadnjih dolin. V smeri proti Stari Vrhniki je zaledje mogoče opredeliti po geološki zgradbi, predvsem z mejo med jurskim apnencem in triasnim dolomitom. Manj propustni dolomit zajezuje odtok podzemeljskih voda proti vzhodu, zato je v obrobju Barja med Vrhniko in Staro Vrhniko le nekaj manjših dolomitnih studencev (sl. 1).

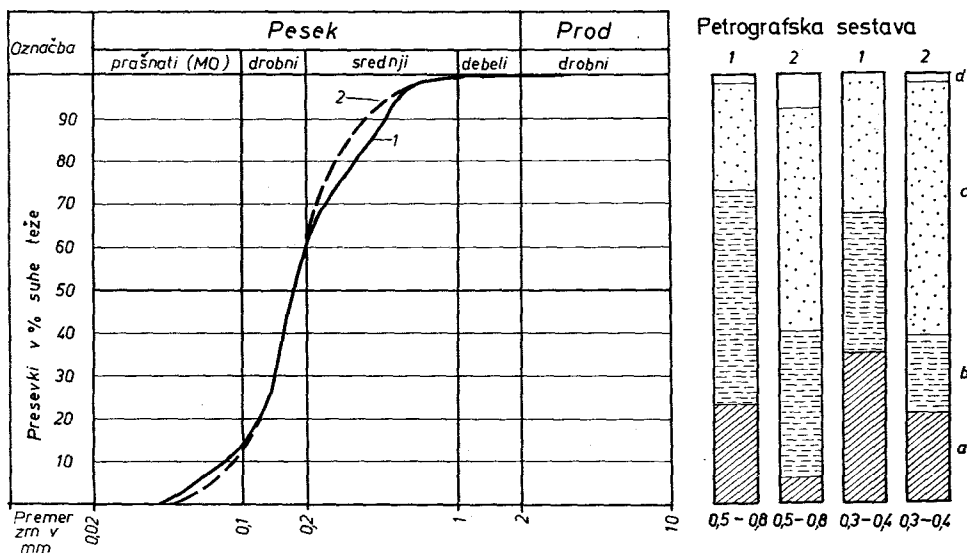
Po geološki zgradbi in reliefnih značilnostih lahko torej precej natančno opredelimo severno stran zaledja Primcovega in Bečkajevga studenca. Neposredno zaledje severno od doline Bele obsega okrog 3 km^2 dolomitnega in apniškega krasa. Nejasna in skoraj neopredeljiva pa je meja na južni in zahodni strani. Po morfoloških potezah bi mejo lahko potegnili ob severnem delu vršaja Bele, vendar je s podrobnejšimi hidrogeološkimi raziskavami ugotovljena zveza med zaledjem Primcovega in Bečkajevga studenca ter Hribskega potoka. Ti izviri imajo skupno zaledje, ki ga ni mogoče razmejiti.

Barvanje potoka v Koritih

V ožjem zaledju Primcovega studenca je zahodno od Stare Vrhnike vrezana ob narivu triasnega dolomita na jurske apnence strma dolina, imenovana Korita. Vanjo se občasno stekajo vode predvsem z dolomitnih zahodnih bregov, medtem ko je dotok z vzhodne apniške strani neznan. Struga je v pretežnem delu doline vrezana prav na meji med dolomitom in apnencem, le v spodnjem delu Korit se dolomitna pobočja nekoliko odmaknejo proti zahodu, zato je struga v celoti na apnencu. V tem delu doline so večje vrtače in rupe s požiralniki občasnega potoka. Struga v Koritih je ob suši brez vode in le nekaj dni po deževju teče potok do ponikev, ki so na prehodu Korit v bolj odprt svet Grintavcev in Zadnjih dolin nad Staro Vrhniko.

Po geološki zgradbi sodeč teče potok iz Korit v kraške izvire pri Primcu. Tudi hidrološka opazovanja so dopuščala takšno zvezo, ki smo jo želeli potrditi tudi z barvanjem. Izbrali smo bolj namočeno obdobje s primernimi vodnimi razmerami, ko je imel potok v Koritih 10 l/s vode in je ponikal v večjih spodnjih ponikvah. Dne 10. 6. 1968 smo okrog 11. ure dopoldne obarvali vodo s 3 kg fluoresceina. Opazovali smo Primcov in Bečkajev studenec ter Hribski potok. Barva se je pojavila naslednjega dne okrog 21. ure v Primcovem studencu, nekaj ur pozneje pa tudi v sosednjem Bečkajevem studencu. Najmočneje sta bila obarvana studenca naslednji dan 12. 6. ob 9. uri. Zadnje znake barve pa smo zasledili v izviru pri Primcu še 14. 6. ob 20. uri, medtem ko v Bečkajevem studencu barve že okrog 14. ure nismo več opazili. Za 1700 m zračne razdalje in 125 m višinske razlike ali pri 73 ‰ strmcu je potrebovala barva 34 ur, vrh barvnega vala pa 46 ur. Celotni barvni val se je raztegnil na 96 ur, kar več kot kot dvakrat presega čas, ki ga je potrebovala barva od ponikev do izvira.

Povprečna hitrost podzemeljskega toka ob srednje visoki vodi iz Korit do Primcovega studenca znaša okrog 1 cm/s, kar se presenetljivo ujema s hitrostjo vode v zaledju Hribskega potoka ob barvanju Bele. Upoštevati pa je treba različno hidrografske situacije, saj je bil obarvan potok v Koritih ob precej višjem vodnem stanju. Iz tega sledi, da so hitrosti podzemeljskega toka v zaledju Primcovega studenca nekoliko manjše kot v zaledju Hribskega potoka.



Sl. 8. Granulacijski diagram in petrografska sestava naplavin Hribskega potoka (1) in Bečkajevskega studenca (2), a) kremen, b) peščenjak, c) karbonati, d) organski ostanki

Abb. 8. Granulationsdiagramm und petrographische Zusammensetzung der Anschwemmungen des Hribski potok und der Quelle Bečkajev studenec. 1 Hribski potok, 2 Bečkajev studenec, a) Kiesel, b) Sandstein, c) Karbonate, d) organische Reste

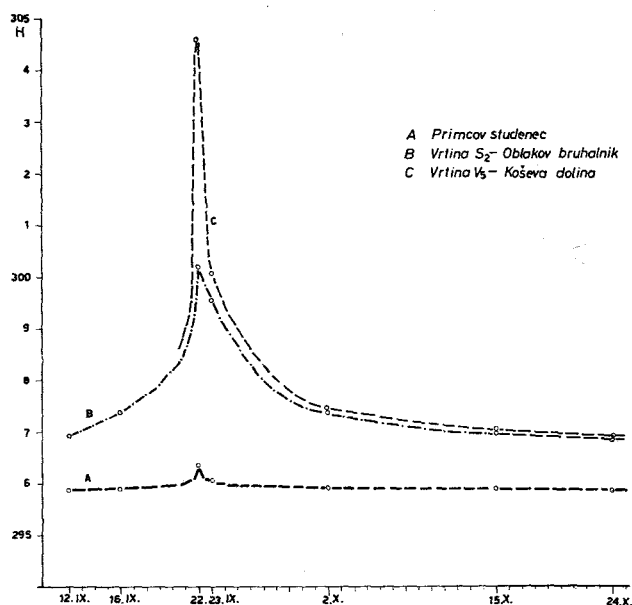
Posebej velja opozoriti tudi na razlike v obarvanju Primcovega in Bečkajevega studenca. Zakasnitev barvnega vala in predčasno razbarvanje v Bečkajevev studencu kaže na stransko vodno zvezo s Koriti. Različna obarvanost pa je obenem tudi dokaz o samostojnem toku v ločeni vodni žili. To značilnost potrjuje tudi izdatnejše kaljenje Bečkajevega studenca. Visoka voda naplavlja v Bečkajevev studencu poleg blata tudi droban pesek. Ta pesek se po petrografski sestavi nekoliko razlikuje od naplavine Hribskega potoka, in sicer po deležu karbonatov in po zaobljenosti posameznih zrn. Zaobljenost je večja pri Hribskem potoku; verjetno je posledica daljšega transporta. Granuloški krivulji sta si zelo podobni, le da ima pesek Hribskega potoka nekaj debelejših zrn, kar pripisujemo večji transportni moči vodnega toka (sl. 8).

Hidrogeološke značilnosti ožjega zaledja Primcovega studenca

Kraški izviri sredi naseljenega območja niso najbolj primerni za vodno oskrbo. Voda je sicer lahko dosegljiva, je pa precej slabše kvalitete, če je tik pred zajetjem izpostavljena onesnaževanju. Primcov studenec z zajetjem za oskrbo Vrhnike je lep primer takšnega vodnega vira. Negativne lastnosti že tako občutljivega kraškega izvira se stopnjujejo zaradi nekontroliranega širjenja naselja v ožjem območju zajetja. Ta predel bi moral biti v normalnih razmerah deležen še posebne zaščite. Onesnaženost vode v izviru je sicer razumljiva, ni pa opravičljiva. Nad zajetjem je namreč šele v zadnjem desetletju zrastle stanovanjsko naselje, ki je bilo sprva celo brez kanalizacije. Podobne razmere se ponavljajo tudi v zaledju Hribskega potoka, ki je sicer predviden za novo zajetje, njegovega kraškega zaledja pa še nihče ne varuje.

Nepotrebnemu čiščenju odpadnih voda iz ožjega zaledja bi se izognili, če bi zajeli kraško vodo v primerni oddaljenosti od naselja. Pri iskanju perspektivnega zajetja pa je treba upoštevati, da Vrhnika razmeroma hitro raste in da je zelo težko zavirati razvoj nekega kraja, pa čeprav za ceno pitne vode. Po sedanjih razmerah bi bilo treba odkriti in zajeti vodo v krasu vsaj dober kilometer v zaledju izvirov. Odkrivanje vodnih kanalov v krasu pa je še vedno precej zahtevna in draga zadeva. Ne poznamo še zanesljive metode za neposredno ugotavljanje in določanje položaja vodnega toka v kraškem podzemlju. Pomagati si je treba s podrobnimi hidrogeološkimi raziskavami ter s poskusnim vrtnanjem in črpanjem.

Po legi in hidroloških značilnostih so za oskrbo Vrhnike bolj primerne vode Primcovega studenca, zato smo skušali najprej v zaledju tega izvira ugotoviti, kje bi bilo mogoče zajeti kraško vodo izven sedanjega naselja. Na voljo so bila le omejena sredstva, zato so bile hidrogeološke raziskave izvedene v manjšem obsegu. Za opazovanje nihanja kraške vode je bilo napravljenih le 12 ročnih in 3 strojne vrtine. Z ročnimi vrtinami v ilovnatih naplavinah je bila dosežena vodna gladina v večini izbranih vrtač. S strojno vrtino sta bili ugotovljeni debelina in sestava naplavin v dolini Bele, v skalnem kraškem obodu pa sta bili napravljeni 10 in 12 m globoki vrtini predvsem zaradi poskusnega črpanja in merjenja izdatnosti vodnih žil. V vseh vrtinah so bile merjene spremembe vodne gladine v poletju in jeseni 1968. Poleg poskusnega črpanja v zaledju



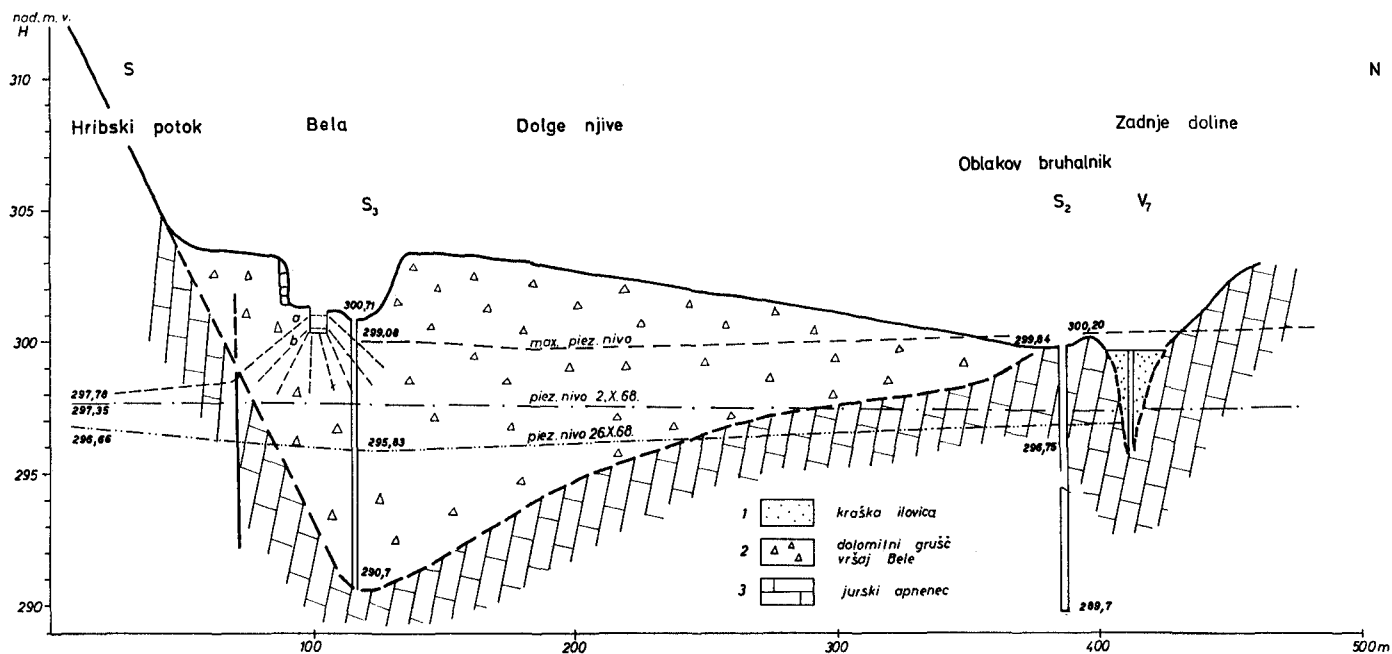
Sl. 9. Primerjava vodostajev v Primcovem studencu, Oblakovem bruhalniku in v Koševi dolini od 12. 9. do 24. 10. 1968

Abb. 9. Vergleichung der Wasserstände in der Quelle Primcov studenec, im Wasserspeier Oblakov bruhalnik und in der Koševa dolina vom 12. 9. bis zum 24. 10. 1968

Primcovega studenca pa je bil preučen tudi vpliv umetnega zajezevanja Hribskega potoka na podzemeljske vode in izdatnost Primcovega izvira.

Raziskave so bile usmerjene na razmeroma nizko vrtačasto površje Zadnjih dolin ob vznožju Planine in Storževega griča (440) severno od doline Bele. V tem predelu sega nariv triasnega dolomita zaplaninskega pokrova najbolj proti vzhodu. Pod dolomitom leže zakraseli jurski apnenci, ki grade tudi območje Zadnjih dolin in bližnje zaledje izvirov pri Primcu. Kraško površje je v višini med 300 in 330 m, na njem prevladujejo ograjene travnate krčevine, ki jih vedno bolj zarašča grmovje in redko drevje. Njive so povečini le v vrtačah, kjer je debelejša plast zemlje. Na južni strani so Zadnje doline omejene z naplavinami Bele in prav ob robu teh naplavin je niz plitvih, zasutih vrtač. Po močnejšem deževju jih zalije voda, ki sili iz podzemlja v majhnih bruhalnikih na skalnem obodu. Iz najbolj zasutih, odprtih vrtač lahko voda površinsko odteče. V globljih, zaprtih vrtačah pa ponikne nazaj v kraško podzemlje in odteče v izvire pri Primcu. Tam je ob suši vodna gladina v višini okrog 295 m, in pod Zadnjimi dolinami ne more biti nižje. Kraška talna voda je potemtakem največ 5 do 30 m pod površjem, kar je razmeroma ugodno za zajetje.

Nihanje kraške talne vode v območju Zadnjih dolin je prikazano v prečnem ter vzdolžnem prerezu (sl. 9, 11). Vrisane so najnižje in najvišje gladine v



Sl. 10. Prečni prerez doline Bele na Dolgih njivah

Abb. 10. Querprofil des Belatales im Bereich Dolge njive. 1 Karstlehm, 2 Dolomitschotter, Schuttkegel der Bela, 3 Jurakalk, 4 Bohrloch (S, V)

letu 1968. Zanimiva je razlika v gladinah pri Primcu in v posameznih vrtačah v zaledju. V 700 m oddaljeni Koševi dolini znaša razlika med najnižjo in najvišjo vodo do 10 m, v izviru pri Primcu pa največ pol metra (sl. 9). Čeprav seže voda v Koševih in Tonikovih dolinah više kot v strugi Bele, se vode iz teh vrtač ne odtekajo vanjo. Apnenec je v smeri proti Beli očitno manj prepusten, pa tudi naplavine zajezujejo kraško vodo na obeh straneh doline.

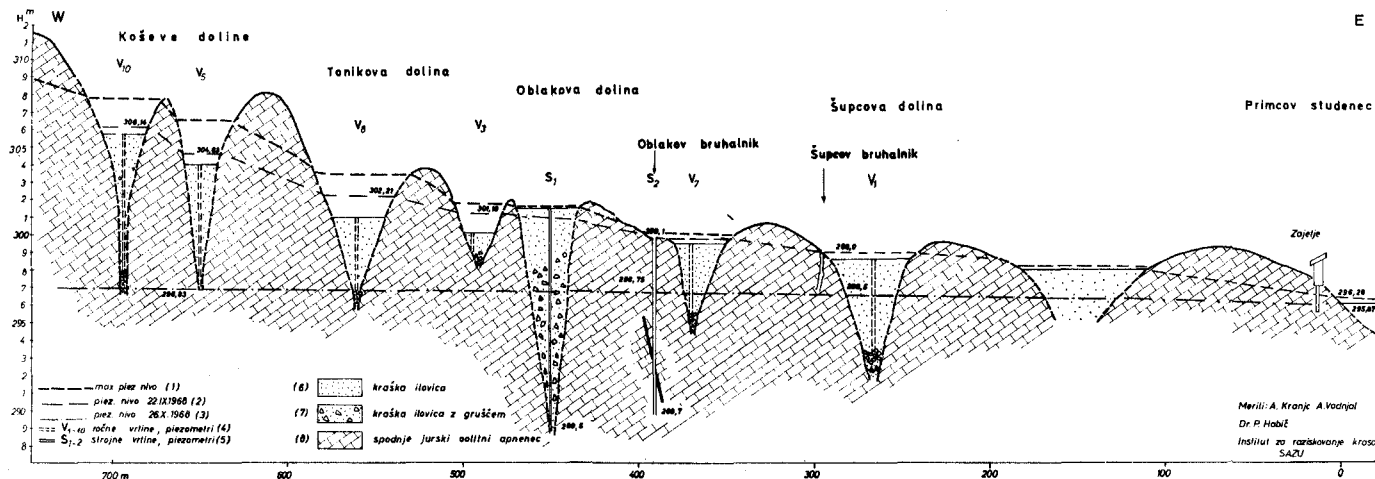
Vodna gladina se lahko v zaledju Primcovega studenca toliko dvigne le v primeru, da je dotok kraške vode iz oddaljenega zaledja dovolj močan in pritisk večji kot pa je prepustnost ožje izvirne cone. V območju Zadnjih dolin se tedaj uveljavljajo posebne hidrogeološke razmere, značilne za zajezeni kras. Delno jih je mogoče pojasniti z geološko zgradbo in razvojem tektonske kotline Ljubljanskega barja. Kvartarne naplavine, ki so zapolnile to kotlino, so zajezile nekdanje izvirne kanale in prisilile vodo, da si poišče novih poti na površje. Ker so naplavine v vrtačah nepropustne, predstavljajo nekakšne jezove v podzemeljskih kanalih, zaradi katerih se morajo vode pri večjih dotokih prelivati na površje. Tudi skalni hrbti med vrtačami so razmeroma slabo prepustni, zato se vodna gladina v vrtačah ne izenači in vode se ne prelivajo iz višjih vrtač v nižje, temveč odtečejo po istih špranjah in razpokah kot so privrele na površje. Vrtače v območju Zadnjih dolin delujejo tedaj kot majhne estavele. Maksimiranost podzemeljskega pretoka (I. Gams 1970) je omejena na bližnje zaledje Primcovega studenca.

Razmeroma skromna prepustnost ilovnatih naplavin v vrtačah in peščenih v dolini Bele je razumljiva, preseneča pa majhna prepustnost apnenca v območju Zadnjih dolin. Številne vrtače so lahko nastale le z intenzivnim zakrasevanjem in spiranjem drobirja v podzemlje, vendar v hidrološko bistveno drugačnih razmerah kot vladajo danes v tem predelu. Kraške vode so se morale pretakati precej pod sedanjim potopljenim in zasutim dnom vrtač. Prvotna cona vodnega pretakanja naj bi bila vsaj 20 m nižje, prav toliko pa tudi nekdanji izviri v dolini Bele. Prvotni kanali so sedaj potopljeni, zasuti in zajezeni. Opraviti imamo s posebnim tipom zajezenega krasa, v katerem si morajo vode oblikovati nove kanale nad starejšimi in ne pod njimi, kot je to v normalnih razmerah na krasu.

V coni sedanjega nihanja kraške vode v zaledju Primcovega studenca je prevotljenost in prepustnost apnenca razmeroma majhna, kar pa ne izključuje bolj prepustnih vertikalnih kanalov, po katerih silijo vode iz globljih in med seboj bolje povezanih votlin na površje. Na skromno povezanost in prepletenost podzemeljskih kanalov v površinski coni krasa, ki ima sedaj funkcijo glavne hidrografske pretočne cone, kažejo razlike v temperaturah in trdotah vode ter znatna nihanja vodne gladine v zaledju Primcovega studenca. Vodne žile so navezane predvsem na razpoke in prelome, ki še niso dovolj preoblikovani v špranje in vodne rove, zato večjih votlin v tej coni ne moremo pričakovati. S tem je treba računati pri iskanju podzemeljskih vodnih žil za novo zajetje.

Naše vrtine in poskusno črpanje je zajelo le površinsko cono, preučiti bi bilo treba še hidrološke lastnosti krasa v večjih globinah, kjer pričakujemo večjo prevotljenost in starejšo cono vodnih kanalov. Program teh raziskav pa še ni izveden.

Geološki zavod iz Ljubljane je izvrtal prvo 12 m globoko vrtino (S 1) v odprti Oblakovi dolini, ki leži 400 m zahodno od Primcovega studenca in ima



Sl. 11. Hidrogeološki prerez ožjega zaledja Primcovega studenca

Abb. 11. Hydrogeologisches Profil des engeren Hinterlandes des Primcov studenec. 1 höchster Wasserstand, 2 Wasserstand nach dem Sturzregen am 22. 9. 1968, 3 tiefster Wasserstand am 26. 10. 1968, 4 Handbohrungen in Dolinen, 5 maschinelle Bohrungen, 6 Karstlehm, 7 Karstlehm mit Schotter, 8 jurassischer Oolithkalk

dno v nadmorski višini 301,5 m. V površinski 3 m debeli plasti prevladuje temno-rjava mastna ilovica, globlje pa je med ilovico več apnenčevega grušča, ki je verjetno nastajal z razpadanjem skalnega oboda med zasipanjem vrtače. Rjav-kasta ilovica prehaja v globini 4,5 m v sivo mehko ilovico z močno korodiranimi kosi apnenca. Barva ilovice in razjedeni apnenec sta v neposredni zvezi s kraško talno vodo. Sivkasta ilovica preide v globini 9,5 m spet v rjavordečo mastno glino, pomešano z debelejšim gruščem. Čeprav so te plasti globoko v coni kraške talne vode, kaže barva ilovice in dobra ohranjenost grušča na razmeroma slabo prepustnost te cone. Ker tudi v globini 12 m še niso zadeli na skalno podlago ali zdrobljeno gruščnato cono, je bilo nadaljnje vrtanje prekinjeno (sl. 12).

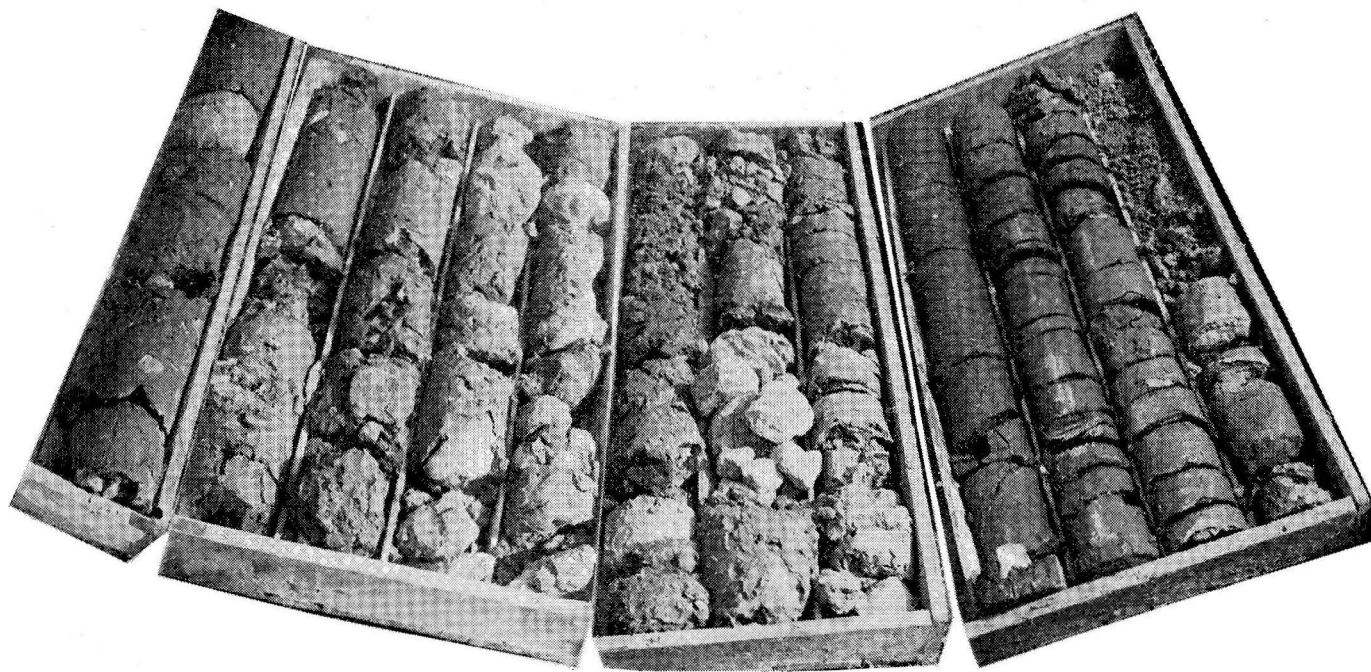
Poskusno črpanje je bilo izvedeno dne 10. 9. 1968, ko je bila gladina kraške vode v nadmorski višini 297,39 m ali 4,1 m pod površjem. Že po kratkem črpanju je upadla gladina za 6 m, izčrpana količina pa je znašala le 84 l. Po prekinitvi črpanja se je nivo dvignil na prvotno višino šele po 5 minutah. Ponovno črpanje je trajalo 10 minut s povprečno količino 0,3 l/s pri ustaljeni vodni gladini 6 m pod površjem. Takšno količino je bilo mogoče načrpati pri nespremenjenem nivoju tudi po večurnem črpanju. Ker ni bilo nobenih znakov za koristno povečanje pritoka, bi bilo nadaljnje črpanje nesmiselno.

Vrtanje in črpanje v Oblakovi dolini je pokazalo, da zasute vrtače niso povezane z izdatnejšimi vodnimi žilami, čeprav so ob visokih vodah poplavljenе. Več možnosti za izdatnejše pretakanje kraške vode verjetno nudijo vmesni skalni pragovi med zasutimi vrtačami. V njih so posamezne špranje, po katerih sili kraška voda ob poplavih na površje.

Po izkušnjah v Oblakovi dolini je bila naslednja vrtina (S 2) zastavljena le dobrih 50 m od prve v ozko plitvo brezno z imenom Oblakov bruhalnik. Tam namreč izvira po najmočnejšem deževju majhen potok, ki teče po površju ob Dolgih njivah v strugo Bele (sl. 13). Brezno je bilo 3 m globoko zasuto s humusom, smetmi in gruščem, globlje pa je vrtina zadela na živo skalo. Dobrih 7 m pod površjem je bila prevrtana poldrug meter velika kraška votlina, popolnena z gruščem in ilovico. Pod votlino se nadaljuje gost oolitni apnenec, ki do globine 10 m ni posebno pretrt in zakrasel.

Vodna gladina je bila med vrtanjem 3 m pod površjem ali v višini 297 m; pri prvem črpanju, dne 12. 9. 1968 pa 15 cm više. Po več kot enournem črpanju je ostala gladina nespremenjena, povprečno pa so črpali le 2,3 l/s. Dotok vode je bil očitno precej večji, zato je bilo treba črpanje ponoviti z močnejšo črpalko. Pri drugem črpanju, dne 16. 9. 1968 je bila gladina 2,45 m pod površjem, ker je po zadnjem dežju voda nekoliko narastla. Črpalka je zmogla 26 l/s, vodna gladina pa je ostala po daljšem črpanju nespremenjena. Temperatura in trdota vode sta bili enaki kot v Primcovem studencu.

	T° C	Karb.	Cel.	Kalc.	Magn.	Q v l/s
Oblakov bruhalnik (V ₂)	10,0	11,2	12,5	7,8	4,7	26
Primcov stud.	10,0	11,2	12,5	7,8	4,7	90



Sl. 12. Jedro vrtine S1 v Oblakovi dolini. Prevladuje rdeča kraška ilovica pomešana s apnenčevim gruščem
 Abb. 12. Kern des Bohrlochs S1 in Oblakova dolina. Es überwiegt roter, mit Kalkschotter gemischter Karstlehm



Sl. 13. Pri Oblakovem bruhalniku po nalivu dne 22. 9. 1968, iz vrtine S 2 je vrela razmeroma čista kraška voda

Abb. 13. Am Wasserspeier Oblakov bruhalnik nach dem Sturzregen am 22. 9. 1968. Aus dem Bohrloch S 2 strömte verhältnismäßig reines Karstwasser

Takšna podobnost vode je možna le pri neposredni povezanosti obeh voda. S črpanjem v Oblakovem bruhalniku je dokazana precej večja prepustnost podzemeljskih kanalov kot v prvi vrtini v bližnji Oblakovi dolini. Dejansko izdatnost te vodne žile pa bi mogli določiti šele z močnejšimi črpalkami.

Tretja vrtina (S 3) je bila zastavljena ob strugi Bele, nekoliko vzvodno od Primcovega studenca in Kožuhovega izvira. Pokazala naj bi debelino in sestavo naplavin ter omogočila opazovanje nihanja talne vode. Pod vrhno plastjo humusne ilovice, mešane z dolomitnim gruščem, so pretežno gruščnate plasti, ki se razlikujejo le po velikosti dolomitnih drobcev, manj pa po barvi ali deležu ilovnatih primesi. V globini 9,5 m prehaja dolomitni grušč v rjavkasto ilovico, pomešano s kosi apnenca, ki ga je vrtina dosegla v globini 10 m. Z eno samo vrtino še ni mogoče spoznati oblikovanosti doline v živoskalni podlagi pod kvartarnimi naplavinami Bele. Glede na morfološke značilnosti pa smo vendarle sestavili prečni prerez Bele pri Dolgih njivah. Možno je, da vrtina S 3 ni dosegla skalne podlage v najglobljem delu doline in da je v 300 m širokem zatrepu med Belo in Oblakovim bruhalnikom skalno dno tudi nekoliko drugače

oblikovano. Le malo pa je verjetno, da je prvotna dolina Bele v tem predelu bistveno globlja in da so v njej razen mlajših ilovnatih in gruščnatih naplavin tudi starejše jezerske gline, ki sicer prevladujejo v območju Ljubljanskega barja. V tretji vrtini ni bil izveden črpalni poskus, vodna gladina pa je bila med vrtanjem v višini okrog 295 m ali 5 m pod površjem. Zaloge talne vode v naplavini so razmeroma skromne, pa tudi Bela k njim le malo prispeva. Talna voda ostane v naplavini Bele precej pod gladino visoke vode v strugi in na nihanje podtalnice bolj vpliva kraška voda z obrobja kot pa Bela.

Vodna zveza med Hribskim potokom in Primcovim studencem

Položaj kraških izvirov ob severnem in južnem obrobju doline Bele kaže bolj na ločeno hidrografsko zaledje, kot pa na tesno medsebojno povezanost teh voda. Ločenost Bele, Primcovega studenca in Hribskega potoka pa je le navidezna in se kaže samo na površju. Napačno predstavo bi dobili, če bi si tudi v podzemlju predstavljali podobno izolacijo tokov kot na površju. Večkrat so glavni tokovi v krasu tudi dejansko omejeni na pomembnejše večje rove, ki potekajo v geološko in hidravlično ugodnejših conah, medtem ko je pretakanje vode v drugih kraških predelih znatno manjše. Zaradi neenakomerne razporeditve voda v kraškem podzemlju so se razvile v svetu številne teorije o pretakanju vode (F. Jenko 1959; B. Gèze 1965, 9—39), mnogi hidrološki problemi pa še niso dovolj pojasnjeni. Tudi z barvanjem, ki je navidez najzanesljivejša metoda za določanje podzemeljskih vodnih zvez, dobimo pogosto le enostransko predstavo o povezanosti kraških voda. Takšna spoznanja je mogoče dopolniti s podrobnejšim preučevanjem hidrogeoloških značilnosti krasa, s primerjanjem kvalitete in izdatnosti izvirov ter nihanja vodne gladine v naravnih in umetnih razmerah. S temi metodami smo skušali ugotoviti tudi medsebojno povezanost zaledja Primcovega studenca in Hribskega potoka. Enotna geološka zgradba s prevlado jurskega apnenca na obeh straneh doline Bele ter razmeroma plitva, pretežno gruščnata naplavina omogočata skoraj sklenjeno vodno gladino v zaledju obeh izvirov in celo v naplavini Bele. O tem nas potrjuje precej skladno nihanje vodne gladine v Kožuhovem izviru, v vrtini (S 3) ob Beli ter v Oblakovem bruhalniku (S 2).

V Kožuhovem izviru niha vodna gladina pri zaprti zapornici le okrog 40 cm. Ob visoki vodi ponavadi zapornico odprejo in tako pospešijo odtok, zato se gladina izvira ob najvišjih vodah bistveno ne dvigne nad normalno zajezeno gladino. Najnižja je gladina ob suši pri odprti zapornici in tedaj je le dober meter pod najvišjo. Najnižje vodne gladine v letu 1968 so bile izmerjene dne 29. 10., v Kožuhovem izviru je bila gladina v višini 296,66 m, v vršaju Bele 295,83, v Oblakovem bruhalniku pa 296,75 m. Ob suši je torej najnižja gladina v naplavini Bele. Nekoliko drugače so razmere ob visokih vodah, ko je struga Bele polna, toda talna voda je še vedno precej nižje, vendar ne bistveno pod gladino vode v obrobem krasu (sl. 10).

Dne 2. 10. 1968 je bila Bela v višini 300,45, v bližnji vrtini (S 3) pa je bila gladina talne vode v višini 297,81 m, medtem ko je bila pri Primcu v višini 295,92 in pri Kožuhu 296,90 m. Kraške vode na obeh straneh doline Bele očitno vplivajo na višino talne vode v vršaju. Večinoma pa je tam precej nižje kot v obrobem krasu. To pa na prvi pogled izključuje medsebojno zvezo Prim-

covega studenca in Hribskega potoka. Nadaljnja opazovanja nihanja vode v vrtinah in poskus z zapornico pri Kožuhovem izviru pa so potrdila hidrološko povezavo kraškega zaledja obeh izvirov.

V petek, 25. 10. 1968, smo merili vodne gladine v vrtinah in izviri pri Primcu. Presenetili so nas visoki vodostaji v vrtinah, bili so namreč za okrog 40 cm višji kot pred desetimi dnevi, čeprav v tem času ni padlo niti kapljice dežja. Večji je bil tudi pretok vode pri Primcu. Ta neskladnost je bila kmalu pojasnjena. Pri Kožuhovem mlinu so namreč popravili zapornico in dvignili vodno gladino za okrog 60 cm. Ta dvig vode v Kožuhovem izviru pa se je odrazil tudi pri Primcu in v kraškem zaledju.

Vpliv umetnega zvišanja vodne gladine v kraškem zaledju Hribskega potoka na izdatnost in višino Primcovega izvira smo skušali spoznati z nadaljnjim odpiranjem in zapiranjem zapornice pri Kožuhovem mlinu. Dne 25. 10. 1968 ob 11,10 smo zapornico odprli in voda je že v pol ure upadla za 0,5 m, v tem času se je znižala gladina v vrtinah S 1 in S 2 za 20 cm, medtem ko je ostala gladina v vršaju Bele v vrtini S 3 nespremenjena. Po štirih urah se je znižala gladina v izviru pri Kožuhu že za 80 cm, v vrtinah S 1 in S 2 za 40 cm, v vrtini S 3 pa le za 5 cm. Naslednji dan so bile gladine približno v enakih višinah, le v vršaju Bele se je znižala še za 3 cm. Očitno se je vzpostavilo novo ravnotežje v kraškem zaledju in v vršaju Bele.

Medsebojno zvezo in odvisnost v nihanju vodne gladine smo skušali preveriti tudi z zvišanjem nivoja pri Kožuhu. Zapornico smo zaprli 26. 10. ob 13,10. Po štirih urah je vodna gladina v Hribskem potoku narastla za 70 cm, v Primcovem studencu pa le za 2 cm. V vrtini S 2 se je zvišala gladina vode za 35 cm, v vrtini V 5 pa celo za 50 cm, v vrtini S 3 se je dvignila voda le za 6 cm. Meritve naslednjega dne so pokazale, da so se vodne gladine v izviru Hribskega potoka, v naplavini Bele, v vrtinah in v Primcovem studencu vrstile v enake višine, kot so bile pred poskusnim odpiranjem zapornice.

Nihanje vodne gladine med poskusom z zapornico pri Kožuhovem izviru:

Absolutne višine vodne gladine

Mesto opazovanja	Spušćena zapornica 25. 10. 9 h	Dvignjena zapornica			Spušćena zapornica	
		po 1/2 h	po 4 h	po 20 h	po 4 h	po 20 h
Hribski potok	297,62	297,00	296,70	296,66	297,36	297,62
V 5	297,63	—	—	296,83	297,33	297,63
S 1	297,54	297,34	297,16	296,95	297,16	297,54
S 2	297,42	297,24	296,96	296,75	297,10	297,42
S 3	295,95	295,95	295,90	295,83	295,07	295,92
Primcov stud.	295,92	295,90	295,07	295,87	295,89	295,95

Opomba: Zapornico smo odprli 25. 10. 1968 ob 11,10^h in zaprli dne 26. 10 ob 13,30^h.

S tem poskusom je posredno dokazana vodna zveza med Primcovim in Bečkajevim studencem ter Hribskim potokom, ki je doslej še nobeno barvanje ni ugotovilo. Dotok kraške vode iz zaledja Hribskega potoka je večji ob nizkih vodah, ko je večja tudi razlika v gladinah vode med obema izviroma. Ob visoki vodi je vpliv Hribskega potoka na Primcov studenec vsaj relativno manjši, ker se okrepi pritisk vode iz neposrednega severnega zaledja tega izvira. To dokazuje tudi povečana kalnost, saj rdeča kraška ilovica v vodi izvira predvsem s površja v bližini Stare Vrhnike. Takšne vodne razmere pa se odražajo tudi v temperaturi in trdoti voda, razlike med Hribskim potokom in Primcovim studencem niso vedno enake.

Nihanje vodne gladine v kraških izviroh na obeh straneh doline je torej med seboj povezano in ga naplavine Bele ne ovirajo. V teh naplavinah se gladina talne vode ne izravnava povsem z gladino kraške vode. Po razmerah v Koševi in Tonikovi dolini (vrtini V 5 in V 6) sklepamo, da se globlje v zaledju gladine kraških voda bolj izenačijo kot bliže izvirom, kjer se kaže večji vpliv lokalnih razlik v zajezenosti in prepustnosti.

Temperaturne značilnosti kraških izvirov so v veliko pomoč pri preučevanju izvora in podzemelske povezanosti voda. Z rednimi meritvami temperatur pa tudi s spremljavo drugih lastnosti, lahko dobimo zanimive podatke o razmerah v zaledju kraških izvirov.

V naslednji tabeli so prikazane temperature Hribskega potoka ter Primcovega in Bečkajevga studenca od maja do decembra 1968:

Datum	Hribski potok	Primcov studenec	Bečkajev studenec
28. 5	9,6	9,8	9,8
10. 6.	9,8	10,0	10,2
18. 6.	10,0	10,0	10,0
23. 9.	9,8	10,4	10,4
15. 10.	9,8	10,0	10,0
25. 10.	9,8	9,9	9,9
28. 11.	9,2	9,8	10,2
26. 11.	8,6	9,6	9,6
16. 12.	8,8	9,5	9,5

V vseh teh izviroh niha temperatura vode v teku leta med 8° in 10° C, torej le za dve stopinji. Hribski potok ima lahko enako toplo ali pa le za eno stopinjo hladnejšo vodo kot Primcov in Bečkajev studenec. Ta dva sta po večini enako topla, le včasih je Bečkajev studenec za 0,2° toplejši. Takšne razmere so pred-

vsem posledica mešanja različnih voda, ki napajajo obravnavane izvire. V deževnih obdobjih, ko vode napolnijo podzemeljske kanale, je mešanje in izenačevanje manjše, kot v stabilnih in sušnih obdobjih. Po deževju v začetku junija (10. 6. 1968) so se temperature v vseh treh izvirih razlikovale za 0,2°, podobno tudi po naliwu v septembru, le da so bile tedaj temperature v Primcovem in Bečkajevem studencu enake (10,4), v Hribskem potoku pa za 0,6° C nižje.

Na mešanje podzemeljske Hribščice s Primcovim studencem kaže tudi temperatura vode v vmesnem Oblakovem bruhalniku (vrtina S2), ki je bila po naliwu v septembru 1968 enaka kot v Hribskem potoku. Očitno so glavni tokovi, ki napajajo izvire, nekaj časa po deževju bolj ločeni, iz vsakega predela teče voda po svojem osnovnem kanalu. Pozneje ob upadanju pa se temperature in druge značilnosti izenačijo, kot da se vsi izviri napajajo iz istega zaledja in vode se tudi v ločenih tokovih prilagodijo splošnim razmeram v podzemlju.

Na bolj ali manj izolirane tokove ob visokih vodah kaže poleg temperatur tudi kalnost vode. Najmočnejše se kali Bečkajev studenec, le malo manj pa Primcov, medtem ko voda iz Oblakovega bruhalnika ni dosti bolj motna kot površinska Bela. Ob sovodnji s Primcovim in Bečkajevim studencem je Bela le rahlo skaljena in ne naplavlja ilovice. Takšne razmere smo opazovali po močnem naliwu, dne 22. 9. 1968; že naslednji dan pa je bila Bela povsem čista, medtem ko je bil Bečkajev študenec še sorazmerno kalen. Ob njegovi strugi je ostalo po travi precej rdečkastorjavega blata. Ta izvira iz kraške ilovice, ki jo je največ severozahodno od izvira v okolici Stare Vrhlike.

Podobne značilnosti, kot jih nakazujejo temperature, se odražajo tudi v trdoti vode. Celokupna trdota se v obravnavanih treh izvirih razlikuje za največ 4° nT, razlike pa so lahko tudi manjše ali pa občasno povsem izginejo. Največje so v deževni dobi, ko ima vsak izvir drugačno trdoto, ob suši pa so trdote v vseh izvirih enake.

*Primerjava celokupne trdote Hribskega potoka,
Primcovega in Bečkajevga studenca*

	Celokupna trdota v °nT			
	28. 5.	10. 6.	23. 9.	29. 10. 1968
Hribski potok	10,4	10,3	11,0	12,3
Primcov studenec	10,5	13,2	13,3	12,6
Bečkajev studenec	10,7	13,5	14,1	12,6
Oblakov bruhalnik	—	—	12,2	—

Razlike in podobnosti v trdotah so prav gotovo povezane s sistemom napajanja izvirov, ki smo ga skušali spoznati že pri primerjanju temperatur. Trdota Oblakovega bruhalnika se približuje trdoti v sosednjih izvirih. V tem se kaže mešanje voda iz zaledja Hribščice in Primcovega studenca. Zanimivo pa je,

da je po temperaturnih in kemičnih lastnostih Oblakov bruhalnik bolj soroden Hribskemu potoku kot Primcovemu studencu. To značilnost velja posebej upoštevati pri izbiri mesta za novo zajetje kraške vode.

Pregled važnejših hidrogeoloških ugotovitev

Kraško povodje Bele, Hribskega potoka in Primcovega studenca pri Vrhniki predstavlja hidrogeološko enoto, ki smo jo podrobneje spoznali v zvezi s potrebami vodne oskrbe Vrhnike in njene okolice. Bela ima povirje v triasnem dolomitu zaplaninskega pokrova, ki je narinjen na kredne in jurske apnence vrhniško cerkniške grude (S. Buser 1965; R. Gospodarič 1968). V teh apnencih so južno od Vrhnike razporejeni kraški izviri Male in Velike Ljubljance ter Lubije, zahodno od Vrhnike pa izvirajo še Hribski potok na desni in Primcov ter Bečkajev studenec na levi strani doline Bele. Voda iz dolomitnega povirja ter iz kraških izvirov ob Beli so že deloma zajete za oskrbo Vrhnike in okolice, predstavljajo pa tudi potencialni vodni vir za oskrbo v bodoče. Kraške vode iz apnencev imajo precej okuženo vodo in leže v ožjem zazidalnem okolišu Vrhnike, zato jih skoraj ni mogoče varovati pred nadaljnjim onesnaževanjem. Zajeti dolomitni izviri Lintverna in Staj pa so ob nizkih vodah prešibki za kritje potreb po pitni vodi.

Iz dolomitnega zaplaninskega pokrova odteče voda deloma po dolini Bele v Ljubljano, deloma pa ponikne v zakraselem dolomitu ali pa v sosednjih apnencih ter se preliva po kraškem podzemlju v izvire pri Vrhniki. Z barvanjem smo ugotovili, da odteka Bela, ki ponika v srednjem apnenčastem delu doline, v izvire Hribskega potoka. V soteski Grapa se izgubi 10 do 20 l/s, niže ob Beli pri Osenku pa ponikne do 100 l/s. Bela izgubi del vode tudi v spodnjem delu doline, kjer teče po lastnih naplavinah. Vodni režim doslej ni bil podrobneje opazovan. Po občasnih meritvah sklepamo, da doseže pretok Bele ob visokih vodah do 3 m³/s, ob suši pa je ves srednji in spodnji del doline suh, v zgornjem delu pa se pretaka do ponikev v Grapi le nekaj litrov na sekundo. Minimalna izdatnost dveh najpomembnejših izvirov v dolomitu, svojevrstne zaganjalke Lintvern (P. Habič 1970) in stalnega izvira v Stajah, je ocenjena na 4 do 5 l/s. Vodnatost teh izvirov ni v skladu z zaledjem, ki jim pripada po morfoloških značilnostih. Na podlagi geološke zgradbe pa tudi ni mogoče podrobneje razmejiti zaledja teh izvirov s sosednjimi, ki so razvrščeni okrog najvišjega vrha Ulovke (800 m) nad Zaplano.

Za vodno oskrbo bi bile dolomitne vode v povirju Bele zelo dragocene, ker bi lahko gravitacijsko napajale omrežje, pa tudi zaščita povirja ne bi predstavljala posebnih težav. Za kritje vseh potreb pa bi bilo treba zgraditi zadrževalnik za letno izravnavo vodnega režima, kar pa v zakraseli dolini Bele ni lahka naloga.

Izvir Hribskega potoka pri Kožuhu je po minimalni izdatnosti 130 l/s zelo primeren vodni vir za kritje sedanjih in bodočih potreb po vodi v okolici Vrhnike. Njegovo kraško zaledje pa se razteza do severnega dela Logaškega polja in na površinsko povodje Rovtarice in Petkovščiце (A. Šerko 1946; 1951). Z barvanjem Majerjeve grape pri Zaplani smo spoznali, da se v Hribski potok stekajo tudi vode iz zahodnega dela dolomitnega zaplaninskega pokrova. Vodni

režim Hribskega potoka je v primerjavi z drugimi kraškimi izviri Ljubljaniče še sorazmerno umirjen. Ob najvišjih vodah doseže pretok okrog $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, voda pa je dalj časa po deževju kalna in motna. Za podrobnejšo analizo vodnih razmer še ni na voljo ustreznih podatkov, zato tudi ni mogoče spoznati vseh zakonitosti pretakanja vode v obsežnem, vendar le približno določenem kraškem zaledju. Po dosedanjih raziskavah in barvanjih (A. Šerko 1946; N. Čadež 1952; I. Gamš 1965) se v Hribskem potoku ne mešajo vode, ki napajajo druge izvire Ljubljaniče. Ni pa izključeno, da se del voda iz zaledja Hribskega potoka ne odteka vanje. Vodna gladina je v zaledju Hribskega potoka (296—297 m) vedno nekaj metrov više od gladine v zaledju drugih izvirov Ljubljaniče (290—293 m). Po minimalnem specifičnem odtoku, ki znaša za porečje Ljubljaniče 3 l/s/km^2 , pripada Hribskemu potoku okrog 30 km^2 zaledja. To kraško površje je razmeroma težko varovati pred onesnaženjem in je celo v ožjem zaledju izvira naseljeno, zato bi bilo treba vodo temeljito čistiti.

Dobrih 500 m severno od izvirov Hribskega potoka sta na levi strani doline Bele dva kraška studenca, ki se po legi in drugih hidroloških značilnostih še bolj razlikujeta od glavnih izvirov Ljubljaniče. Zaradi ugodne lege in primerne izdatnosti je bil Primcov studenec pred 20 leti zajet kot dodatni vodni vir za oskrbo Vrhnike. Z razširitvijo naselja v njegovo ožje kraško zaledje se je kvaliteta vode zelo poslabšala in ker ni ob zajetju čistilnih naprav, vrhniška voda že nekaj let ni primerna za pitje.

Ožje kraško zaledje Primcovega in Bečkajevega studenca, ta je od prvega oddaljen le dobrih 50 m, je razmeroma nizko in se razteza med dolino Bele ter Staro Vrhniko v višinah med 300 in 330 m. Kraška talna voda v tem zaledju niha zelo različno, pri izviru le za pol metra, v Tonikovih in Koševih dolinah, 700 m od izvira, pa do 10 m. Zelo izravnani vodni režim obeh izvirov je odraz maksimiranosti podzemeljskih kanalov, zaradi česar je oviran predvsem iztok kraške vode na površje. Razmeroma velika izdatnost ob nizkih vodah kaže na večji obseg zaledja, do 20 km^2 . Po geoloških in morfoloških značilnostih je možno opredeliti zaledje le v severnem delu. Z barvanjem občasne ponikalnice v Koritih nad Staro Vrhniko je dokazan odtok tamkajšnjih voda v Primcov in Bečkajev studenec. V južnem delu se zaledje obeh studencev veže s kraškim zaledjem Hribskega potoka onkraj doline Bele. Zveza z barvanjem ni dokazana, posredno pa je potrjena z vplivom umetnega zajezevanja Hribskega potoka na izdatnost izvira pri Primcu in na spremembo gladine v ožjem zaledju obeh izvirov kot tudi v vmesnem delu doline Bele. Primerjava temperature in trdote kraške vode na obeh straneh doline Bele kaže na različno mešanje voda iz skupnega zaledja. Vrtina in črpalni poskus v Oblakovem bruhalniku sta potrdila predvidevanja, da je možno zajeti kraško vodo v zaledju Primcovega studenca. Ker pa leži Oblakov bruhalnik še v ožjem zazidalnem območju, bi bilo treba z nadaljnjimi raziskavami ugotoviti najprimernejše mesto za novo zajetje še v večji oddaljenosti od izvira.

Možnosti za ureditev vodne oskrbe na Vrhniki in drugi problemi izrabe kraških voda opozarjajo na potrebo po podrobnejši preučitvi in opredelitvi kraških vodnih rezervatov, namenjenih za oskrbo s pitno vodo, da bi jih lahko pravočasno in učinkovito zavarovali pred onesnaževanjem. Samo tam, kjer zaščita ni mogoča, bi bilo upravičeno drago in zahtevno čiščenje okužene kraške vode za oskrbo naselij.

Nekateri problemi izrabe kraških vodnih virov za oskrbo

Na Vrhniki se kvaliteta vode stalno slabša, zato je treba zagotoviti učinkovito izboljšanje vodne oskrbe. Glede na razpoložljive vodne vire se ponuja več možnosti. Pri izbiri najprimernejšega vira je treba upoštevati poleg današnjih tudi bodoče potrebe po vodi. Urbanistični program občine predvideva skupinski vodovod za oskrbo vseh naselij v severnem in zahodnem obrobju Ljubljanskega barja (Urbanistični inštitut SRS, 1967). Glede na predvideno rast prebivalstva in industrije bo potrebno v prihodnjih 30 letih oskrbeti z vodo najmanj 20 000 prebivalcev, za kar bi morali imeti na voljo vir z okrog 100 l/s vode.

Na podlagi dosedanjih raziskav vodnih virov v neposredni okolici Vrhnike so dane naslednje možnosti:

1. Gravitacijski vodovod s popolno izrabo Lintverna in Staj ter drugih voda v povirju Bele.

2. Povečanje sedanjega gravitacijskega vodovoda z večjim izkoristkom dolomitnih izvirov in z dodatnim črpanjem ter čiščenjem kraških voda v nenaseljenem zaledju Primcovega studenca.

3. Črpalno zajetje kraških voda v izvirih sredi naselja ali v nenaseljenem zaledju Primcovega studenca ali Hribskega potoka.

Dolomitne vode v povirju Bele imajo več prednosti, ki bi jih kazalo izrabiti. Predvsem je pomembno, da so razmeroma čiste, se ne kalijo in izvirajo iz malo naseljenega območja. Zajeti jih je mogoče v taki legi, da bi gravitacijsko napajale skoraj celotno območje. Neugoden je sedanji režim z velikim nihanjem pretokov in razmeroma majhno izdatnostjo ob suši. Za popolno oskrbo z gravitacijsko vodo bi bilo treba zajeti vse vode Lintverna, Staj in drugih izvirov v povirju Bele in s primerno akumulacijo izravnati letne pretoke. Dolina Bele ter grape v Stajah in pri Starem malnu pod Lintvernom so dovolj prostorne in v primerni legi, vprašanje pa je, če bi bila na zakraselem dolomitu in v bližini še bolj zakraselega apnenca izvedljiva takšna akumulacija. Poprej bi bilo treba še temeljito geološko preiskati teren, hkrati pa ugotoviti tudi dejanske vodne količine in preveriti posamezne elemente vodne bilance.

Površinska akumulacija za vodno oskrbo bi imela nekatere prednosti pa tudi slabosti. Zaščititi bi bilo treba sorazmerno majhen predel, ki še ni preveč izpostavljen onesnaževanju. Visoko kvaliteto bi lahko dosegli sorazmerno poceni, skrbeti pa bi bilo treba le za varnost in čistost površinske akumulacije. Ker je že sedanje povodje Bele zanimivo rekreacijsko območje, v njegovem obrobju pri Strmici in Zaplani pa so zrastle že številne počitniške hišice, bi bilo treba posebej paziti, da ne bi umetno jezerce privabilo še druge turistično gostinske in rekreacijske dejavnosti. Tak primer je znan na Nevesinjskem polju v Hercegovini, kjer so ob umetnem jezeru za vodno oskrbo zgradili še športno rekreacijsko središče, obenem pa tja napeljali tudi kanalizacijo iz naselja.

Dolomitne izvire v povirju Bele bi še na drug način lahko bolje izkoristili. Sedanje majhne cevi bi morali zamenjati z večjimi, da bi zajeli čimveč dobre pitne vode, ki se sedaj ob višjih vodah preliva mimo zajetij. Z manjšo umetno podzemeljsko akumulacijo bi lahko zajeli tudi vsakokratni izbruh Lintverna, ne da bi uničili to naravno znamenitost. Zlasti ob deževju, ko se najbolj skalijo kraške vode in se zelo poveča njihova okuženost, bi dolomitni izviri v celoti krili potrebe po vodi. Ob nizkih vodah bi s črpanjem dodajali vodo iz kraškega

vira, ki bi jo tudi lažje očistili. Zaščita povirja Bele ne bi bila težavna, veliko težje pa bi uspešno zaščitili hidrografske zaledje kraškega vira, iz katerega bi po potrebi črpali vodo.

Glede na rezultate dosedanjih raziskav, bi kazalo zajeti kraško vodo v zaledju Primcovega studenca nekje v območju Zadnjih dolin, čim bliže dolomitnemu narivu, ali pa morda celo v apnencih pod dolomitom ob vznožju Storževega griča. Tam bi lažje zaščitili ožje območje zajetja, črpali pa bi predvsem vodo iz globljih zakraselih con pod zaplaninskim dolomitnim pokrovom.

Tehnično najenostavnejše je zajetje izdatnega kraškega izvira, kot je na primer izvir Hribskega potoka. Ob takem zajetju pa je potrebna zanesljiva čistilna naprava. Hidrografske zaledje takšnega vodnega vira je zelo izpostavljeno onesnaževanju, ki ga skoraj ni mogoče kontrolirati, niti v ožjem zaledju, še manj pa v območju bolj oddaljenih ponikalnic s površinskimi tokovi.

Namesto neučinkovitega varovanja obsežnega kraškega zaledja bi bilo treba zagotoviti temeljito čiščenje in umetno vzdrževanje kvalitetne pitne vode. Glede na različne vrste onesnaževanja bi bila tudi to zahtevna naloga in že ob začnih zastojih čiščenja bi celotno območje ostalo brez vode. Tudi izpadi električnega toka bi imeli enak učinek. Z zajetjem kraške vode izven naseljenega zaledja Hribskega potoka bi le delno razbremenili čiščenje, kvalitetno nekoliko ugodnejšo vodo pa bi dobili v zaledju Primcovega studenca ob vznožju Storževega griča. Za takšno izboljšanje bi bilo treba še nekaj dragih raziskav, predvsem vrtanj in črpanj, da bi našli v krasu dovolj izdatno vodno cono. Črpalni poskus v Oblakovem bruhalniku je potrdil takšno možnost, toda ta bruhalnik leži preblizu naselja, ki se vedno bolj širi po dolini Bele navzgor.

Problemi izrabe kraških vodnih virov za oskrbo Vrhnike in njene okolice so zelo tipični, zato smo jih skušali nekoliko obširneje predstaviti. Izraba kraških vodnih virov za oskrbo je odvisna od naravnih in družbenih danosti, ki so med seboj tesno povezane. Težave, s katerimi smo se seznanili, izhajajo na eni strani iz kraške narave s svojevrstnim sistemom površinskega in podzemeljskega pretakanja vode. Kraškim neznankam se pridružujejo različni vplivi človekovega udejstvovanja v prostoru, ki jih je pogosto zelo težko prilagoditi in vskladiti z naravnimi možnostmi. Najboljše rešitve ne moremo izbrati, če niso dovolj proučeni in pretehtani vsi dejavniki, ki lahko bistveno vplivajo nanje. Problematika izrabe kraških vodnih virov, kot smo jo spoznali na primeru Vrhnike, zahteva še temeljito preučevanje naravnih danosti kot tudi družbenih potreb in možnosti za zagotovitev dobre pitne vode.

Kraške vodne vire bi glede na možnosti za vodno oskrbo lahko razvrstili po različnih značilnostih. Pomembna je nedvomno lega vodnega vira in njegova horizontalna ter vertikalna oddaljenost od središča potrošnje. Kraški izviri leže povečini niže od oskrbovalnega območja, zato je potrebno kraško vodo črpati ponekod zelo visoko, za Postojno na primer okrog 180 m. Le redko se lahko širše območje gravitacijsko napaja iz kraškega izvira, kot na primer Ajdovščina in del Vipavske doline iz Hublja. Prevelika oddaljenost izvira od potrošnje je lahko huda ovira, prav tako pa tudi lega izvira sredi oskrbovanega naselja, kot se to kaže na Vrhniki.

Precejšnje težave povzročajo kraški izviri z zelo spremenljivo izdatnostjo. Zlasti ob suši prihaja do resnih problemov vodne oskrbe, če izvir povsem presahne, ali pa so njegove vode bistveno manjše od potreb. Za vodno oskrbo

so primernejši kraški izviri z bolj ustaljenim režimom, ki dobivajo vodo iz obsežnejšega zaledja. Vendar ne moremo samo po enakomernih pretokih in izravnosti režima soditi o vrednosti kraškega izvira. Razen količine je pomembna tudi kvaliteta kraške vode. Ta pa je odvisna predvsem od značaja kraškega zaledja in od razporeditve in jakosti različnih virov onesnaženja. Za vodno oskrbo so najprimernejše kraške vode, ki se stekajo iz nenaseljenega zaledja. Ugodnejše so tudi vode iz globokega krasa, ponavadi imajo taki izviri razmeroma nizke in v teku leta zelo izenačene temperature. Manj primerni so izviri, ki jih napajajo ponikalnice, ker zbirajo vodo z nepropustnega, gostejše naseljenega in onesnaževanju bolj izpostavljenega površja, podobno velja tudi za ponikalnice na kraških poljih. Več negativnih lastnosti za vodno oskrbo imajo izviri v plitvem, z ilovico bolj pokritem krasu. Te vode se namreč skoraj po vsakem deževju kalijo in tudi spiranje drugih škodljivih snovi s površja je izdatnejše, zato so vode bolj okužene.

Že iz tega kratkega pregleda je razvidno, kako različni so lahko kraški izviri in zato jih je treba temeljito poznati, če jih hočemo s pridom izrabiti. Marsikatero pomanjkljivost se da popraviti. Izboljšamo lahko režim in izdatnost izvira. To skušajo marsikje doseči z umetnim zajezevanjem izvirov in s podzemeljsko akumulacijo vode. Ponekod se dajo izkoristiti naravne vodne rezerve globlje v krasu pod nivojem izvirov. Obogatitev nizkih voda je mogoče doseči tudi s površinskimi zadrževalniki v nekraškem zaledju. Takšne možnosti se kažejo zlasti ob južnem vznožju Brkinov, kjer bi lahko v slepih dolinah zadrževali vodo in jo po potrebi dodajali Rižani (I. G a m s 1962, 268). Takšne možnosti so v zaledju Hribskega potoka, v porečju Rovtarice, Petkovščice in Bele.

Vsako umetno izboljšanje režima ali kvalitete vode pa zahteva posebne napore in je v določeni meri tudi nezanesljivo in včasih zelo drago. Zaradi znatne podzemeljske povezanosti kraških voda iz različnih in tudi zelo oddaljenih predelov nastajajo resni problemi realne zaščite kraških vodnih virov. Ti problemi se razlikujejo po hidrografskih in hidrogeoloških območjih, pa tudi po različno naseljenih in urbaniziranih predelih. Vrhniški primer jasno kaže na zapletene razmere in težavno reševanje vodne oskrbe, če pravočasno in stalno ne ščitimo kraških vodnih virov.

Posebno vprašanje so same zaščitne mere in ukrepi ter njihovo izvajanje. Doslej še niso jasno določene norme za zaščito hidrografskih zaledij kraških vodnih virov. To je na eni strani pogojeno s preskromnim poznavanjem podzemeljskih vodnih zvez in načina pretakanja voda v krasu, na drugi strani pa z razsežnostjo zaledij ter skromnimi izkušnjami o neposredni povezanosti vzrokov in posledic onesnaženja kraških voda. Za temeljito zaščito bo potrebno še precej podrobnega študija pa tudi izkušenj, saj bo treba za vsako območje posebej ugotoviti najugodnejše razmerje med zavarovanjem in čiščenjem voda.

Zusammenfassung

DIE HYDROGEOLOGISCHEN EINGENHEITEN DES EINZUGSGEBIETS DER BELA BEI VRHNKA UND DAS PROBLEM DER AUSNUTZUNG VON KARSTWÄSSERN FÜR DIE WASSERVERSORGUNG

Die kleinen Quellen des Ursprungsgebietes der Bela im Triasdolomit westlich von Vrhnika, welche die Wasserleitung des Städtchens unter Gravitationsdruck speisen, sind nicht mehr imstande, den stetig wachsenden Bedarf an Trinkwasser zu decken. Zu zusätzlicher Versorgung wurde zwar die ergiebige, inmitten der Stadtsiedlung gelegene Karstquelle Primcov studenec gefaßt, doch unterliegt diese immer stärkerer Verschmutzung und ist ungenießbar, weil das Wasserwerk über keine Klärvorrichtung verfügt. Hydrogeologische Untersuchungen haben nun auf die Möglichkeit einer vollkommeneren Erschließung guten Dolomitwassers hingewiesen, welches unter Gravitationsdruck Vrhnika versorgen könnte. Zusätzlich wurden auch die Möglichkeiten einer Nutzbarmachung von Karstwässern außerhalb der Siedlung untersucht.

Wegen des ungleichmäßigen Wasserhaushalts und der Verkarstung des Dolomits und des benachbarten Kalkgebietes ist es nicht möglich, die Wässer des Belatales westlich von Vrhnika zur Gänze auszunutzen. Ein Teil der Wässer versinkt in die verkarsteten, unter den Triasdolomit gelegenen Jurakalke. Die verkarstete Talsohle der Bela erschwert den Bau eines Staubeckens, welches den Wasserhaushalt, welchen auch die intermittierende Quelle Lintvern (Lindwurmquelle) stark beeinflusst, ausgleichen könnte. Das Einzugsgebiet der Bela eignet sich zwar vorzüglich zur Inschutznahme des Wassers vor Verschmutzung, viel schlechter sind aber diesbezüglich die Verhältnisse des Hinterlandes der um bedeutendes ergiebigeren Karstquellen Primcov studenec und Hribski potok beiderseits des Belatales. Die Qualität des Wassers dieser Quellen wird sowohl durch das anliegende als auch das weitere Hinterland beeinflusst. Hierbei ist das weitere Hinterland des Primcov studenec weniger gefährdet als jenes des Hribski potok, welches sich über ein ausgedehnteres, besiedeltes, Karstschwinden durchsetztes Gebiet erstreckt.

Eingehende hydrogeologische Untersuchungen im anliegenden Hinterland beider Quellen haben gezeigt, daß die Karstwässer im Untergrund des Belatales untereinander zusammenhängen. Dieser Zusammenhang macht sich besonders bei Niedrigwässern bemerkbar, weil wir zu ihrer Zeit die Ergiebigkeit des Primcov studenec durch Stauung des Hribski potok beeinflussen können. Bei Hochwässern sind jedoch die Unterschiede in der Speisung beider Quellen stärker, so daß sich die Eigenheiten der beiden voneinander getrennten Gebiete stärker geltend machen und sich das in der Menge und Qualität des Wassers widerspiegelt.

Die hydrologischen Eigenheiten des Karstes beiderseits des Belatales sind durch den geologischen Bau und die jungpleistozäne Entwicklung des tektonischen Beckens des Moores von Ljubljana bedingt. Die einstigen Hauptkanäle des Untergrundes sind bei den Quellen durch quartäre und holozäne Aufschüttungen verrammelt, so daß die Wässer durch engere Risse und Klüfte zur Oberfläche vordringen. Im Hinterland des Primcov studenec ist ein beträchtlicher Druck der Karstwässer zu verspüren, schwankt doch der Wasserspiegel der Quelle selbst um kaum 0,5 m, gut 500 m vor der Quelle jedoch um 10 m. Weil sich die Karstoberfläche im engeren Hinterland des Primcov studenec nur wenige Meter über dem normalen Karstwässerniveau befindet, beeinflussen die Niederschläge das Niveau und die Qualität des Wassers verhältnismäßig

schnell. Die zahlreichen Dolinen des Gebietes sind bei Hochwässern überflutet und das Wasser hält sich in ihnen gewissermaßen in kleinen Estavellen auf: durch senkrechte Klüfte aufsteigend überflutet es die Dolinen und fließt zurückweichend durch dieselben Klüfte ab.

Zu den angeführten negativen hydrologischen Eigenheiten des Hinterlandes der Quelle Primcov studenec gesellt sich noch das rasche Wachstum der Siedlung, die immer weiter in das niedrige Karsthinterland der Quelle vordringt. Die Notwendigkeit der Erschließung von Karstwässern in entsprechender Entfernung von der Quelle, außerhalb des Wohngebietes und in Geländerverhältnissen mit womöglich geringem Einfluß der Versickerung von der Oberfläche her ist offenkundig. Aufgrund dieser Kriterien ist das behandelte Gebiet für weitere hydrogeologische Untersuchungen, Bohrungen und Pumpversuche ausersehen worden. Durch diese Arbeiten soll die beste Stelle für eine neue Erschließung des Karstwassers bestimmt werden.

Während der Untersuchungen der für die Wasserversorgung der Stadt Vrhnika in Betracht kommenden Quellen hat sich wiederholt gezeigt, daß der Karst als kostbarer Trinkwasserlieferant zu werten ist, daß sich aber nicht alle Karstquellen gleichermaßen für die Wasserversorgung eignen. Vor allem ist die Lage der Quelle, ihre horizontale und vertikale Entfernung vom Mittelpunkt des Verbrauchergebietes von Bedeutung. Stellenweise muß das Karstwasser in großer Höhe gepumpt oder aus einer weit entfernten Quelle herbeigeleitet werden; auch die Lage inmitten eines Wohngebietes ist nicht günstig. Bedeutende Schwierigkeiten bereiten Quellen mit stark schwankender Ergiebigkeit, besonders natürlich solche, welche während der Dürrezeit versiegen. Für die Wasserversorgung sind Quellen mit ständigem Wasserhaushalt geeigneter. Außer der Wassermenge ist auch die Qualität des Wassers von Bedeutung; sie hängt vor allem vom Charakter des Karsthinterlandes ab. Günstiger sind Wässer aus unbesiedeltem Tiefkarst, am wenigsten geeignet solche aus bewohntem Flachkarst mit Karstschwinden im Hinterland. Mache Mängel einer Karstquelle können korrigiert werden, doch ist jede künstliche Verbesserung des Wasserhaushalts und der Wasserqualität mit beträchtlichen Anstrengungen verbunden, oft nicht zuverlässig, meistens aber sehr kostspielig. Für jede derartige Maßnahme ist unbedingt eine genaue Kenntnis des Karsthinterlandes und der unterirdischen Speisung der gewählten Quelle nötig.

Literatura in viri

- B u s e r, S. 1965: Geološka zgradba južnega dela Ljubljanskega barja in njegovega obrobja. *Geologija* 8, 34—57. Ljubljana.
- Č a d e ž, N. 1952: Barvanje ponikalnice Logaščice v letu 1951. *Geografski vestnik* 24, 177—189. Ljubljana.
- G a m s, I. 1962: Slepe doline v Sloveniji. *Geografski zbornik* 7, 263—306. Ljubljana.
- G a m s, I. 1965: Aperçu sur l'hydrologie du Karst Slovène et sur ses communications souterraines. *Naše jame* 7, 51—60. Ljubljana.
- G a m s, I. 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskimi, Planinskimi in Cerknjskimi poljem. *Acta carsologica* 4, 5—54. Ljubljana.
- G a m s, I. 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih tokov na primeru ozemlja med Cerknjskim in Planinskimi poljem. *Acta carsologica* 5, 171—187. Ljubljana.
- G a v r i l o v i ć, D. 1967: Intermitentni izvori u Jugoslaviji. *Glasnik SGD* 47, 1, 13—36. Beograd.
- G è z e, B. 1965: Les conditions hydrogéologiques des roches calcaires. *Chronique* 7, 9—39. Montpellier.

- Gospodarič, R. 1968: Geologija okolice Zaplane. Vodni viri za oskrbo Vrhnike. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krása SAZU, Postojna.
- Habe, F. 1937: Toplinski odnošaji na izviriš Ljubljane. Geografski vestnik 12/13, 53—61. Ljubljana.
- Habič, P. 1970: Intermitentni izvir Lintvern pri Vrhniki. Acta carsologica 5, 189—203. Ljubljana.
- Habič, P. 1973: K hidrologiji Cerkniškega jezera, spremljava poskusa 1969—1972. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krása SAZU, Postojna.
- Habič, P. 1973a: O razvoju krása in podzemeljske cirkulacije v porečju Ljubljane. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 1, 18—32. Ljubljana.
- Habič, P. & R. Gospodarič 1974: Nekaj osnovnih podatkov o zaledju kraških izvirov Ljubljane. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 2, 3—22. Ljubljana.
- Hočevár, A. —: Hidrografske razmere na Notranjskem krasu. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krása SAZU, Postojna.
- Hočevár, A. 1946: Podatki o možnosti vodne preskrbe na Krasu za sektor zahodno od Ljubljane. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krása SAZU, Postojna.
- Jenko, F. 1954: Ekspertiza o vodnogospodarski preučitvi področja Vrhnike s posebnim ozirom na vodno oskrbo. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krása SAZU, Postojna.
- Jenko, F. 1959: Hidrogeologija in vodnogospodarstvo krása. DZS, 1—237. Ljubljana.
- Mlakar, I. 1969: Krovna zgradba Idrijsko žirovskega ozemlja. Geologija 12, 5—72. Ljubljana.
- Novak, D. 1966: Zaganjalke. Varstvo narave 5, 15—28. Ljubljana.
- Opačič, S. & D. Markič 1974: Epidemija virusnega hepatitisa na Vrhniki 1971 do 1972 (I. Epidemiološka analiza). Zdravstveni vestnik 43, 1, 15—17. Ljubljana.
- Putick, W. 1903/1904: Die Lindwurmquelle bei Oberlaibach. Sabdr.: Die Erdbebenwarte 3, 1-2, 1—6. Ljubljana.
- Schönleben, J. L. 1681: Carniola antiqua et nova, 1, 181. Laibach.
- Serko, A. 1946: Barvanje ponikalnic v Sloveniji. Geografski vestnik 18, 125—139. Ljubljana.
- Serko, A. 1951: Ljubljana (Geološki in kraški opis). Geografski vestnik 23, 3—16. Ljubljana.
- Urbanistični inštitut SRS, 1967. Urbanistični program občine Vrhnika. Rokopis, Arhiv SO Vrhnika.
- Valvasor, J. V. 1689: Die Ehre des Herzogthums Krain. Nürnberg (Novo mesto, 1877), 594—600.
- Wester, J., 1942. Vrhniki Lintvern nekdaj in sedaj. Planinski vestnik 20, 3/5, 33—41. Ljubljana.
- Zupan, M. 1974: Poročilo o fizikalno kemijskih analizah voda, 3. del. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 3, 14—17. Ljubljana.
- Žibrik, K. & A. Pečnin 1973: K hidrologiji kraškega porečja Ljubljane. Poročila - Reports, 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, 1, 3—7. Ljubljana.

TIPI KRAŠKIH VOTLIN V TRIGLAVSKEM
POGORJU

(S 4 SLIKAMI)

TYPLOGIE DES OBJETS SPÉLÉOLOGIQUES DANS
LE MASSIF DE TRIGLAV (ALPES JULIENNES)

(AVEC 4 FIGURES)

ANDREJ KRANJC

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 6. FEBRUARJA 1975

D 17309/7 S



VSEBINA

Izvleček — Abstract	260
Uvod	261
Oznaka obravnavanega ozemlja	261
Osnovne poteze tipologije kraških votlin	262
Razčlenitev kraških votlin po hidrografskih in morfoloških značilnostih	264
Zaključki	273
Typologie des objets spéléologiques dans le massif de Triglav (Alpes Juliennes) (Résumé)	274
Literatura	276

Izvilleček

UDK 551.442 (234.323.6)

Kranjc Andrej: Tipi kraških votlin v Triglavskem pogorju. Acta carsologica 7, 257—277, Ljubljana 1975, lit. 34.

Avtor predstavlja tipologijo kraških votlin v Triglavskem pogorju na podlagi vseh registriranih speleoloških objektov tega območja. Prispevek podaja opis posameznih tipov votlin, njihovo razporeditev v prostoru in tudi nekaj teoretičnih osnov, na podlagi katerih je bila sestavljena ta tipologija.

Abstract

UDC 551.442 (234.323.6)

Kranjc Andrej: Typology of Speleological Objects in Triglav Mountains. Acta carsologica 7, 257—277, Ljubljana 1975, Lit. 34.

The author gathered all the registered data of the speleological objects in the central part of the Eastern Julian Alps and made their typology. The article gives the descriptions of each type, their regional development, and theoretical basis on which the typology has been made.

Naslov — Address:

Andrej Kranjc
Inštitut za raziskovanje krasa SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Uvod

Kraške votline, tj. brezna in jame — votli podzemeljski prostori, ki so rezultat kraških procesov v karbonatnih kamninah — so ena od osnovnih pojavov oziroma oblik v krasu. Zato nam lahko kraške votline oziroma njihovi tipi služijo pri predstavi določenih kraških ozemelj in nam lahko že same po sebi pomagajo pri razlikovanju različnih tipov krasa.

Ta prispevek skuša podati podrobnejšo sliko o tipih kraških votlin v Triglavskem pogorju, kakor tudi njihovo razporeditev in količinske (kvantitativne) odnose med posameznimi tipi. Na podlagi podrobnejše preučitve tipov kraških votlin po posameznih manjših regijah lahko zaključimo karakteristike za večje regije v celoti in lahko na tej podlagi primerjamo med seboj posamezne tipe krasa.

Študije posameznih kraških predelov, ki bi obravnavale predvsem tipologijo kraških votlin, so še razmeroma redke. Eno prvih povojnih del pri nas, ki obravnava to temo na določenem ozemlju, je P. H a b i č e v (1962) prispevek o krasu med Planinskim poljem in Ljubljanskim barjem, na podoben, vendar precej bolj splošen način obdelal celo Slovenijo I. G a m s (1965), J. K u n a v e r (1969) pa podrobneje Kaninsko pogorje. Tipologijo kraških votlin Komne s širšo okolico obravnava Osnovna speleološka karta Slovenije, list Tolmin 2-d (A. K r a n j c 1972, 92—132). Speleološke karakteristike, ki vsebujejo tudi tipe kraških votlin, obravnavata deloma tudi članka o osamljenem krasu na Slovenskem (F. H a b e 1972) in o jamah v Beli Krajini (S. K l e p e c 1970), v zadnjem času pa vsebuje tipološke elemente ter jih tudi uporablja za označevanje določenega krasa serija del Osnovne speleološke karte Slovenije, ki jo obdeluje Inštitut za raziskovanje krasa SAZU (P. H a b i č & A. K r a n j c & R. G o s p o d a r i č 1974; R. G o s p o d a r i č 1974; P. H a b i č 1974; I. K e n d a 1974; A. K r a n j c 1974).

Tudi v tuji literaturi so take študije razmeroma redke in obravnavajo pretežno gorske ter visokogorske kraške predele (M. H. F i n k 1968; M. A u d é t a t 1968) oziroma uporabljajo tipologijo v delih, koder je zaradi velikega števila kraških votlin nujna njihova delitev na tipe, kakor npr. v francoskih speleoloških »inventarjih« (J. C o l i n 1966; Y. C r é a c ' h 1967).

Oznaka obravnavanega ozemlja

Kot že naslov sam pove, obravnavam kraške votline v Triglavskem pogorju, to je v osrednjem delu Vzhodnih Julijskih Alp, približno med dolinami rek Save Dolinke, Save Bohinjke in Soče. Za lažjo obravnavo sem na podlagi reliefa,

deloma pa tudi na podlagi samih tipov kraških votlin, razdelil obravnavano območje na sledeče enote:

- Triglavski podi z Doličem in Hribaricami
- Komna z Dolino Triglavskih jezer
- Fužinarske planine
- Spodnje Bohinjske gore
- Križki podi
- Pokljuka
- alpske doline (Soče, Tolminke, Save Bohinjke in Radovne).

To ozemlje obsega najvišje dele Vzhodnih Julijskih Alp z gorskimi sklopi okoli Triglava (2863 m), Škrlatice (2738 m) in Krna (2245 m), najvišje vrhove same, z vmesnimi grebeni in manjšimi okoliškimi planotami - podi, ločenimi od dolin s strmimi stenastimi stopnjami. Komensko pogorje z nadaljevanjem v Spodnjih Bohinjskih gorah predstavlja nižji greben — sicer še vedno nad gornjo gozdno mejo — z manjšimi obrobniimi uravnjavami. Visokogorska planota v pravem pomenu besede so večji deli Komne in Fužinarskih planin, medtem ko predstavlja Pokljuka nižjo planoto, že v območju gozdnega pasu.

Celotno obravnavano ozemlje pripada torej alpskemu krasu Julijskih Alp, po hidrografskih značilnostih je to odtočna regija — globoki kras s podzemeljskimi tokovi (P. Habič 1969, sl. 1). Obenem je to raztočno področje na razvodju med črnomořskim in jadranskim povodjem, saj poteka razvodnica med Sočo in Savo, kolikor je je znane, skoraj po sredini tega ozemlja (D. Novak 1962, 40).

Osnovne poteze tipologije kraških votlin

Ena najbolj splošnih in najbolj starih delitev kraških votlin je delitev na jame (horizontalni vhod) in na brezna (vertikalni vhod) (I. Gams 1973, 2, 8). Ta razdelitev se še vedno uporablja po vsem svetu, vendar ni točne definicije, še manj pa točno določenih kriterijev, po katerih bi bilo mogoče opredeliti neko kraško votlino bodisi za jamo, bodisi za brezno. Takorekoč v vseh zgoraj navedenih delih o speleoloških karakteristikah slovenskega krasa se pojavlja delitev kraških votlin na brezna in jame, vendar niso nikjer razloženi kriteriji oziroma lastnosti, ki uvrščajo posamezni objekt v to ali ono skupino. Tako govori že J. Cvijić (1960, 5—6) o jamah in breznih. I. Gams (1964, 17) pa brezno definira kot »jamo, ki poteka navpično ali vsaj strmo navzdol«. Dokler ima taka delitev le opisni pomen, ki naj da bralcu predvsem splošno predstavo o oblikah obravnavanih kraških votlin, je stvar popolnoma v redu. Kakor hitro pa številčni odnos med tema dvema tipoma — breznom in jamo — uporabljamo za označenje nekega kraškega področja ali nekega tipa krasa ali celo za primerjavo z drugimi regijami, mora biti jasno in točno določeno, kaj je jama in kaj brezno.

Zaradi teh nejasnosti obenem pa zaenkrat še nujne potrebe po ohranitvi te osnovne delitve na jame in brezna, sem za kriterij opredelitve vzel horizontalno in vertikalno razvitost votline oziroma koeficient (K_r) te razvitosti (dolžina : globini). Pri tem moram dodati, da je zgoraj omenjena »nujnost« te delitve bolj v zgodovinskem, tradicionalnem pomenu, kakor pa stvarna, in nekateri

avtorji te delitve sploh ne upoštevajo več (Ph. Renault 1970). Votline, ki imajo K_r enak oziroma večji od 1,0 štejem med jame, votline s K_r manjšim od 1,0 pa med brezna. Seveda ima tudi taka delitev velike pomanjkljivosti, predvsem je problematično računanje globine in dolžine votline, kot so problematične tudi votline z vrednostjo K_r okoli 1,0. Vendar pa ima ta razdelitev tudi določene prednosti: za vse votline uporabljam enak kriterij opredelitve v prvi ali drugi tip in ta kriterij je točno določen — vsaka votlina lahko pade le v eno grupo.

Z obravnavanega območja je vsega skupaj znanih 271 kraških votlin (Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU), od tega jih je 40 le registriranih v ožjem pomenu besede in niso dovolj raziskane, o njih ni niti toliko podatkov, da bi jih lahko uvrstili bodisi med jame, bodisi med brezna. Tako mi je ostalo za podrobnejšo obdelavo 231 kraških votlin.

Po zgoraj razloženem kriteriju s pomočjo koeficienta K_r (dolžina : globini) je na obravnavanem ozemlju od vseh kraških votlin 61 % brezen in 39 % jam. Podrobnejša razdelitev, glede na vrednost K_r , je sledeča: pravih brezen je 53 %, pravih jam 38 %, vmesnih oblik pa je 9 %. Kot vmesne, prehodne oblike med brezni in jamami štejem tiste votline, ki imajo K_r v vrednosti okoli 1 (med 0,9—1,1). Posebej jih obravnavam predvsem zato, ker so si brezna z največjo vrednostjo K_r in jame z najmanjšo vrednostjo tega koeficienta po obliki precej podobne in je s tem malo omiljena togost delitve. Obenem je teh votlin razmeroma veliko in s tem poudarjam, da je to morda ena izmed speleoloških značilnosti obravnavanega krasa. Podrobnejšo razdelitev prikazuje tabela 1.

Tabela 1. *Kraške votline po vrednostih K_r*

	Vrednost K_r	Število votlin	% votlin
brezno	0,1— 0,4	71	30,8
	0,5— 0,8	52	22,5
	0,9— 1,1	20	8,7
jama	1,2— 1,6	32	13,8
	1,7— 2,0	16	6,9
	2,1— 4,5	19	8,2
	4,6— 7,5	11	4,8
	7,6—10,0	7	3,0
	10,1—25,0	3	1,3
Skupaj	0,1—25,0	231	100,0

Dobro je opazna tendenca manjšanja števila oziroma deleža votlin z večanjem koeficienta K_r . Najmočnejše so zastopana brezna s K_r pod 0,4. Za ilustracijo naj navedem, da ima vrednost K_r 0,4 brezno, ki je globoko 20 m, dolgo pa 8 m. Kraških votlin s K_r večjim od 10,0 pa je le še dober odstotek. K_r 10,0 ima, npr. 20 m dolg in 2 m visok vodoraven rov.

Razčlenitev kraških votlin po hidrografskih in morfoloških značilnostih

Ker je sama razdelitev kraških votlin na brezna in jame še vedno premalo za označitev nekega tipa krasa glede na speleološke značilnosti, kot tudi za primerjanje z drugimi tipi krasa, sem kraške votline Triglavskega pogorja še podrobneje razčlenil.

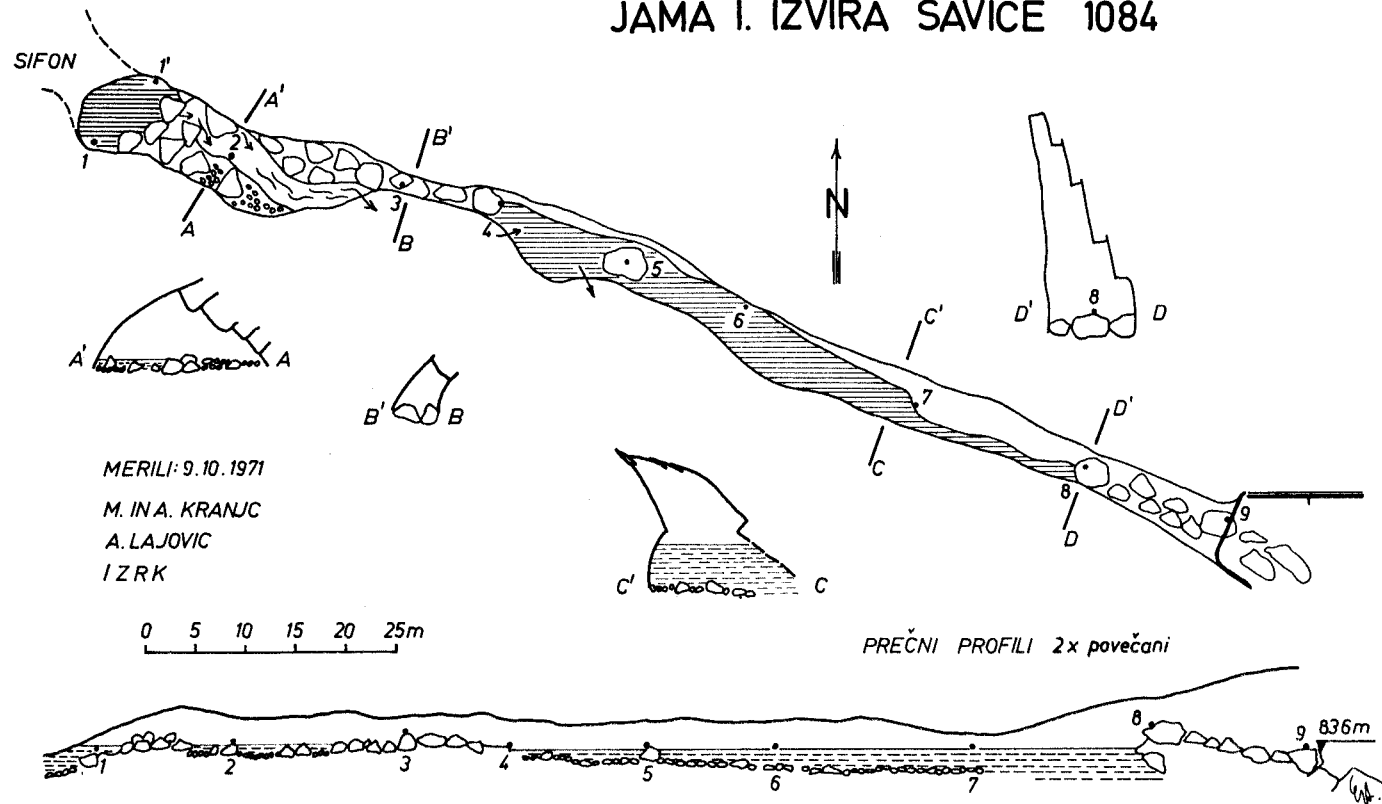
Za osnovo te podrobnejše razčlenitve sem uporabil razdelitev, ki jo je predlagala Mednarodna speleološka zveza (M. Audétat & H. Trimmel 1966) in ki bazira na hidrološki funkciji objekta, z upoštevanjem nekaterih popravkov oziroma dodatkov, ki so bili napravljeni ob sestavljanju legende za Osnovno speleološko karto Slovenije (P. Habič & A. Kranjc & R. Gospodarič 1974). Razdelitev Mednarodne speleološke zveze namreč ne upošteva kot posebne kategorije ledenih oziroma snežnih jam in brezen. Zaradi posebnosti obravnavanega ozemlja — alpski kraški svet v razmeroma veliki nadmorski višini — pa se mi zdi popolnoma umestno tako med jamami kot med brezni izdvojiti poseben podtip votlin s stalnim ledom oziroma snegom. Po tej shemi so torej kraške votline razdeljene na vsega skupaj 33 tipov, izmed katerih pa jih prihaja v poštevek za obravnavano območje le 8 sledečih:

- Jama — 1. vodna - 1.1 stalni izvir
 - 1.2 občasni izvir s stalnim tokom v notranjosti
 - 1.3 občasni izvir z občasnim tokom v notranjosti
 - 1.4 vhod suh, v notranjosti stalni tok
- 2. suha - 2.1 suha jama (brez vodnega toka)
- 2.2 ledenica in snežnica
- Brezno — 1 suho brezno (brez vodnega toka)
- 2 brezno s stalnim ledom ali snegom

Jame — vodoravne kraške votline — so v grobem razdeljene na vodne (hidrološko aktivne) in suhe (neaktivne), glede na hidrološko funkcijo. Pregled splošnih podatkov o tem tipu kraških votlin nam podaja tabela 2, razporeditev posameznih podtipov v Triglavskem pogorju pa sl. 1.

Jame-stalne izvire in jame-občasne izvire ob stalnem toku (to pomeni, da teče skozi jamo stalni vodni tok, le da se jamski vhod občasno presuši — izvir presahne) obravnavam skupaj, saj je medsebojna razlika pri večini izmed votlin teh dveh podtipov res malenkostna. Lep primer je Jama I izvira Savice (sl. 2), nad slapom Savice, koder voda sicer skoraj redno vsako leto preneha teči skozi vhod — takrat zgornji slap presahne — sicer pa deluje vhod ves ostali čas kot jamski izvir. Ta dva podtipa kraških votlin predstavljata 10% vseh jam (v ožjem smislu). Te votline leže v najmanjših nadmorskih višinah obravnavanega ozemlja in so v glavnem skoncentrirane na začetne dele glavnih alpskih dolin — Soče in Save Bohinjke. Nekaj jih leži tudi više v alpski notra-

JAMA I. IZVIRA SAVICE 1084



Sl. 2. Jama I izvira Savice, primer jame - občasnega izvira ob stalnem toku
Fig. 2. Source de Savica I, exemple d'une grotte - source temporaire recoupante cours d'eau perenne

njosti (dve jami na Vogarju), vendar je velikost teh kot tudi količina njihove vode neprimerno manjša od izvirnih jam v dnu dolini, kot sta npr. izvir Soče in izvir Savice. Morfološko gledano ta dva podtipa nista enotna, skupna morfološka karakteristika, poleg hidrološke, je le ta, da sodijo vse te votline k vodoravnim jamam. Drugih morfoloških podobnosti (pri tem ne upoštevam mikrooblik jamskih sten) med slabih 10 m dolgim in do 2 m visokim rovom — razpoko — iz katere priteka izvir pod Mirnikom in med preko 10 km dolgim spletom rovov Pološke jame, res ni mogoče najti.

Tudi jama-občasni izvir ob občasnem toku (torej vodni tok tudi v jamski notranjosti občasno presahne) ter jama s stalnim tokom v notranjosti, a z neaktivnim vhomom, imata podobne značilnosti kot prejšnja dva podtipa — nizka nadmorska višina, bližina večjih tokov in izvirov (predvsem zgoščenost v Bohinjskem kotu). Tipičen primer je Jama II izvira Savice (sl. 3), iz katere po večjem deževju bruha močan vodni tok, sicer pa je v celoti suha.

Tabela 2. Glavni podatki o jamah

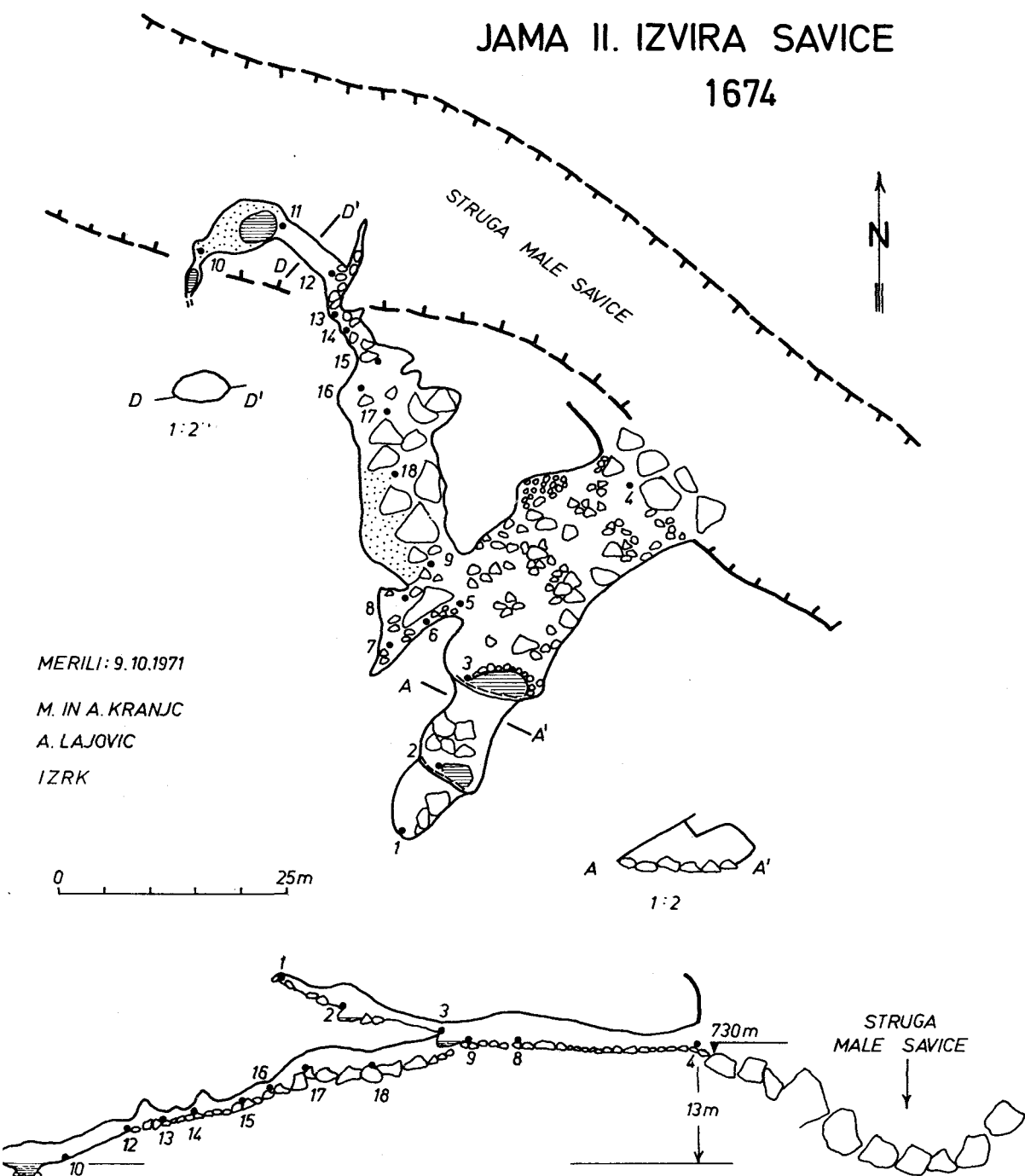
Tip in podtip		Število votlin	% votlin	Po- prečna dolžina ¹	Maksi- malna dolžina ¹	Mini- malna dolžina ¹	Nadm. višina ¹	Po- prečna nadm. viš. ¹
vodne jame	stalni izvir	6	6,5	29	80	8	740—1110	860
	občas. izvir s stal. t.	3	3,3	3490	10 300	58	730— 836	790
	občas. izvir z obč. t.	7	7,6	99	290	28	640—1525	850
	s suhim vhomom	1	1,1	450	—	—	810	—
	skupaj	17	18,5	99 ²	10 300	8	640—1525	840
suhe jame	suha jama	45	49,0	34	250	5	640—2500	1530
	ledenica — snežnica	30	32,5	28	130	6	1420—2435	1920
	skupaj	75	81,5	32	250	5	640—2500	1660
Jame skupaj		92	100,0	43 ²	10 300	5	640—2500	1510

¹ podatki v metrih

² popreček računat brez ekstremnih vrednosti

Za suhe jame je značilna predvsem večja nadmorska višina, saj jih v dnu dolin in v spodnjih delih pobočij skoraj ni. Z morfološkega gledišča nastopata dve različici: vodoravne jame, ki so jih izdelali horizontalno usmerjeni vodni tokovi — za medsebojno ločevanje jam, ki so bile nekdanji izviri, ponori, izdelane v gladini talne vode, ipd., bi bile potrebne detajlne terenske analize posameznih objektov — in pa jame, ki se po genezi pravzaprav ne razlikujejo

JAMA II. IZVIRA SAVICE 1674



MERILI: 9.10.1971

M. IN A. KRANJC

A. LAJOVIC

IZRK

Sl. 3. Jama II izvira Savice, primer jame - občasnega izvira ob občasnem toku

Fig. 3. Source de Savica II, exemple d'une grotte - source temporaire recoupante cours d'eau temporaire

od brezen, le da sodijo med jame glede na koeficient K_r (sl. 4, 2849). Tudi v sedimentih je med tema dvema oblikama jam bistvena razlika. V prvih često naletimo na prst in ilovico, nekateri poročajo tudi o razpadajoči sigi in pesku ter produ (Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU), v drugih pa je le grušč in podorno kamenje oziroma material iz neposredne okolice vhoda. V tej skupini jam je tudi precej vmesnih tipov s K_r okoli 1 (npr. Brezno v Medvedovi konti, J. Kunaver 1961, 31, 32). Pač pa je velikostna razlika med posameznimi jamami razmeroma majhna, saj je največja jama tega podtipa le petdeset-krat daljša od najmanjše, medtem ko je pri vodnih jamah ta razlika kar 1280-kratna, čemur je vzrok tudi v tem, da so hidrološko neaktivne — suhe — jame manjših dimenzij na sploh. Tako meri najdaljša suha jama le 250 m, čemur je gotovo vzrok tudi v prevladi razpadnih in zapolnjevalnih procesov, medtem ko lahko računamo, da pri vodnih jamah prevladujejo procesi izvotljevanja, ki jama povečujejo.

Tako velika razlika med najmanjšo in največjo vodno — aktivno — jamo je seveda tudi zato, ker je največja taka jama ravno Pološka jama, ena največjih v Jugoslaviji. Pri tem se pojavlja vprašanje, ali je umestno to jamo šteti v celoti kot aktivno, saj so njeni obsežni deli, predvsem zgornji, hidrološko neaktivni — suhi — in je bila ekstremna dolžina te jame dosežena tudi s prekopavanji in celo razstreljevanjem (P. Habič & P. Krivic 1972), kar bi govorilo o prid domnevi, da ni le hidrološka funkcija tista, ki ohranja »odprte« rove v jamah. Po drugi strani pa menim, da ta faktor — hidrološka funkcija — le igra določeno in pomembno vlogo, kajti razlika med nekaj metrov dolgo ožino, zatrpamo s podornim kamenjem (v Pološki jami) in pa med rovom, ki je zatrpan takorekoč v celoti, tudi z ilovico, in daje le nekaj metrov do nekaj deset metrov dolg vhodni del slutiti, da je bila to nekoč velika jama, je vsekakor očitna. Zato se mi zdi primerjava med največjimi in najmanjšimi votlinami v sklopu posameznih tipov in podtipov umestna in bo morda tudi ta odnos lahko speleološki »pokazatelj«, kar bodo pa pokazala lahko le dela o drugih tipih krasa, saj ni nujno, da je nek pokazatelj, ki je za določeno območje zelo ilustrativen, uporaben tudi za drugo področje. Verjetno alpski kras ni najprimernejše področje za postavljanje splošnih zaključkov o velikostnem odnosu med raznimi tipi horizontalnih jam.

V celoti je med obravnavanimi jamami ta podtip — suhe jame — v popolni prevladi, saj sodi v okvir tega podtipa kar 49 % od vseh vodoravnih jam.

Zadnjo skupino v okviru jam predstavljajo snežnice in ledenice, to je jame, v katerih se preko celega leta zadržujeta sneg in led. Na zadrževanje snega oziroma nastajanje ledu vplivajo razni činitelji, eden izmed pomembnejših je vsekakor nadmorska višina. V povprečju je ta tip jame v največjih nadmorskih višinah (1920 m n. m.), najnižja votlina tega podtipa pa je na višini 1420 m. Absolutnega višinskega rekorda pa vendar nima ta podtip, ampak suha jama, in sicer jama tik pod vrhom Jalovca, v nadmorski višini 2500 m. V skupini ledenic in snežnic je nekaj pravih ledenih jam, npr. Ivačičeva jama v Kredarici (I. Gams 1962), Kiklopovo oko (D. Novak 1961) ali Ledena jama I na južni strani Stadorja, namreč jam v pravem smislu glede K_r , nekaj pa je prehodnih oblik, podobno kakor pri suhih jamah. Sama delitev med ledenice in snežnice ni bistvena, saj je često pod snegom led in je odvisno od letnega časa ter od globine, do katere prodre človek, ali naletimo v jami le na sneg ali pa tudi na led. Kako je z letnim spreminjanjem količine snega oziroma ledu v teh votlinah

vemo zelo malo, saj so jamarji večino teh jam obiskali le enkrat, pač pa se je pri nekaterih posameznih, ki so bile večkrat obiskane, pokazalo, da se količina ledu lahko iz leta v leto močno spreminja. Tako je npr. Ledena jama v Krnici včasih takorekoč zatrpna z ledom preko celega poletja, včasih pa led v njej popolnoma izgine (A. Kranjc 1963, 5).

Brezna, čeprav številčno prevladujejo, so razdeljena le na dva podtipa — suha brezna in brezna s stalnim ledom ali snegom. Prvih je v okviru brezen 57 %, drugih pa 43 %. Brezna v celoti so povprečno v večjih nadmorskih višinah, ledena in snežna brezna pa so absolutno le nad 1500 m n. m., njihova povprečna nadm. viš. pa je celo 2000 m. Drugi podtip je v povprečju tudi globlji od prvega — suhih brezen — kljub temu, da zaradi nakopičenega snega in ledu navadno ne dobimo pravih dimenzij votline v skali. Torej je poleg nadmorske višine, položaja vhoda glede na ožjo okolico, same oblike in velikosti vhoda (P. Habič 1964, 22) tudi velikost votline same eden od vzrokov za zadrževanje snega in ledu. Ker so ta brezna pod spodnjo mejo večnega snega, se mora v njih preko zime nakopičiti dovolj velika količina snega, da se lahko obdrži preko celega poletja (sl. 4, 2847). Splošne podatke o breznih podaja tabela 3.

Tabela 3. Glavni podatki o breznih

Podtip	Število votlin	% votlin	Povprečna globina ¹	Maksimalna globina ¹	Minimalna globina ¹	Nadm. višina ¹	Povprečna nadm. viš. ¹
brezno suho	79	57,0	19 (14) ²	444	5	700—2355	1880
brezno — ledenica, snežnica	60	43,0	26 (23) ²	280	5	1565—2400	2060
skupaj	139	100,0	22	444	5	700—2400	1960

¹ podatki v metrih

² povpreček računat brez ekstremnih vrednosti

Zaradi absolutne številčne prevlade brezen, obenem pa majhnega števila podtipov, v katere so razdeljena, sem, bolj kot poizkus in eventuelno primerjavo z drugimi alpskimi kraškimi področji, brezna še podrobneje razčlenil. In sicer se v literaturi podrobnejša razčlenitev brezen v alpskem krasu pojavlja največ na podlagi oblike (morfologije) (J. Kunaver 1966, 77) oziroma na podlagi kombiniranja oblike in geneze (M. Audétat 1968, 393). Jaz sem se držal teh dveh kriterijev, sicer z rahlimi spremembami oziroma dopolnitvami, kakor je pač zahteval že sam obdelovani material. Tako sem suha brezna razčlenil na sledeče grupe:

1. Brezna — razširjene razpoke

Teh je največ, na obravnavanem ozemlju jih je 34 % od vseh votlin oziroma 58 % od vseh brezen sploh. Nastala so z razširitvijo razpok, v glavnem navpičnih (diaklaz), le redko z razširitvijo preloma. So predvsem korozijskega nastanka,

stene so močno razjedene, često so žlebičaste ali celo »gobaste«, pri večjih brezni-
nih pa močnejše sodeluje širjenje s pomočjo mehanskega razpadanja. Manjša
brezna tega tipa se često zaključijo z neprehodnimi ožinami, večja pa navadno
na dnu zapirata grušč in podorno kamenje, v višjih legah često tudi sneg (sl. 4,
2848). Stalni sneg je redkeje v brezni z manjšo, ožjo, vhodno odprtino. Ta tip
brezen se pojavlja v nadmorski višini 1520—2355 m, sicer so pa močnejše zgoščena
v treh pasovih — med 1500—1700 m (16 ‰), 2000—2100 m (39 ‰) in med 2200 do
2350 m (25 ‰).

V tej skupini je 36 ‰ objektov s stalnim snegom (od 1780 m navzgor), naj-
več jih je seveda v najvišjem pasu, kjer predstavljajo že dobro polovico vseh.
Glede usmerjenosti razpok, v katerih nastopa ta tip brezen, močno prevladuje
smer sever—jug, takoj za njo pa je dinarska usmerjenost.

Podrobnejše podatke tako o tem kot o ostalih podtipih podaja tabela 4.

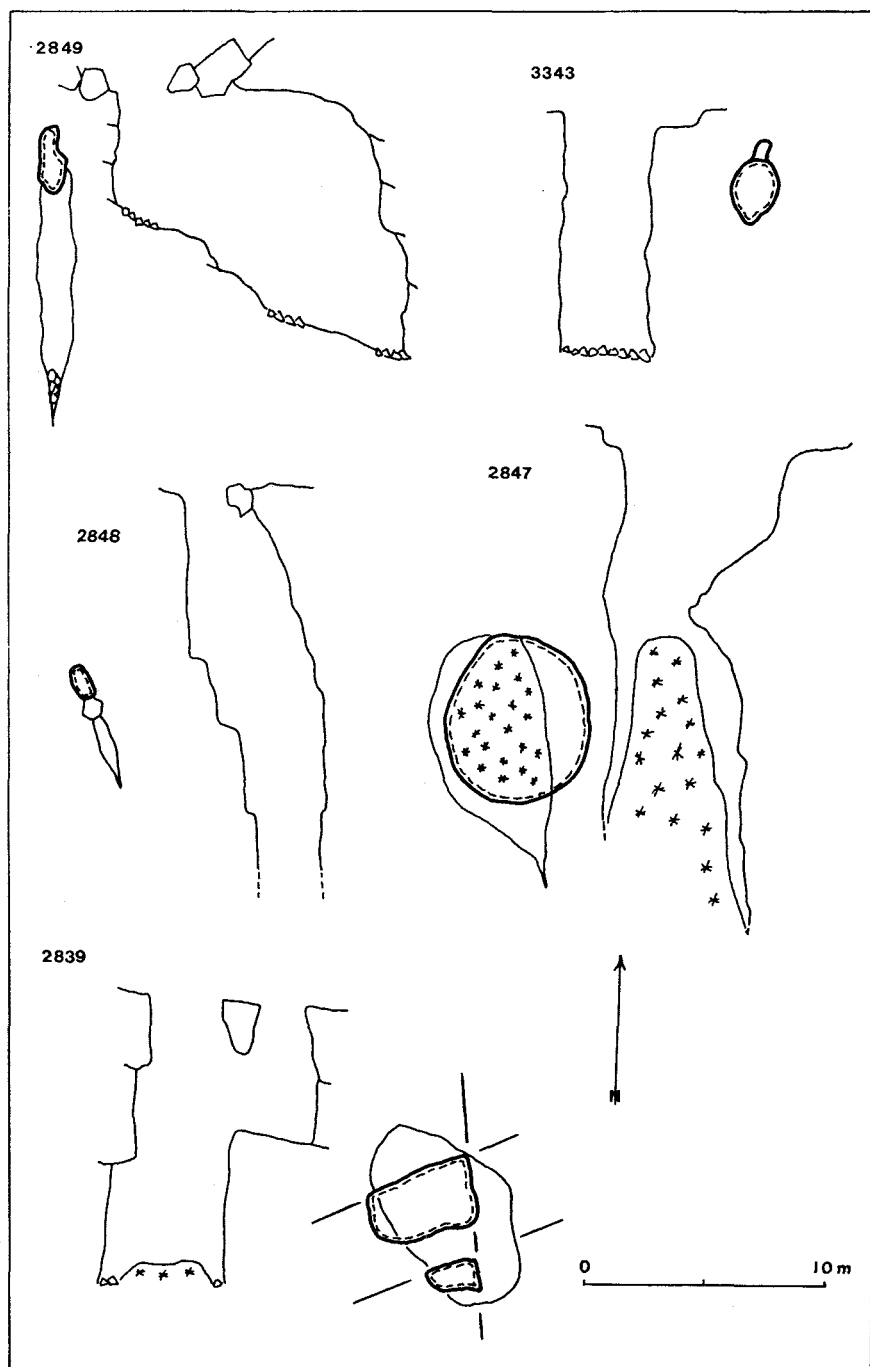
Tabela 4. Glavni podatki o suhih brezni

Tip	‰	Povpr. glob. ¹	Maks. glob. ¹	Nadm. viš. ¹
razšir. razpoka	58	13,5	36	1520—2355
vodnjak	14	8	17	1515—2355
križ. razpok	11	12	23	1930—2090
v dnu vrtač	4	12	19	1722—2025
stopnjasto br.	11	43	94	1490—2280
»velika« br.	2	308	444	1610—2400

¹ podatki izraženi v metrih

2. Vodnjaki — enostavna vodnjakasta brezna

Ta brezna so po številu takoj za razširjenimi razpokami. To so enostavni
navpični jaški bolj ali manj okroglega prečnega preseka, ki se na dnu slepo
končujejo. Nekatera so nastala iz razširjenih razpok (v več primerih je opaziti
razpoko, ki seka vhod brezna), tako, da se odprtina ni širila vzdolž ob razpoki,
ampak težila k obliki kroga. V drugih primerih pa taka brezna sekajo kamninske
sklade, ne da bi bili ti opazno prepokani. Taka brezna so največ v horizontalnih
in subhorizontalnih plasteh in so na obravnavanem ozemlju predvsem na ravnih
»podih« ali »laštih«. D. N o v a k jih ima za najbolj značilno podzemljsko obliko
našega visokogorskega krasa in predlaga izraz »vodnjak« kot splošni termin za
tak tip brezna (D. N o v a k 1963), kar se deloma tudi uveljavlja v tuji literaturi
(J. N. J e n n i n g s 1971). Na dnu se končujejo bodisi z gruščem (72 ‰), bodisi
s snežnim čepom (28 ‰). Glede na to, da leže v isti nadmorski višini kakor brezna
— razširjene razpoke in da jih je večina (61 ‰) celo nad 2000 m, a je kljub temu



Sl. 4. Primeri raznih tipov kraških votlin: 2849 — jama - razširjena razpoka, 2847 — brezno, zamašeno s stalnim snegom, 2848 — brezno - razširjena razpoka, 3343 — brezno - vodnjak, 2839 — brezno, nastalo na križišču razpok
 Fig. 4. Exemples des types divers des cavernes: 2849 — grotte - diacalse, 2847 — gouffre, bouché par la neige permanente, 2848 — gouffre - diacalse, 3343 — puit simple, 2839 — gouffre; formé sur l'intersection de diaclases

odstotek objektov s snegom manjši kot pri prejšnjih, lahko zaključimo, da je to vpliv relativno velikega vhoda in majhnega volumna (ta tip je med vsemi brezni v povprečju najplitvejši).

3. Brezna, nastala na križišču razpok

Po nastanku, obliki in velikosti so blizu prvima dvema skupinama. Od prve se ločijo predvsem po večjih dimenzijah v horizontalni smeri — močnejše prihaja do izraza mehansko razpadanje kamnine tudi v notranjosti objektov. Od vodnjakov se razlikujejo prav tako v horizontalni dimenziji kot tudi v obliki tlorisa — ti so močno oglatega in nepravilnega prereza (vpliv razpok in tektonskih linij). Dno tvori snežni zamašek ali pa groblja iz grušča in podornega kamenja. Na dnu 80 % objektov te skupine se preko celega leta zadržuje sneg. Glede na to, da se ne nahajajo v najvišjih legah, lahko tako velik delež objektov s snegom pripišemo njihovi široki odprtosti in razmeroma velikemu volumnu (sl. 4, 2839). Skrajne oblike tega tipa brezen so že kotlički, kot je npr. Brezno pod Čelom (odprtina velika 5×8 m, globina 9 m, na dnu se stalno zadržuje sneg).

4. Brezna v dnu vrtač

Čeprav je objektov tega tipa zelo malo, jih obravnavam posebej predvsem zato, ker bi jih težko priključil drugim skupinam, pa tudi v literaturi se često pojavljajo kot poseben tip (M. Audétat 1968, 395) in je s tem omogočena primerjava. Po obliki spominjajo najbolj na vodnjake, le da so precej večjih dimenzij. So v dnu vrtač, kotličev ali manjših kont. So ob razpokah ali tektonskih linijah, ki sekajo dna vrtač, na dnu se končujejo bodisi s snegom ali gruščem. Verjetno je objektov tega tipa več, vendar pri raziskavah navadno premalo gledamo in opišemo ožjo okolico objekta in potemtakem iz načrta ni moč vedno razbrati, kje neposredno se odpira vhod.

5. Paralelna — stopnjasta brezna

Po obliki in genezi so podobna breznom — razširjenim razpokam in vodnjakom. To so močnejše razvite oblike, predvsem v globino, bodisi kot navadne velike razpoke, ki pa niso zasute ali preozke za nadaljnje prodiranje, ali pa so kombinacija razširjenih razpok in vodnjakov, na prehodu iz ene oblike rova v drugo pa navadno nastane stopnja. Često so izoblikovana v močnejši razpoki ali prelomu. V smeri razpoke si slede v globino različno velika brezna, povezana med seboj s kratkimi vodoravnimi razširitvami, navzgor pa se nadaljujejo v kaminih. Primer je Alešovo brezno v Pršivcu: v eni sami razpoki dinarske smeri je na oddaljenosti v zračni črti 25 m razvitih 5 brezen oziroma kaminov globokih od 30—60 m, s številnimi prečnimi prehodi in povezavami. Brezno se zaključuje v globini 90 m z dnom iz grušča, a nekaj 10 m pod vhomom se celo leto zadržuje sneg, čeprav je le v višini 1615 m. Poleg »velikih« brezen so to največji objekti, v njih se prvič pojavijo tudi večje količine ledu, ne le snega, tako da lahko upravičeno že govorimo o ledenih brezni (Romekovo brezno na Kriških podih).

6. »Velika« brezna

Posebno skupino sestavljajo t. i. »velika« brezna — to so objekti, globoki preko 100 m. Seveda ta dimenzija ni pogojena z naravo votline same, ampak je konvencionalna (dogovorjena), saj je to predvsem tehnična meja, ki jo upo-

števamo največ pri raziskavah, športnih podvigih in seznamih najglobljih votlin. V tem primeru ne morem govoriti o posebnem tipu brezen, pač pa je njihova posebnost, ki jih ločuje od ostalih tipov, prav njihova izjemna globina in so torej izjeme in je kot take najbolje obravnavati vsak primer zase. V Triglavskem pogorju so do sedaj znana le tri taka brezna. Po nastanku so lahko različna, vsekakor pa so morali biti tako pogoji za nastanek kot za ohranitev ugodni. Najgloblje med temi brezni je Brezno pri gamsovi glavici (z globino 444 m je najgloblje brezno v pravem smislu v Jugoslaviji) (J. Pirnat & T. Planina 1974, 52—53). V spodnjih delih brezna je stalen potoček, ki ga napaja voda, ki pronica s površja v okolici brezna, vendar je težko reči, ali sodi objekt k vodnim ali suhim votlinam. V vhodnem delu se kljub relativno nizki legi (1610 m) stalno zadržuje sneg (T. Jenc 1971, 14). Ostalih dvoje velikih brezen leži v nadmorski višini okoli 2400 m, v soseščini Triglavskega ledenika. To sta 280 m globoko Triglavsko brezno in 200 metrsko Brezno II pri totalizatorju. Za oba objekta je značilen stalen sneg v vhodnem, v notranjih delih pa velike množine ledu. Podzemeljski prostori teh brezen so često izdolbeni deloma ali v celoti v ledu, kar onemogoča ugotavljanje oblike votline, kot tudi njenih dimenzij, v kamnini (I. Gamš 1962). Bistvena razlika teh dveh brezen od Brezna pri gamsovi glavici so predvsem velika brezna v notranjosti, tako po globini kot po premeru, medtem ko je Brezno pri gamsovi glavici sestavljeno iz številnih manjših stopenj in ozkih prehodov v razpoki.

Poleg zgoraj navedenih treh »velikih« brezen so na obravnavanem območju znana še tri brezna, ki jih bo morda nekoč mogoče prištevati k tej skupini: Ledena jama II in III na južni strani Studorja ter Brezno na Toscu. Prva sta vodoravna rova, ki se končujeta v steni velikih, še nepreiskanih brezen s stalnim ledom, Brezno na Toscu pa ima navpičen vhod in je le po padcu kamna mogoče sklepati na večjo globino.

Zaključki

V Triglavskem pogorju so torej trije glavni tipi kraških votlin, ki so podrobneje razdeljene na 14 podtipov:

1. Vodne jame — takorekoč vse so izvirne, ponornih sploh ni. Pojavljajo se v glavnem v obröbju pogorja, v dolinah in spodnjih delih gorskih pobočij (povprečna nadmorska višina 840 m). To so največji objekti obravnavanega področja, tako v povprečju (100 m dolgi) kot tudi absolutno — preko 10 km rovov v Polški jami. Pač pa je te skupine zelo malo, saj predstavljajo te jame le 7 % od skupnega števila vseh raziskanih kraških votlin.

2. Suhe jame zavzemajo večji delež celotnega števila — 32 %. Leže v večjih nadmorskih višinah (v povprečju 1650 m n. m.), so razmeroma majhne (povprečna dolžina 32 m), vmes je veliko ledenic in snežnic (40 %). Pomen tega tipa je predvsem za preučevanje razvoja reliefa Triglavskega pogorja oziroma tamkajšnjega krasa, saj so te oblike pravzaprav »fossilne« — ostanek nekega obdobja, ko so bili speleogenetski pogoji v zdajšnjem Triglavskem pogorju drugačni od današnjih in so te votline rezultat funkcij, ki jih danes ne morejo več izpolnjevati.

3. Brezna so najznačilnejša speleološka oblika Triglavskega pogorja, kar potrjuje njihovo število (61 % celotne količine), predvsem pa so značilnost visokogorskih planot, nad zgornjo gozdno mejo, koder je njihov delež sledeč:

Triglavski podi z Doličem in Hribaricami	— 77 %
Komna z Dolino triglavskih jezer	— 72 %
Fužinarske planine	— 57 %
Spodnje Bohinjske gore	— 57 %
alpske doline	— 0 %

Vsa brezna so suha, brez vodnih tokov, prevladujejo majhni, plitvi objekti (povprečna globina 22 m). Prevladujoči morfološki obliki med brezni — razširjene razpoke in »vodnjaki« — sta obenem razlaga za tako majhne dimenzije, saj so razpoke bodisi preozke ali pa zamašene s snegom, da nadaljnje prodiranje ni mogoče, vodnjaki pa so zamašeni bodisi s snegom ali pa z gruščem — posledica intenzivnega mehanskega razpadanja kamnine v visokogorskem podnebju. V kolikor pa so brezna odprta globlje v osrčje masiva, takih je sicer le dober en odstotek, imajo vse možnosti, da jih štejemo med »velika« brezna največjih dimenzij.

V kratkem lahko ponovim, da je za Triglavsko pogorje značilna množica zelo majhnih votlin, vmes pa nekaj redkih, zato pa tem pomembnejših velikih objektov — ravno v alpskem svetu so tako pri nas kot tudi v tujini nekateri izmed največjih jamskih sistemov — tako Pološka jama, najgloblja in ena izmed najdaljših jam v Jugoslaviji — kot tudi najgloblja brezna (Brezno pri gamsovi glavici). Sicer pa je splošna speleološka označba Triglavskega pogorja dokaj enostavna: z naraščanjem nadmorske višine padata tako delež vodoravnih jam kot tudi povprečna velikost votlin, obenem pa z nadmorsko višino temu ustrezno naraščata delež brezen in število votlin, zapolnjenih s stalnim ledom in snegom kot tudi sama gostota kraških votlin.

R é s u m é

TYPOLOGIE DES OBJETS SPÉLÉOLOGIQUES DANS LE MASSIF DE TRIGLAV (ALPES JULIENNES)

Les objets spéléologiques présentent les formes principales d'une région karstique. D'après leurs types nous pouvons déterminer les différentes types de régions karstiques. Sur la base de typologie des objets spéléologiques faite pour les petites régions on peut obtenir les caractéristiques pour les régions plus grandes et faire la comparaison parmi les régions différentes.

Les études de ce genre sont assez rares dans la littérature. Pour la Slovénie il faut mentionner »Les caractéristiques spéléologiques du karst slovène« (I. G a m s 1965), pendant que les régions plus petites on été traitées par J. K u n a v e r (1969) (Massif de Kanin), P. H a b i č et A. K r a n j c (1974, Karst de la Carniole Intérieure et des Alpes Juliennes) et S. K l e p e c (1970, Bela Krajina).

L'extension de la région traitée est le mieux visible sur la fig. 1. Elle contient la partie centrale des Alpes Juliennes, sectionnée en plusieurs massifs et plateaux différents.

On est déjà tellement habitué à la différentiation des objets spéléologiques en grottes et gouffres que je l'ai conservé malgré son inaptitude pour le traitement statistique. Comme il n'y a pas des normes exactes pour distinguer les grottes des gouffres (sauf par la forme d'entrée laquelle n'a pas grande valeur) j'ai pris le coefficient (K_r) de la longueur contre la profondeur d'un objet spéléologique. Les objets avec K_r plus petit de 1,0 appartiennent aux gouffres, les autres aux grottes. Ce principe a encore beaucoup des imperfections, mais un avantage aussi — important surtout pour les calculs — la délimitation entre les grottes et les gouffres est strictement définie.

On connaît tous ensemble dans la région traitée 271 objets spéléologiques (Archive d'Institut karstique à Postojna), dont 40 n'ont pas assez de données pour le traitement statistique, alors ils nous restent 231 objets spéléologiques; 61% des gouffres et 39% des grottes. On aperçoit une tendance générale de la diminution de nombre des objets avec l'augmentation du coefficient K_r .

Pour la base de la typologie j'ai utilisé la typologie proposée par l'UIS (M. Audétat & H. Trimmel 1966) avec supplément de 2 types nouveaux. Dans le massif de Triglav on trouve les types suivants:

- Grottes — 1. actives - a) émergences perennes
- b) émergences temporaires recoupant une circulation perenne
- c) émergences temporaires recoupant une circulation temporaire
- d) orifice non fonctionnant, recoupant une circulation perenne
- 2. fossiles - a) fossiles (sèches)
- b) glaciers ou avec la neige permanente
- Gouffres — 1. fossils - a) fossils (sèches)
- b) avec la glace ou la neige permanente

Comme il y a de plus des gouffres fossils (60%) cette typologie ne suffit pas, alors je l'avais combiné avec morphologie et genèse (M. Audétat 1968).

Les types des gouffres sont les suivants:

- a) les diaclases simples
- b) les puits verticaux simples
- c) les puits situés sur des intersections des diaclases
- d) les dolines avec les puits
- e) les puits parallèles
- f) les grands gouffres

Dans le massif de Triglav 3 types principaux des objets spéléologiques prédominent:

1. Les grottes actives (avec les cours d'eau — presque toutes sont les grottes-sources, il n'y est pas des grottes-pertes. Pour la plupart elles sont situées sur le rebord du massif, dans les vallées et dans les parties basses des flancs des montagnes (altitude moyenne 840 m). Elles représentent les objets les plus grands de la région en moyenne

(100 m de la longueur) et absolument (plus de 10 km des galeries dans Pološka jama). Mais leur nombre est petit, elles occupent seulement 7 % des objets spéléologiques connus de cette région.

2. Les grottes fossiles (sèches) sont présentées en 32 % du numéro total. Elles sont situées plus haut que les précédentes (en moyenne à 1650 m), elles sont assez petites (en moyenne 32 m de la longueur), parmi eux il y a beaucoup des grottes glacières et avec la neige (40 %). Ce type est important pour les recherches morphologiques du massif de Triglav et son karst, parce que ces grottes sont »fossiles« au sens stricte, représentant les restes d'une période dans laquelle les procès spéléogénétiques ont été assez différents des actuels.

3. Les gouffres sont la forme spéléologique la plus typique au massif de Triglav — cela est prouvé par leur nombre (61 % de tous) et ils sont principalement caractéristiques pour les plateaux alpins au-dessus de la limite supérieure de la forêt: il y a 77 % des gouffres sur »le plateau de Triglav« avec le Dolič et Hribarice, 72 % sur plateau de Komna et dans la Vallée des lacs du Triglav, 57 % sur les alpes de Fužina et dans des »Spodnje Bohinjske gore« — et dans les vallées ils n'existent pas. Tous les gouffres sont secs, sans cours d'eau, en majorité des petites dimensions (la profondeur moyenne de 22 m). Les formes les plus répandues — diaclases et puits simples — présentent la cause des petites dimensions; les diaclases sont trop étroites ou bouchées par la neige, tandis que les puits sont bouchés par la neige ou par l'éboulis (altération mécanique poussée dans le climat de haute-montagne). Si les gouffres sont ouverts à l'intérieur (1 % seulement) ils ont toutes les possibilités d'être les »grands gouffres« des dimensions impressionnantes.

On peut résumer que la caractéristique spéléologique du massif de Triglav est une grande quantité de petits objets spéléologiques et peu plus grands, mais ceux-ci tellement plus importants (l'un des réseaux les plus longues de la Yougoslavie — Pološka jama — et un des gouffres les plus profonds — Brezno pod gamsovo glavico — se trouvent dans les Alpes Juliennes, dans le massif de Triglav). D'autre part la caractéristique est assez simple: avec l'augmentation de l'altitude la proportion des grottes horizontales diminue ainsi que leur dimensions moyennes, tandis que vers le haut augmente la proportion des gouffres et le numéro des objets bouchés par la glace et la neige.

Literatura

- Audétat, M. & H. Trimmel 1966: Signes conventionnels à l'usage des spéléologues. Stalactite 16/3, 75—125. La-Chaux-de-Fonds.
- Audétat, M. 1968: Répartition des cavités du Jura suisse français par groupes morphologiques. Actes du IV^{ème} CIS, 3, 391—400. Ljubljana.
- Colin, J. 1966: Inventaire spéléologique de la France I, Département du Jura. 1—307. Paris.
- Créac'h, Y. 1967: Inventaire spéléologique de la France II, Département des Alpes-Maritimes. 1—349. Paris.
- Cvijić, J. 1960: La géographie des terrains calcaires. Monographies SANU 341, 1—212. Beograd.
- Fink, M. H. 1968: Versuch einer Typisierung von Karstgebieten in Niederösterreich. Actes du IV^{ème} CIS, 3, 441—444. Ljubljana.
- Gams, I. 1962: Triglavsko brezno. Naše jame 3 (1961), 1—17. Ljubljana.

- Gams, I. 1962: Ivačičeva ledena jama pod Kredarico. Planinski vestnik 62, 7, 296—300. Ljubljana.
- Gams, I. 1964: Raziskovanje jamskih oblik in nastanka jame. Jamarski priročnik, 7—49. Ljubljana.
- Gams, I. 1965: Speleological Characteristics of the Slovene Karst. Naše jame 7, 41—50. Ljubljana.
- Gams, I. (uredn.) 1973: Slovenska kraška terminologija. Kraška terminologija jugoslovanskih narodov, knj. 1, I—76. Ljubljana.
- Gospodarič, R. 1974: Osnovna speleološka karta, Vrhnika 4 (a, b, c, d) 1 : 50 000. Tipkopis, 1—136, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Habe, F. 1972: Nekatere speleološke značilnosti osamljenega krasa Slovenije. Naše jame 13 (1971), 45—53. Ljubljana.
- Habič, P. 1962: Nekaj rezultatov speleoloških raziskovanj med Planinskim poljem in Ljubljanskim Barjem. Naše jame 4/1-2, 3—8. Ljubljana.
- Habič, P. 1964: O podzemeljskih ledenikih na Nanosu. Naše jame 5 (1963), 19—29. Ljubljana.
- Habič, P. 1969: Hidrografska rajonizacija krasa v Sloveniji. Krš Jugoslavije, knji. 6, 79—91. Zagreb.
- Habič, P. & P. Krivic 1972: Nova odkritja v Pološki jami. Naše jame 13 (1971), 98—108. Ljubljana.
- Habič, P. 1974: Osnovna speleološka karta, Vrhnika 1 (a, b, c, d) 1 : 50 000. Tipkopis, 1—126, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Habič, P. & A. Kranjc & R. Gospodarič 1974: Osnovna speleološka karta Slovenije. Naše jame 15 (1973), 83—98. Ljubljana.
- Jenc, T. 1971: Razpoznavni znak: gamsova glavica. Bilten JS PDŽ (ciklostil), 12—18. Ljubljana.
- Jennings, J. N. 1971: Karst. 1—152. Cambridge (Mass.) and London.
- Kenda, I. 1974: Osnovna speleološka karta, Vrhnika 3 (a, b, c, d) 1 : 50 000. Tipkopis, 1—168, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Klepec, S. 1970: Nekaj rezultatov jamarskih raziskav v Beli Krajini. Naše jame 11 (1969), 51—56. Ljubljana.
- Kranjc, A. 1963: Speleološke raziskave v gorah. Bilten JS PDŽ 1 (ciklostil), 3—6. Ljubljana.
- Kranjc, A. 1972: Osnovna speleološka karta, Tolmin 2-d (1 : 25 000). Tipkopis, 1—144, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Kranjc, A. 1974: Osnovna speleološka karta, Cerknica 2 b (1 : 25 000). Tipkopis, 1—54, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Kranjc, A. 1974: Osnovna speleološka karta, Cerknica 2-d (1 : 25 000). Tipkopis, 1—47, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
- Kunaver, J. 1961: Brezno pri Medvedovi konti na Pokljuki. Naše jame 2 (1960), 30—39. Ljubljana.
- Kunaver, J. 1969: Speleološke raziskave v Kaninskem pogorju. Naše jame 10 (1968), 69—81. Ljubljana.
- Lešer, M. 1961: O speleoloških raziskovanjih na visokogorski planoti Komni in soseščini. II. jug. spel. kongres. 121—122. Zagreb.
- Novak, D. 1961: Kiklopovo oko. Planinski vestnik 61/7, 333—334. Ljubljana.
- Novak, D. 1962: Nekaj rezultatov hidrogeološkega in speleološkega raziskovanja v Triglavskem narodnem parku in njegovi okolici. Varstvo narave 1, 35—44. Ljubljana.
- Novak, D. 1963: »Vodnjak« — značilna oblika visokogorskega krasa. 3. jugosl. speleol. kongres, 131—137. Sarajevo.
- Pirnat, J. & T. Planina 1964: Brezno pri gamsovi glavici v Julijskih Alpah. Naše jame 15 (1973), 47—55. Ljubljana.
- Renault, Ph. 1970: La formation des cavernes. 1—126. Paris.

ACTA CARSOLOGICA — KRASOSLOVNI ZBORNIK
VII

Izdala
Slovenska akademija znanosti in umetnosti
v Ljubljani

Natisnila
Tiskarna »Jože Moškrič«
v Ljubljani
1976

Naklada 1200 izvodov

TABLE — PLATES

Fotografije — Photos:

P. Habič (1 A, 1 B, 2 A, 2 B, 3 A, 3 B, 5 A, 5 B, 6 A, 6 B, 7 A, 7 B, 8 A, 8 B, 10 A, 10 B, 11 A, 11 B, 12 A, 12 B, 13 A, 14 A, 14 B, 15 A, 15 B, 16 A, 16 B)

Carmen Narobè (4 A, 4 B, 9 A, 9 B, 17 A, 17 B)

C. Gantar (18, 19, 20).

TABLA 1

Sl. A. Planinska jama. Pri sifonu v Pivškem rokavu je vhod v Paradiž, ki je zasut z apnenčevim gruščem in prodom, jamarji stojijo ob spodnji, na zgornji meji in sredi tega zasipa

Sl. B. Planinska jama, Paradiž. Apnenčev grušč in prod sta pokrita z raznobarvno sigo, prehodna je le zgornja tretjina rova

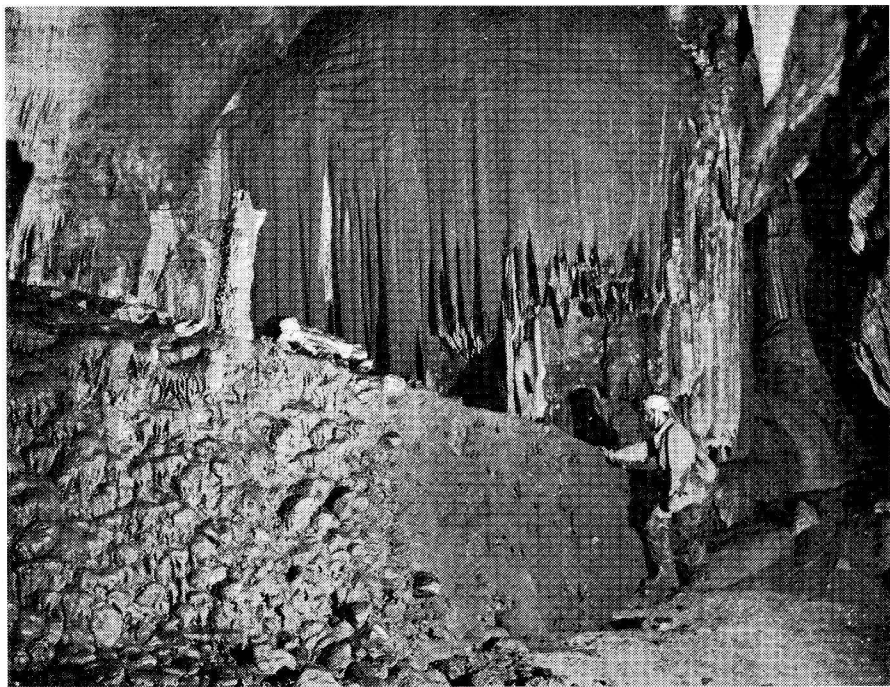
PLATE 1

Fig. A. Planinska jama. The entrance to the Paradise at the sump in Pivka Branch, the cavers stand in the lower and in the upper border and in the middle of the limestone rubble and gravel deposit

Fig. B. Planinska jama,, Paradiž. The limestone rubble and gravel are covered by coloured flowstone, only the upper third of the gallery is passable



A



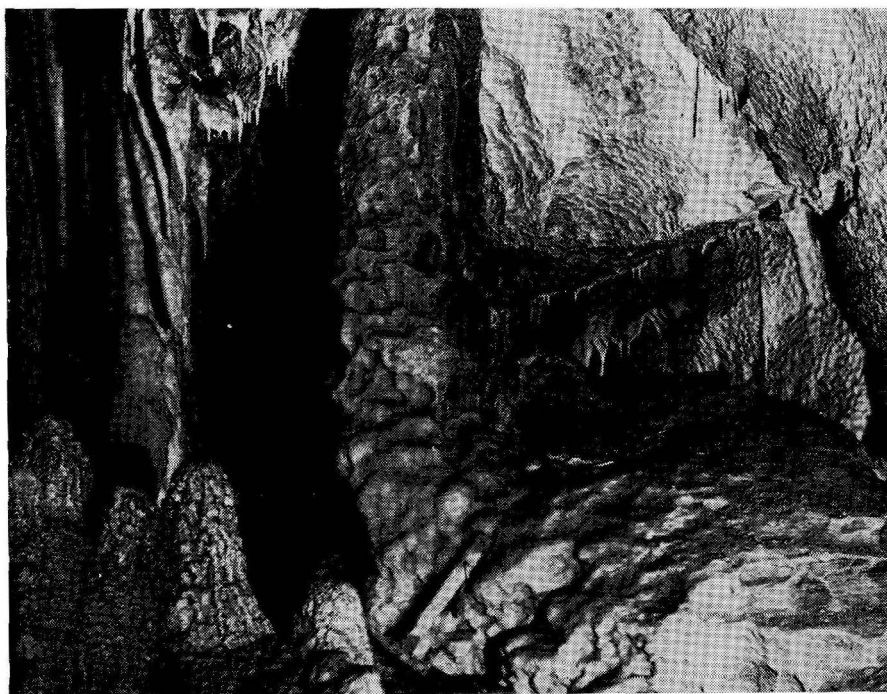
B

TABLA 2

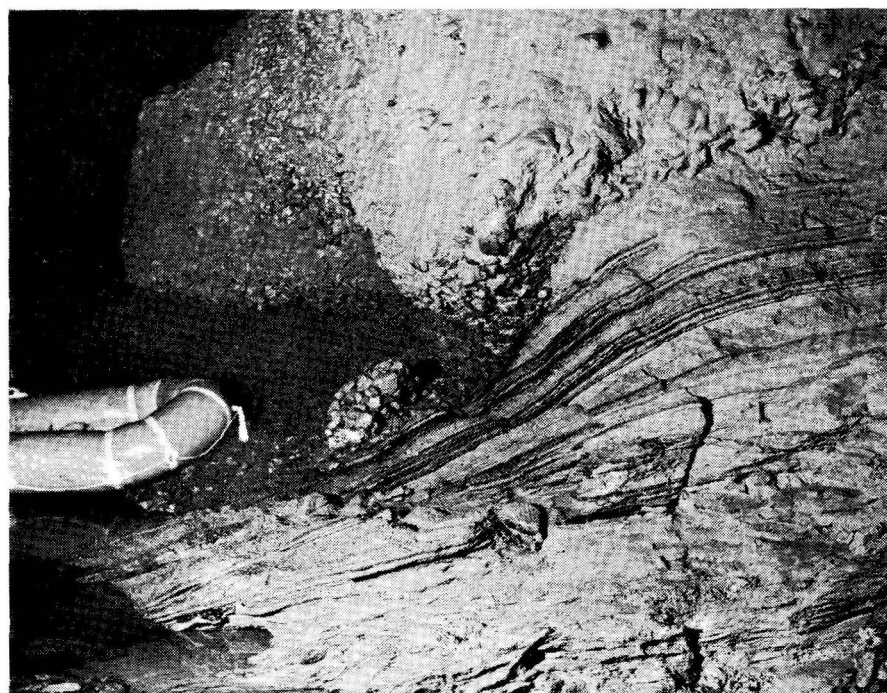
- Sl. A. Planinska jama, Paradiž. Poleg kapnikov najmlajše sige je erozijsko preoblikovana mlajša siga
- Sl. B. Planinska jama, Pivški rokav. Starejša pasovita ilovica pod apnenčevim prodom

PLATE 2

- Fig. A. Planinska jama, Paradise. By the side of the youngest concretions the younger sinter is transformed by the erosion
- Fig. B. Planinska jama, the Pivka Branch. Older laminated loam under the limestone gravel



A



B

TABLA 3

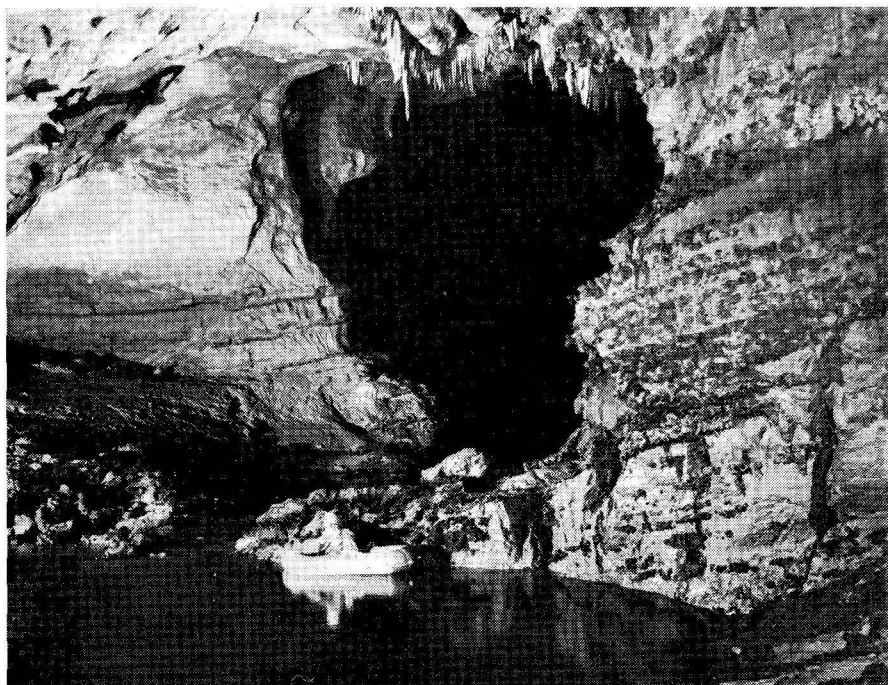
Sl. A. Planinska jama, Pivški rokav, Brzice. Oblika rova v skladovitem apnencu s konkcijami roženca; spodnja kreda

Sl. B. Planinska jama, Pivški rokav, profil 2. Pred pisanega roženca (a) med starejšo pasovito ilovico (b), v krovni je apnenčev prod (c)

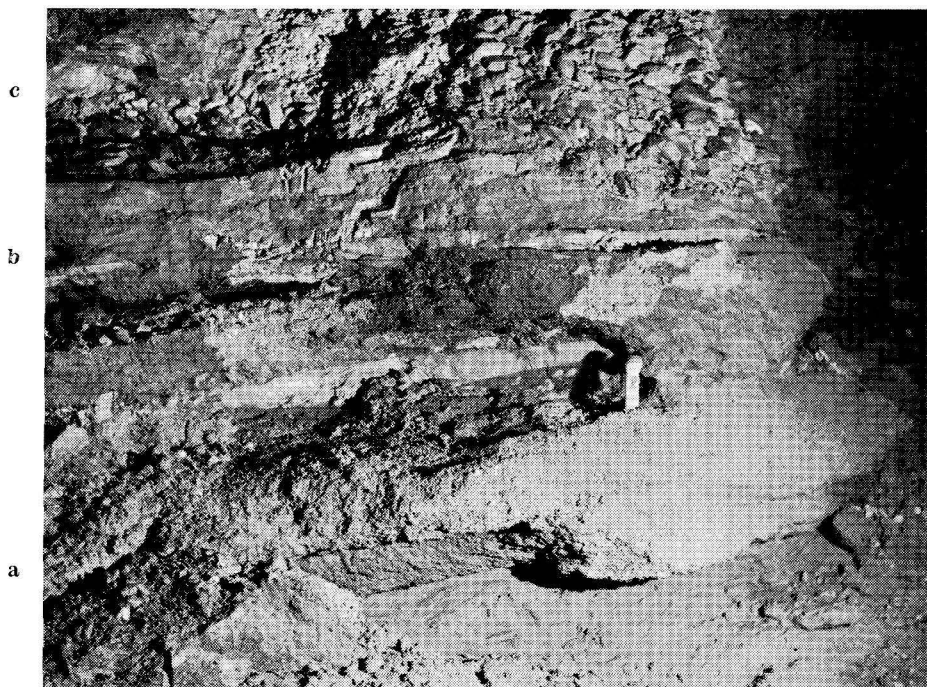
PLATE 3

Fig. A. Planinska jama, the Pivka Branch, Rapids. The channel's form in bedded limestone with chert concretions; Lower Cretaceous

Fig. B. Planinska jama, the Pivka Branch, 2nd profile. Coloured chert gravel (a) among older laminated boam (b), the limestone gravel above (c)



A



B

TABLA 4

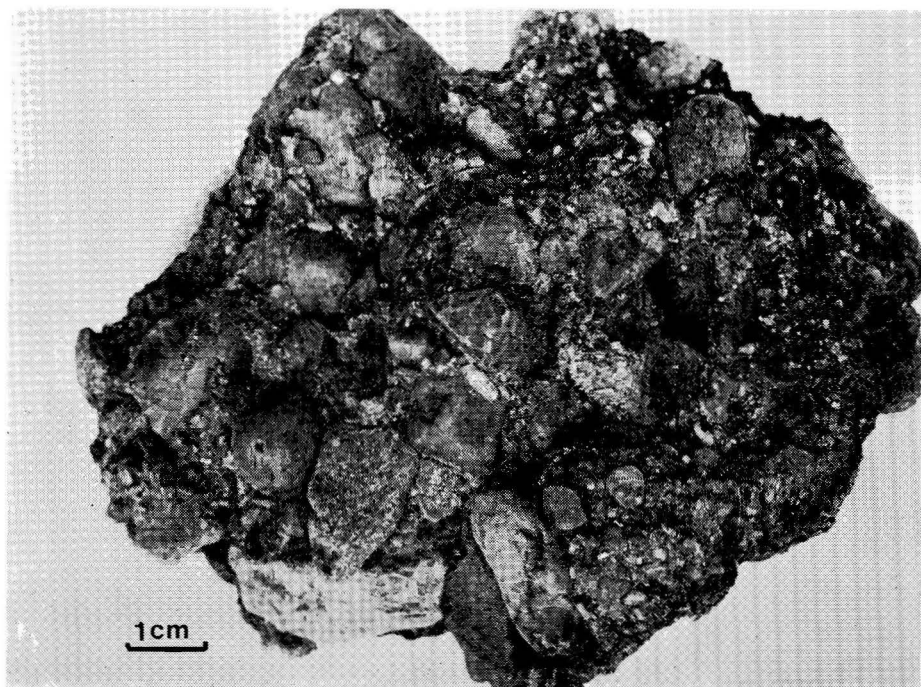
Sl. A. Planinska jama, Pivški rokav, profil 5. Rahlo vezan prod pisanega roženca

Sl. B. Planinska jama, Pivški rokav, profil 5. Posamezni prodniki pisanega roženca (1), kosi roženca (2) in prodniki limonita (3)

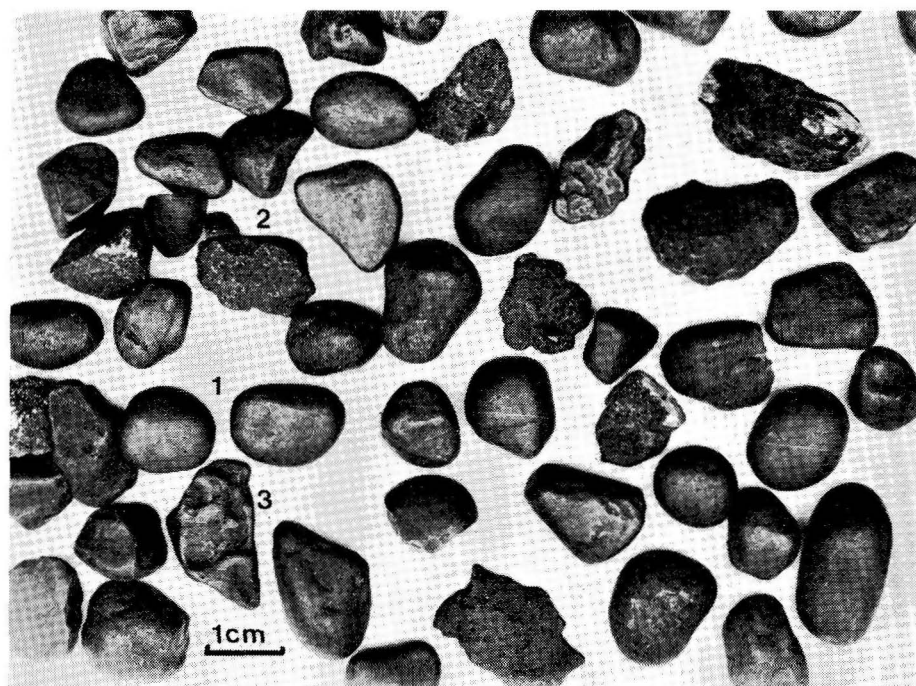
PLATE 4

Fig. B. Planinska jama, the Pivka Branch, 5th profile. Lightly cemented coloured chert gravel

Fig. B. Planinska jama, the Pivka Branch, 5th profile. Single coloured chert pebbles (1), chert particles (2), limonite pebbles (3)



A



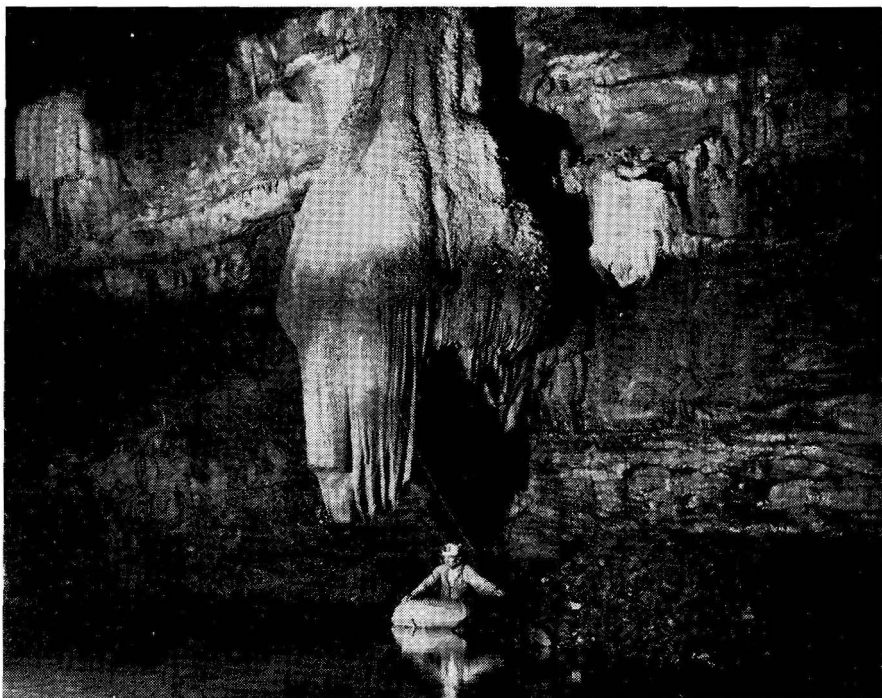
B

TABLA 5

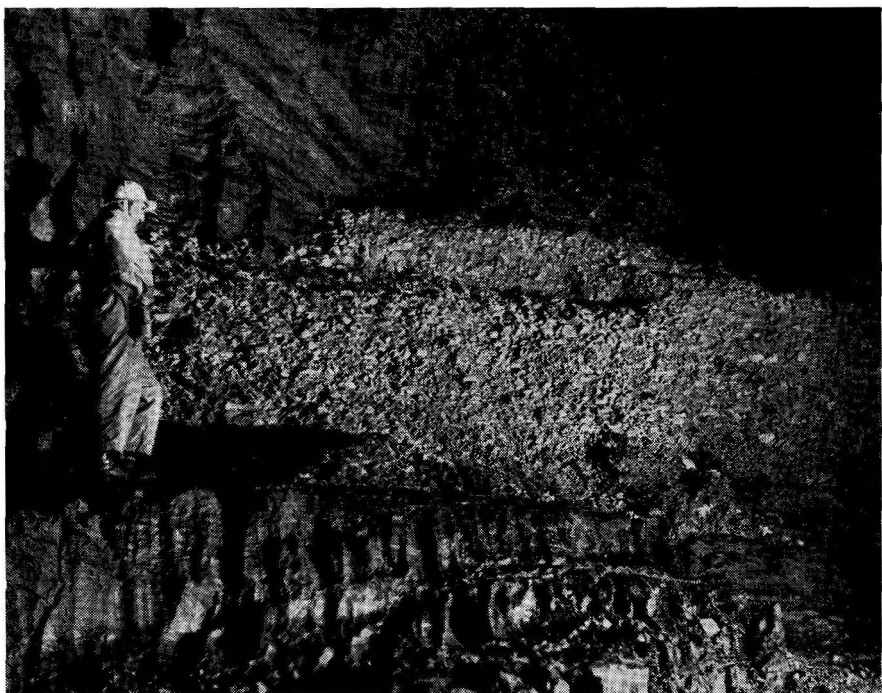
- Sl. A. Planinska jama, Pivški rokav, Hruška, profil 4. Na sigi je črna Mn prevleka; v višini vodne gladine je prevleka že erodirana
- Sl. B. Planinska jama, Pivški rokav, profil 4. Starejše skalno dno in steno pokriva erozijski ostanek apnenčevega proda

PLATE 5

- Fig. A. Planinska jama, the Pivka Branch, Pear, 4th profile. The black Mn cover on the sinter; at the water level altitude the cover is already eroded
- Fig. B. Planinska jama, the Pivka Branch, 4th profile. Older rocky bottom and walls are covered by the erosive remains of the limestone gravel



A



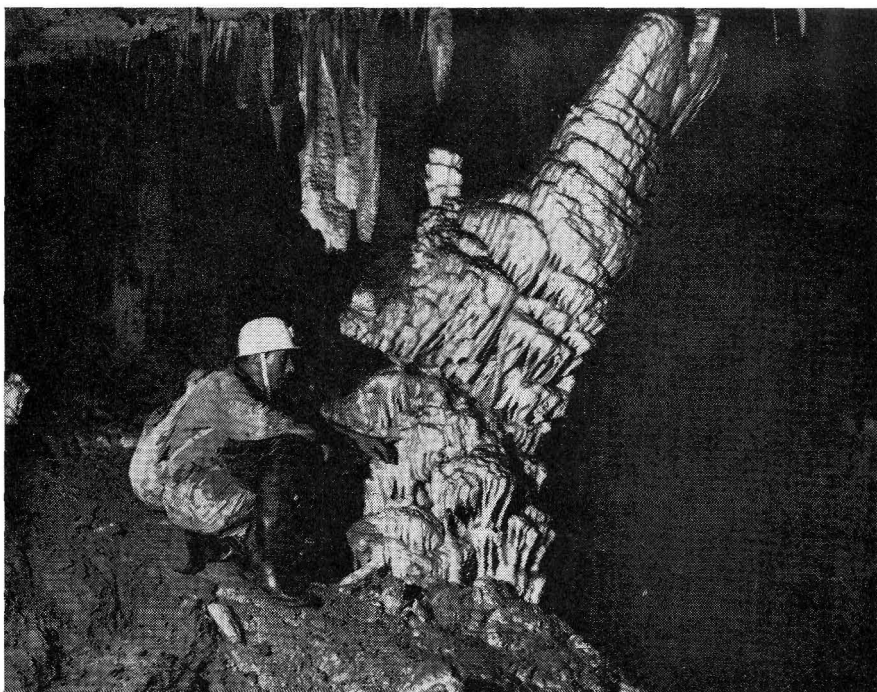
B

TABLA 6

- Sl. A. Planinska jama, Pivški rokav, profil 5. Na prelomljenem stalagmitu najmlajše sige raste recentni stalagmit
- Sl. B. Planinska jama, Pivški rokav, profil 5. Stalaktiti sige imajo med zunanjo in notranjo plastjo poplavno ilovico

PLATE 6

- Fig. A. Planinska jama, the Pivka Branch, 5th profile. On the collapsed stalagmite of the youngest concretion the recent stalagmite is growing
- Fig. B. Planinska jama, the Pivka Branch, 5th profile. Between the external and internal layers of the stalactites the flood loam is seen



A



B

TABLA 7

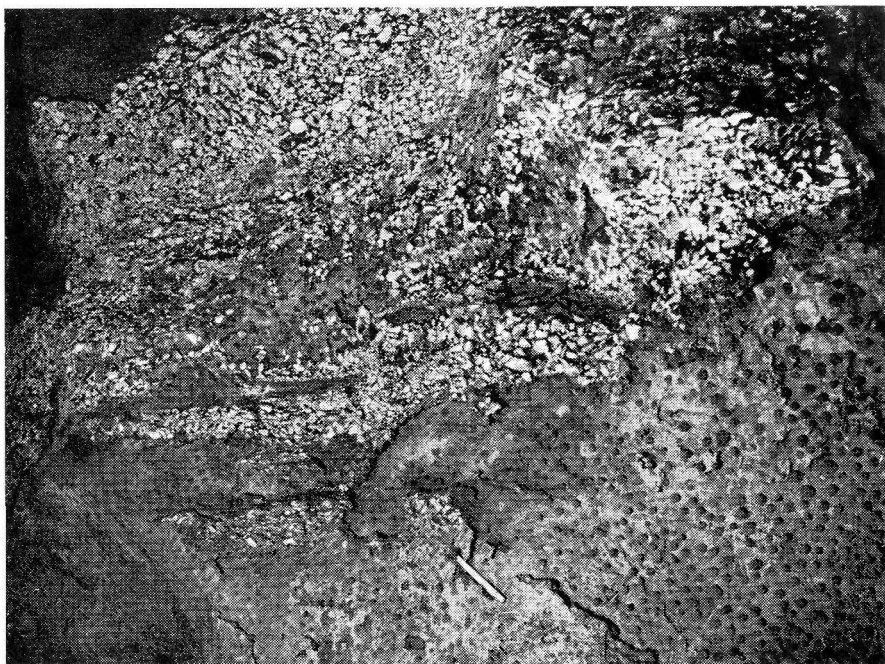
Sl. A. Planinska jama, profil 7. Apnenčev prod na steni je sekundarno erodiran in korodiran

Sl. B. Planinska jama, Pivški rokav, pred Golgota. Erozijski ostanek apnenčevega proda v stenski kotanji

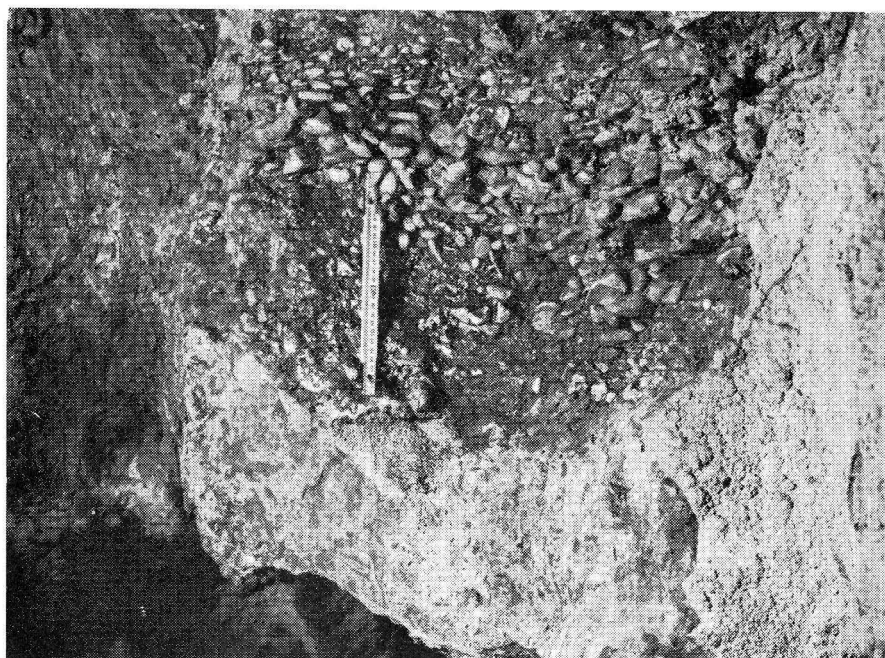
PLATE 7

Fig. A. Planinska jama, 7th profile. The limestone gravel on the wall is secondary eroded and corroded

Fig. B. Planinska jama, the Pivka Branch, ahead of Golgota. Erosive remains of the limestone gravel in the wall hole



A



B

TABLA 8

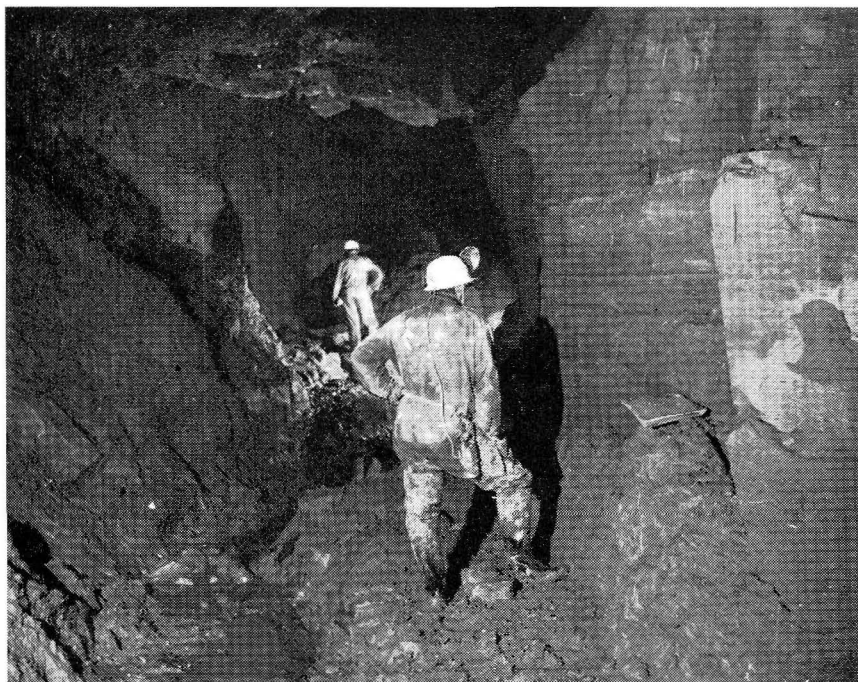
Sl. A. Planinska jama, Rudolfov rov. Današnja vodna struga je zarezana v starejšo pasovito ilovico, ki je zapolnjevala cel rov

Sl. B. Planinska jama, Rudolfov rov. Starejša pasovita ilovica z različno debelimi temnejšimi in svetlejšimi pasovi

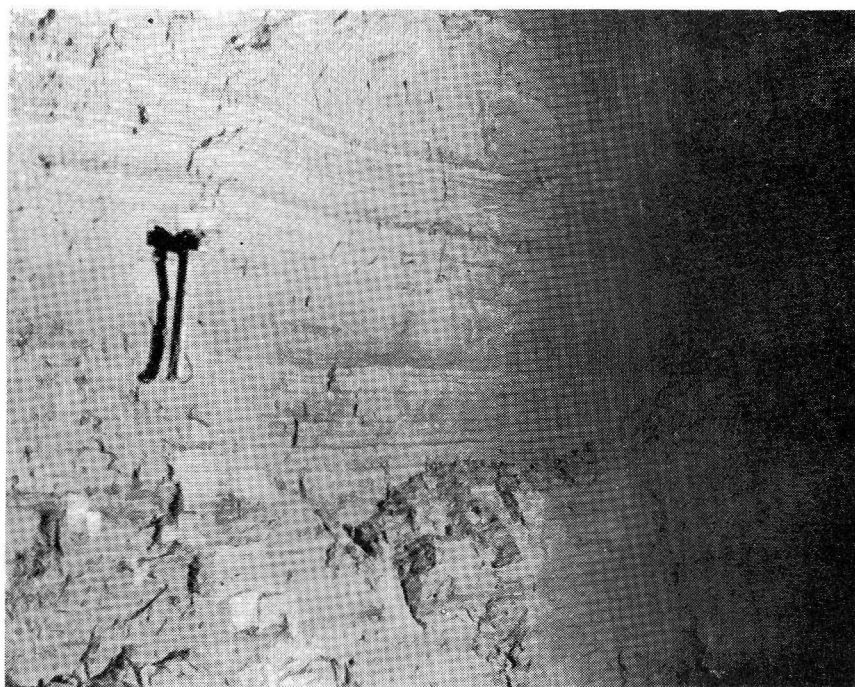
PLATE 8

Fig. A. Planinska jama, the Rudolf Channel. Today water bed is cut into older laminated loam which have filled the whole channel

Fig. B. Planinska jama, the Rudolf Channel. The older laminated loam with differently thick darker and lighter coloured lamina



A



B

TABLA 9

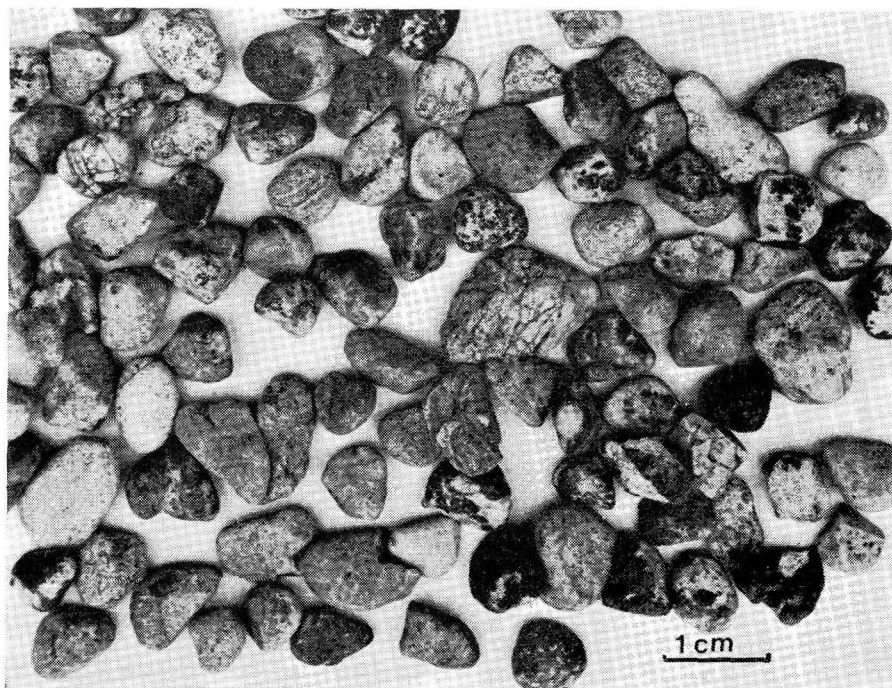
Sl. A. Planinska jama, Rudolfov rov. Prod belega roženca

Sl. B. Planinska jama, Rudolfov rov. Pesek med prodom belega roženca, frakcija
2—1 mm, sivo = roženec in kremen, temno = limonit in boksit

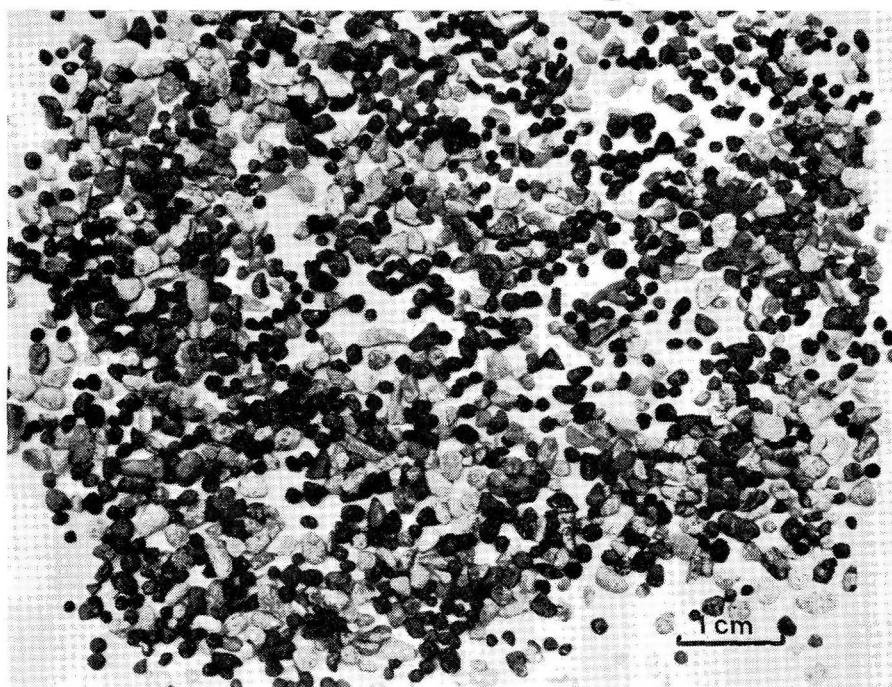
PLATE 9

Fig. A. Planinska jama, the Rudolf Channel. White chert gravel

Fig. B. Planinska jama, the Rudolf Channel. The sand among the white chert
gravel, fraction 2—1 mm, grey = chert and quartz, dark = limonite and bauxite



A



B

TABLA 10

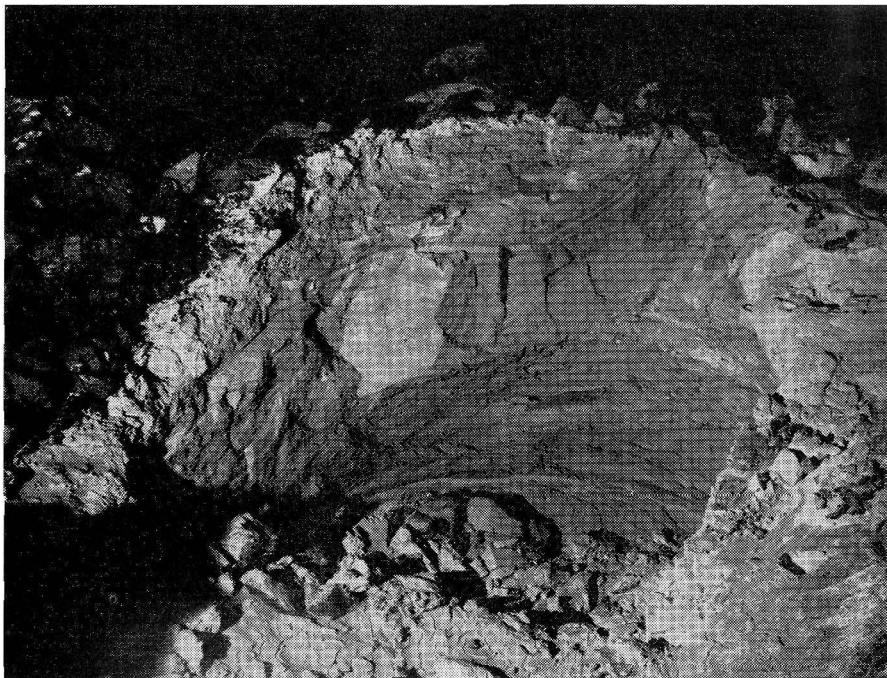
Sl. A. Planinska jama, Rakov rokav, Velika dvorana. Starejša pasovita ilovica pod apnenčevim prodom

Sl. B. Planinska jama, Rakov rokav, Velika dvorana, profil 10 a. Plasti apnenčevega proda ob steni (vzorci 355/1—7)

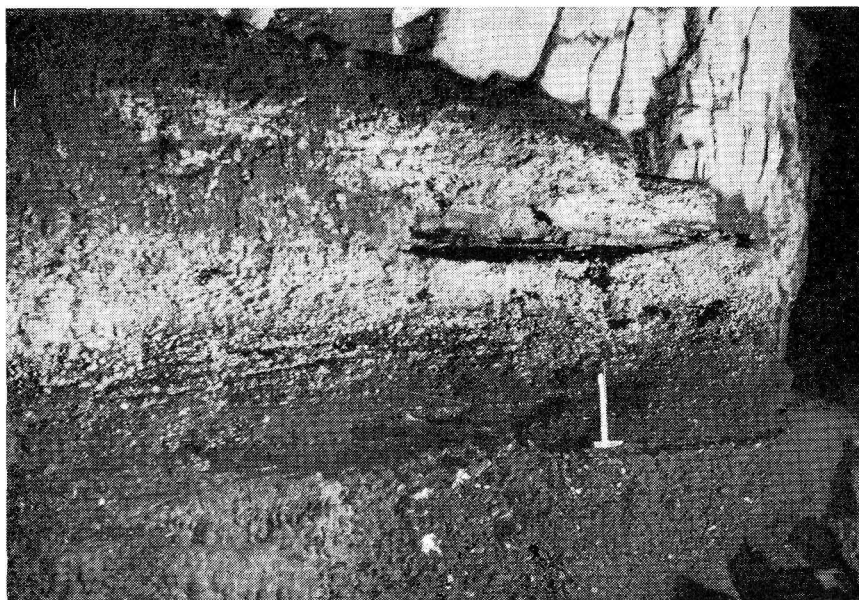
PLATE 10

Fig. A. Planinska jama, the Rak Branch, the Great Hall. Older laminated loam under limestone gravel

Fig. B. Planinska jama, the Rak Branch, the Great Hall, 10thA profile. The limestone gravel layers at the wall (samples 355/1—7)



A



B

TABLA 11

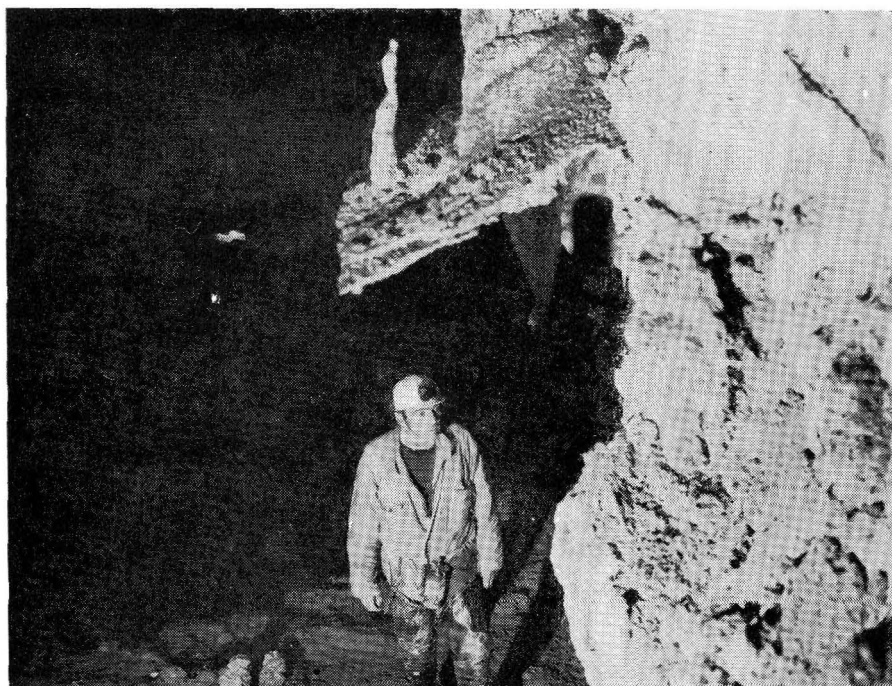
Sl. A. Planinska jama, Vodni rov. Stalagmit sige je obvisel na steni, ko je bil erodiran apnenčev prod v podlagi

Sl. B. Planinska jama, Rakov rokav, Pisani kanal. Jamar sedi na zasipu apnenčevega proda, Mn prevleka z jasno izraženo zgornjo mejo pokriva stene, zasip in sigovo kopo

PLATE 11

Fig. A. Planinska jama, the Water Channel. The flowstone stalagmite has hung on the wall after the erosion of the limestone gravel in the base

Fig. B. Planinska jama, the Rak Branch, the Coloured Channel. The caver is sitting on the limestone gravel deposit, Mn cover with clearly expressed upper border is covering the walls, the deposit and the sinter cone



A



B

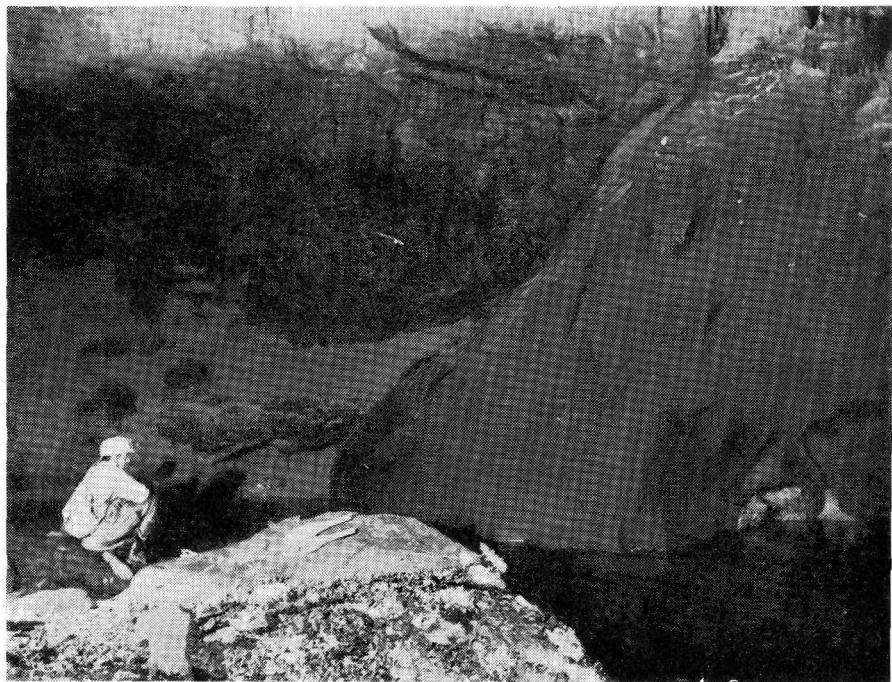
TABLA 12

- Sl. A. Planinska jama, Pisani kanal, profil 12. Na kopi sige sloni apnenčev prod in pokriva tudi dno rova najmanj 5 m na debelo
- Sl. B. Planinska jama, Pisani kanal, profil 13. Druga polovica kanala, kjer ni apnenčevega proda. Sredi profila vidimo zgornjo mejo Mn prevleke

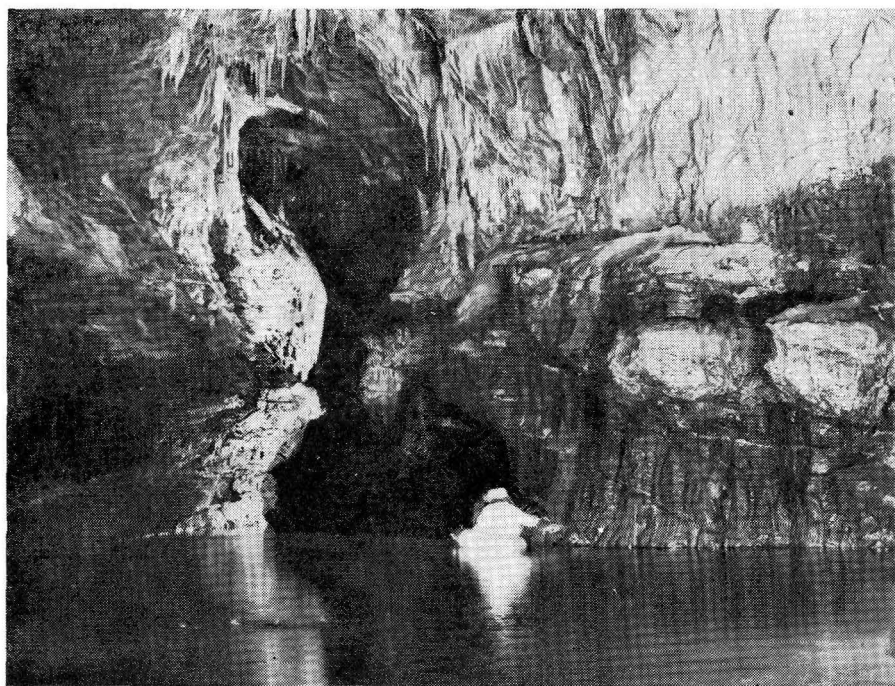
PLATE 12

Fig. A. Planinska jama, the Coloured Channel, 12th profile. On the sinter cone the limestone gravel is leaning covering also the channel's bottom at least 5 m thick

Fig. B. Planinska jama, the Coloured Channel, 13th profile. The second part of the channel without limestone gravel. In the middle of the profile the upper border of the Mn cover is seen



A



B

TABLA 13

Sl. A. Planinska jama, Sotočje, pogled v začetek Pivškega rokava. Stropa se držijo kope sige, ki so tam obvisale, ker so bile erodirane naplavine v njihovi podlagi

Sl. B. Vhod v Planinsko jamo, kjer izvira Unica, iz Raka in Pivke združena reka

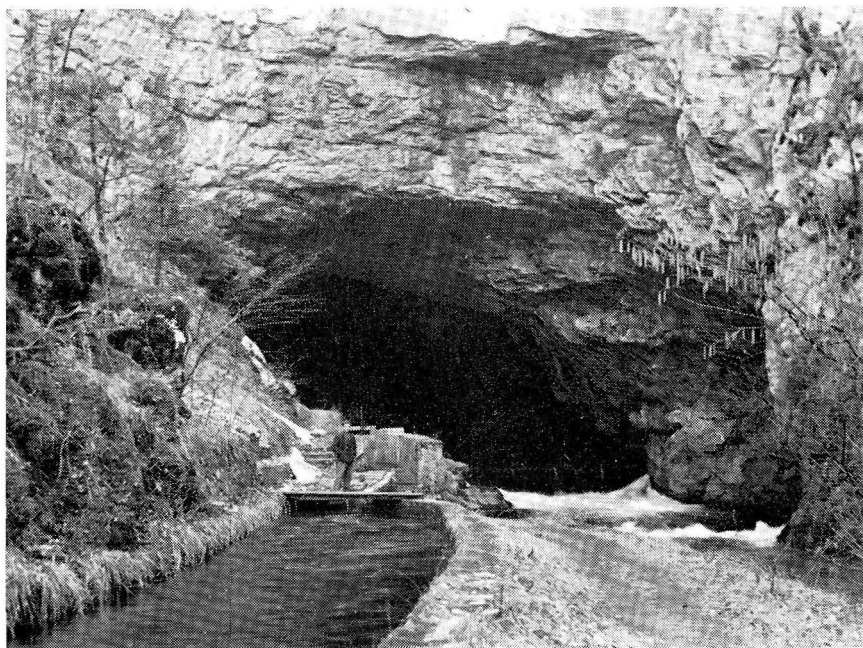
PLATE 13

Fig. A. Planinska jama, Sotočje, the view to the beginning of the Pivka Branch. Flowstone cones have remained on the ceiling after the erosion of the sediments in their base

Fig. B. The entrance to the Planinska jama, where from Rak and Pivka rivers united Unica river takes its spring



A



B

TABLA 14

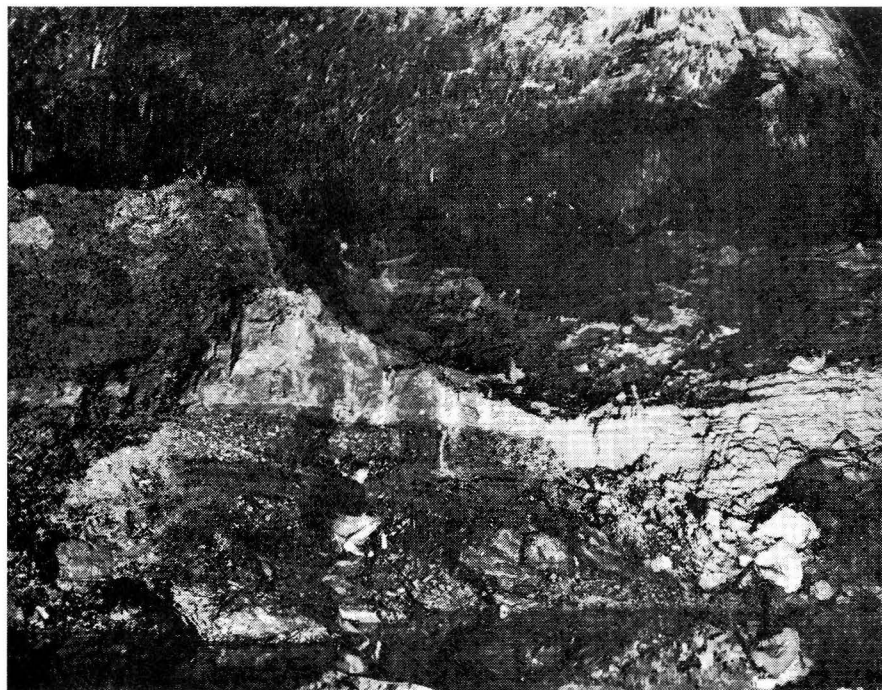
Sl. A. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka. Ostanek zasipa iz dveh plasti grušča (zgoraj in spodaj) in plasti ilovice ob steni rova

Sl. B. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka, profil 1. Grušč ima kose zgornjekrednega in paleocenskega apnenca, prodnike eocenskega fliša in različnih rožencev

PLATE 14

Fig. A. Postojnska jama, the Underground Pivka. The deposit's remains of two rubble layers (up and down) and one loam layer at the channel's wall

Fig. B. Postojnska jama, the Underground Pivka, 1st profile. Rubble with particles from Uppercretaceous and Paleocene limestone, with Eocene flysch pebbles and different cherts



A



B

TABLA 15

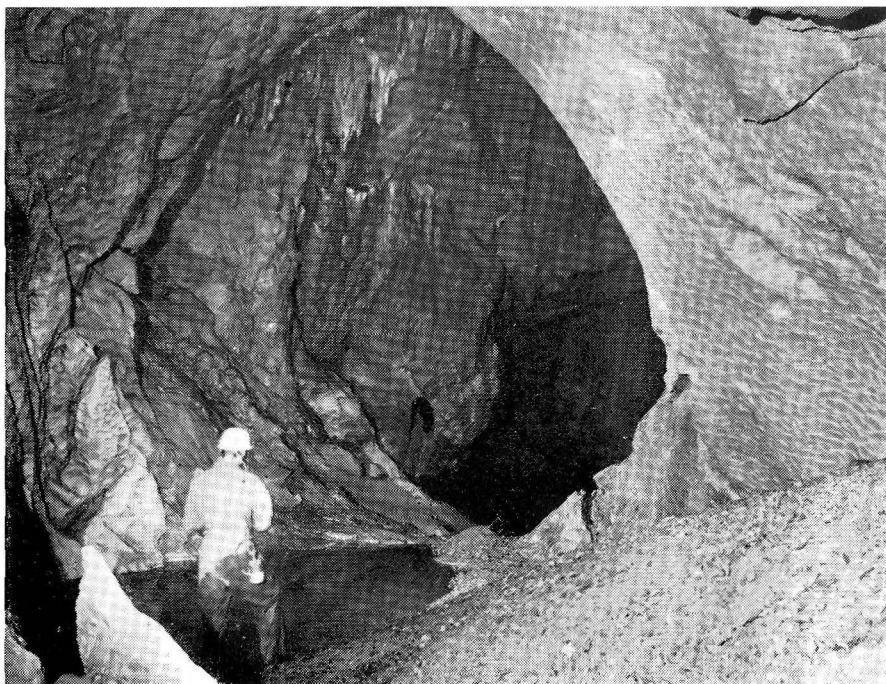
Sl. A. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka, Stranski rov. Na starejšem skalnem dnu ohranjen zasip

Sl. B. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka, Stranski rov, profil 3. Zasip je bil odložen na korodirano steno

PLATE 15

Fig. A. Postojnska jama, the Underground Pivka, the Lateral Channel. The deposit preserved on the older rocky bottom

Fig. B. Postojnska jama, the Underground Pivka, the Lateral Channel, 3rd profile. The deposit has been deposited on the corroded wall



A



B

TABLA 16

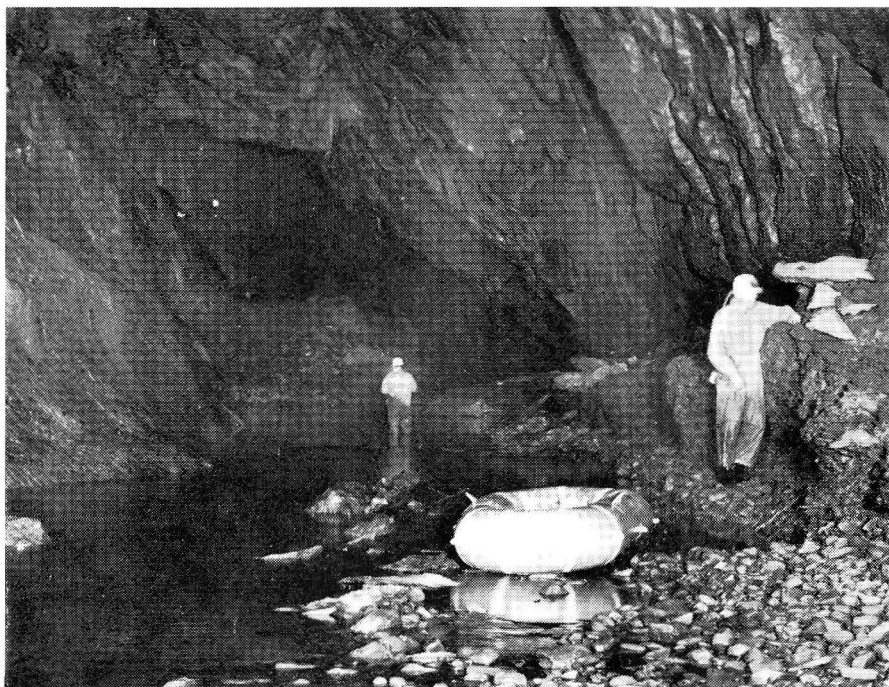
Sl. A. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka, profil 4. Oblika rova in ostanek zasipa ob desni strani, pogled proti vodnemu toku

Sl. B. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka, Krajgerjeva dvorana. Ob desni steni je vidna zgornja meja erodiranega zasipa, ki je v ozadju pod podornimi skalami še ohranjen. Črna Mn prevleka je nastala, ko nasip še ni bil erodiran

PLATE 16

Fig. A. Postojnska jama, the Underground Pivka, 4th profile. The channel's shape and the deposit's remains at the right wall, the view towards the water flow

Fig. B. Postojnska jama, the Underground Pivka, the Krajger Hall. At the right wall the upper boundary of the eroded deposit, still preserved in the background among the collapsed blocks, is seen. The black Mn cover has originated before the erosion of the deposit



A



B

TABLA 17

Sl. A. Postojnska jama, profil 15. Limonitne cevke iz naplavine s prodrom belega roženca

Sl. B. Cerkniško jezero. Limonitne cevke iz rjave limonitizirane ilovice za primerjavo s predhodno sliko

PLATE 17

Fig. A. Postojnska jama, 15th profile. Limonite tubes from the white chert gravel sediment

Fig. B. Cerknica Lake. Limonite tubes from brown limonitized loam for comparison with previous figure



A



B

TABLA 18

Silificiran apnenec, sr.-zg. paleocen, Pivka. Fosili (*Operculina*, *Nummulites*, *Discocyclus* in *Globorotalia* sp.) imajo silificiran notranji del, kjer sta brezbarvni kalcedon (A) in opal (B in C)

PLATE 18

Silicated limestone, middle-upper Paleocene, Pivka. The fossils (*Operculina*, *Nummulites*, *Discocyclus*, and *Globorotalia* sp.) with silicated internal part where colourless calcedone (A) and opale (B and C) are found



A



B



C

TABLA 19

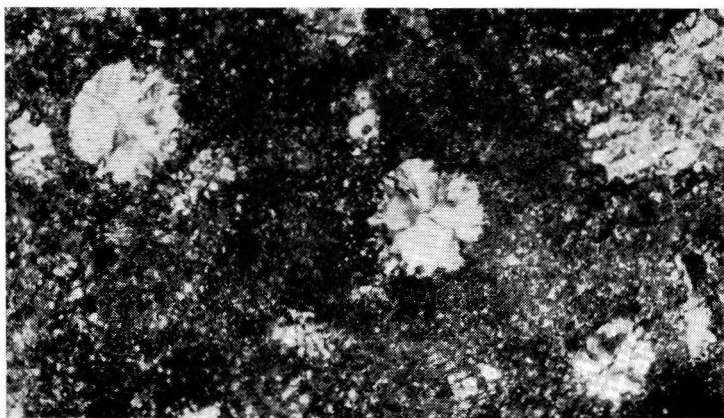
Roženec, prodnik iz naplavine v profilu 15 pri Postojnski jami. V drobnozrnati osnovi iz kalcedona so še sledovi kalcita. V numulitu (A) je kalcit nadomeščen s kalcedonom, večji skupki kalcedona (B) so ostanki radiolarij. Paličaste oblike iz večjih zrn kalcedona (C) so ostanki fosilov, ki se pri prekristalizaciji niso zlili z osnovo kamenine

PLATE 19

The chert, the pebble from the sediment 15th profile in Postojnska jama. In fine-grained matrix of calcedone the traces of calcite are seen. In nummulite (A) the calcite is replaced by calcedone, greater calcedone (B) groups are radiolaries remains. Stick-like forms of greater calcedone grains (C) represent the fossils remains which did not incorporate with matrix at changing their crystallisation form



A



B



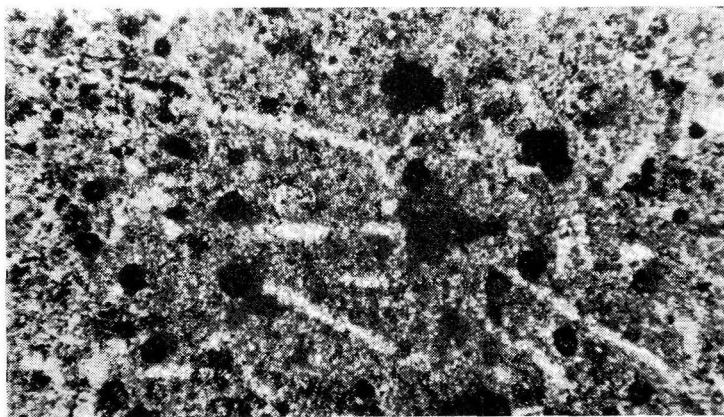
C

TABLA 20

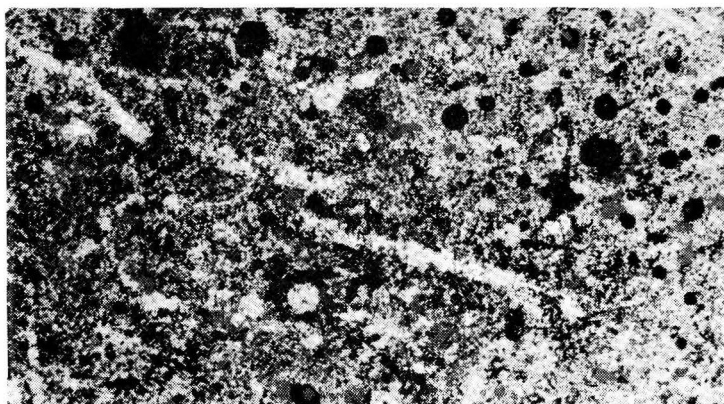
Roženec, prodnik iz Planinske jame. V drobnazrnati osnovi kalcedona so sledovi opala in kalcita. Poleg skupkov kalcedona, ki predstavljajo radiolarije (B in C), nastopajo tudi podolgovate, usločene palčke. Ker po dve skupaj često oklepata ostri kot (A in B) domnevamo, da so palčke ostanki foraminifer

PLATE 20

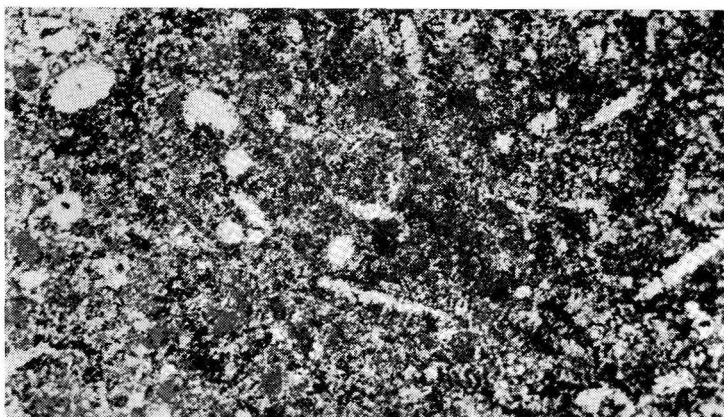
The chert, the pebble from Planinska jama. In fine-grained calcedone matrix the opale and calcite traces are seen. Beside calcedone groups, representing the radiolaris (B and C) the longish, bended small sticks occur. While two together often form the acute angle (A and B), we suppose, that these sticks represent the forminifera remains



A



B

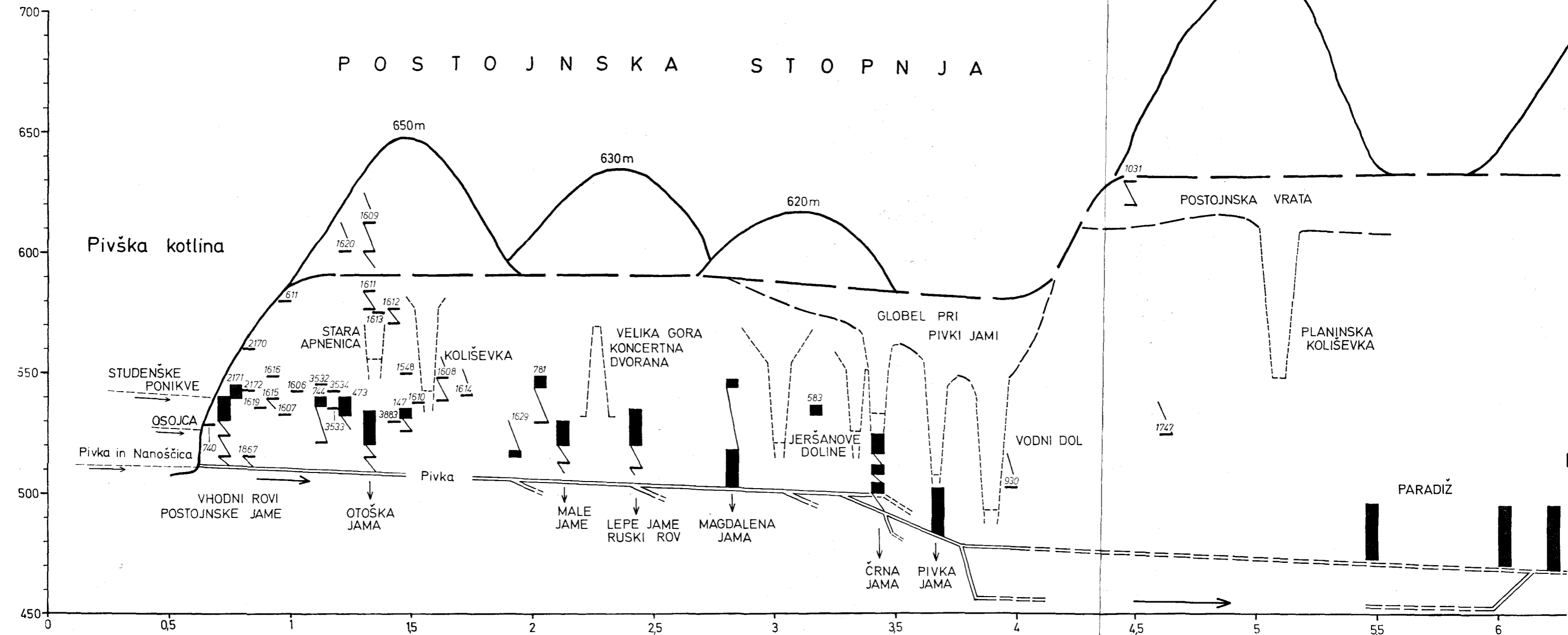


C

JAME POSTOJNSKEGA KRASA

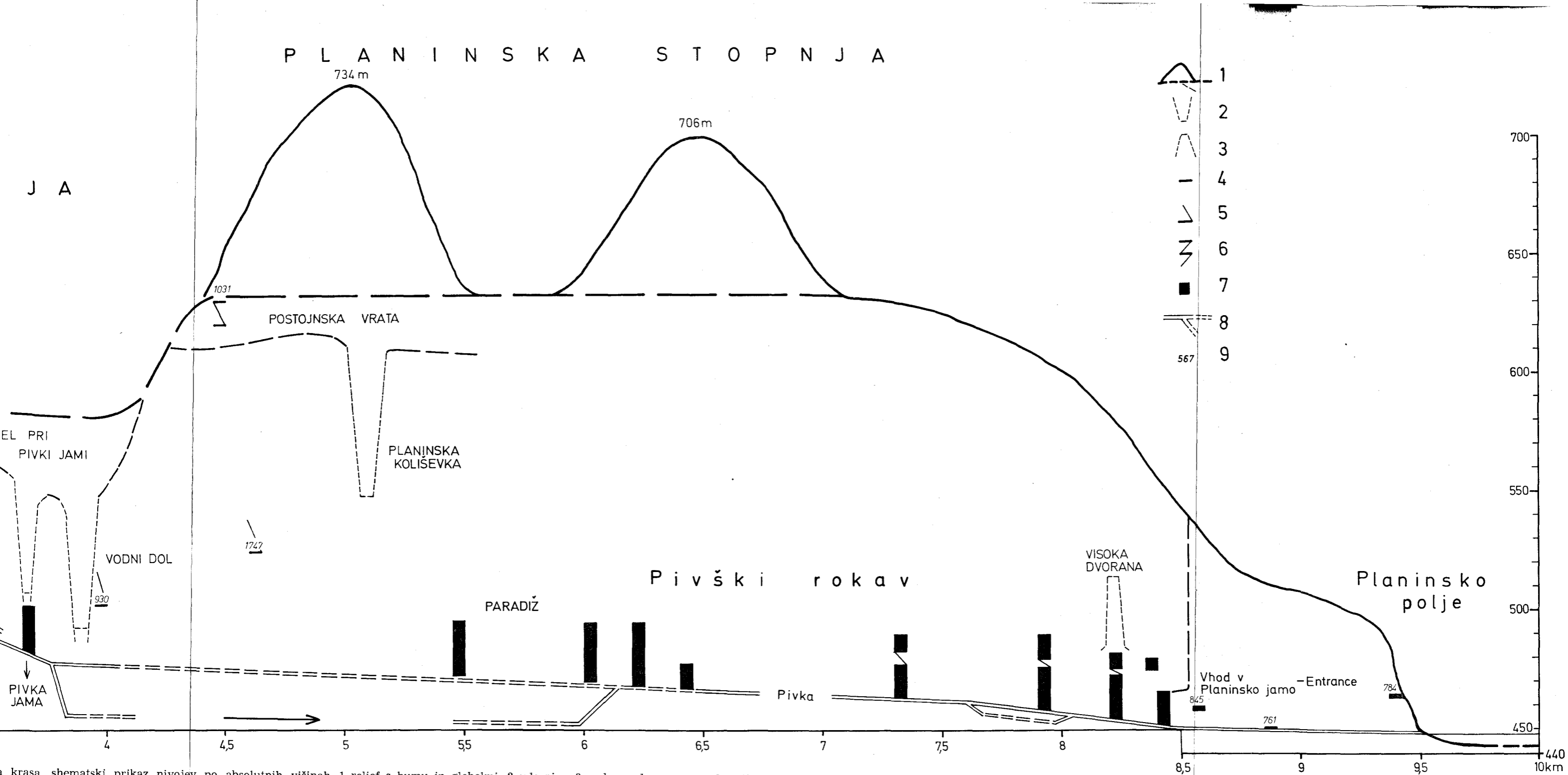
Shematski prikaz nivojev po abs. višinah

nadmorska višina
altitude



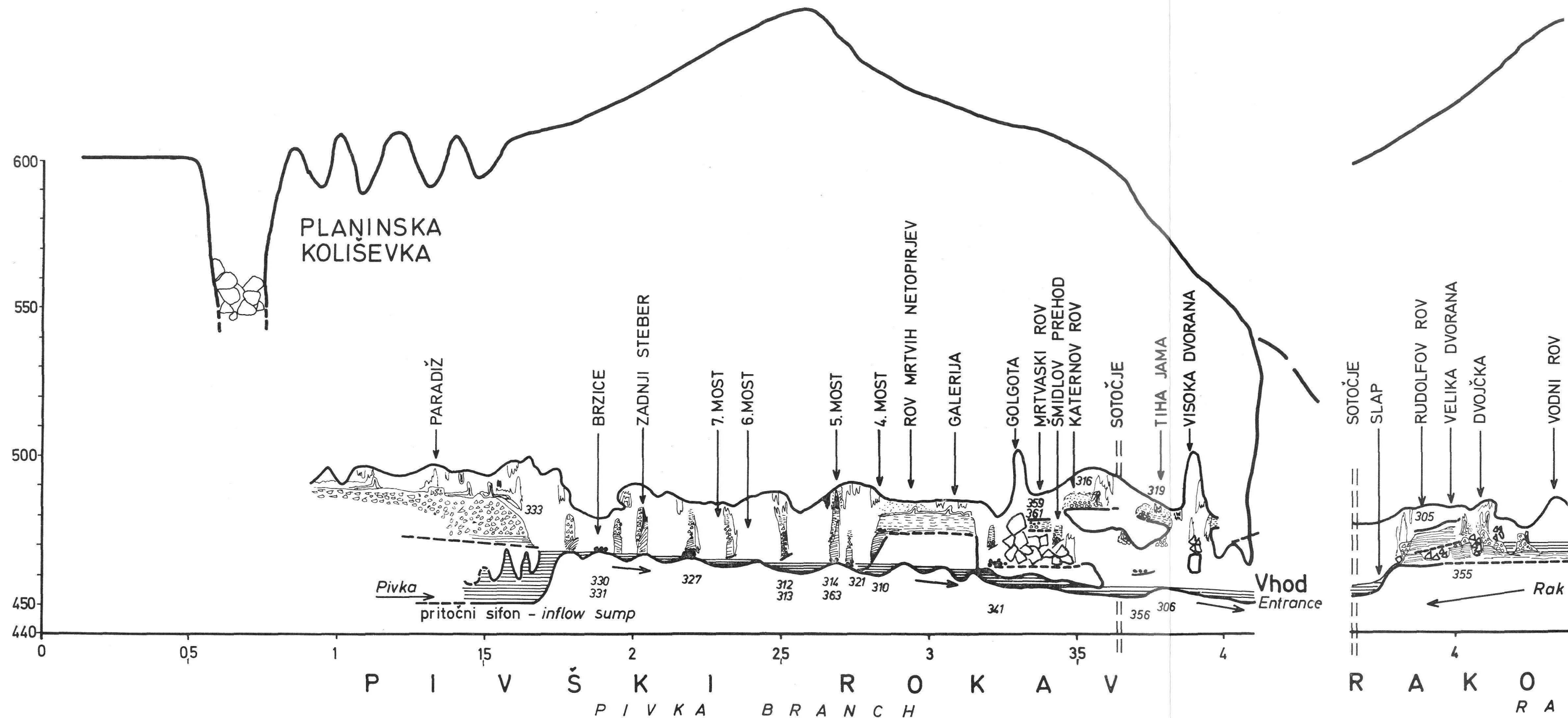
Sl. 6. Jame Postojnskega krasa, shematski prikaz nivojev po absolutnih višinah. 1 relief s humi in globelmi, 2 udornice, 3 podorne dvorane, 4 enonivjske jame, 5 brezna ali poševne jame z doseženo globino, 6 jame z več nivoji, 7 rovi z zveznimi nivoji, 8 rovi in sifoni podzemeljske Pivke, 9 jame katastrske številke.

Fig. 6. The Caves of Postojna Karst the schematical levels presentation after absolute altitudes. 1 relief with hums and depressions, 2 collapses in the underground, 3 underground chambers, 4 one level caves, 5 potholes or inclined caves with reached depth, 6 more levels caves, 7 galleries with communicating levels in the underground, 8 caves with reached depth, 9 caves cadastral numbers.



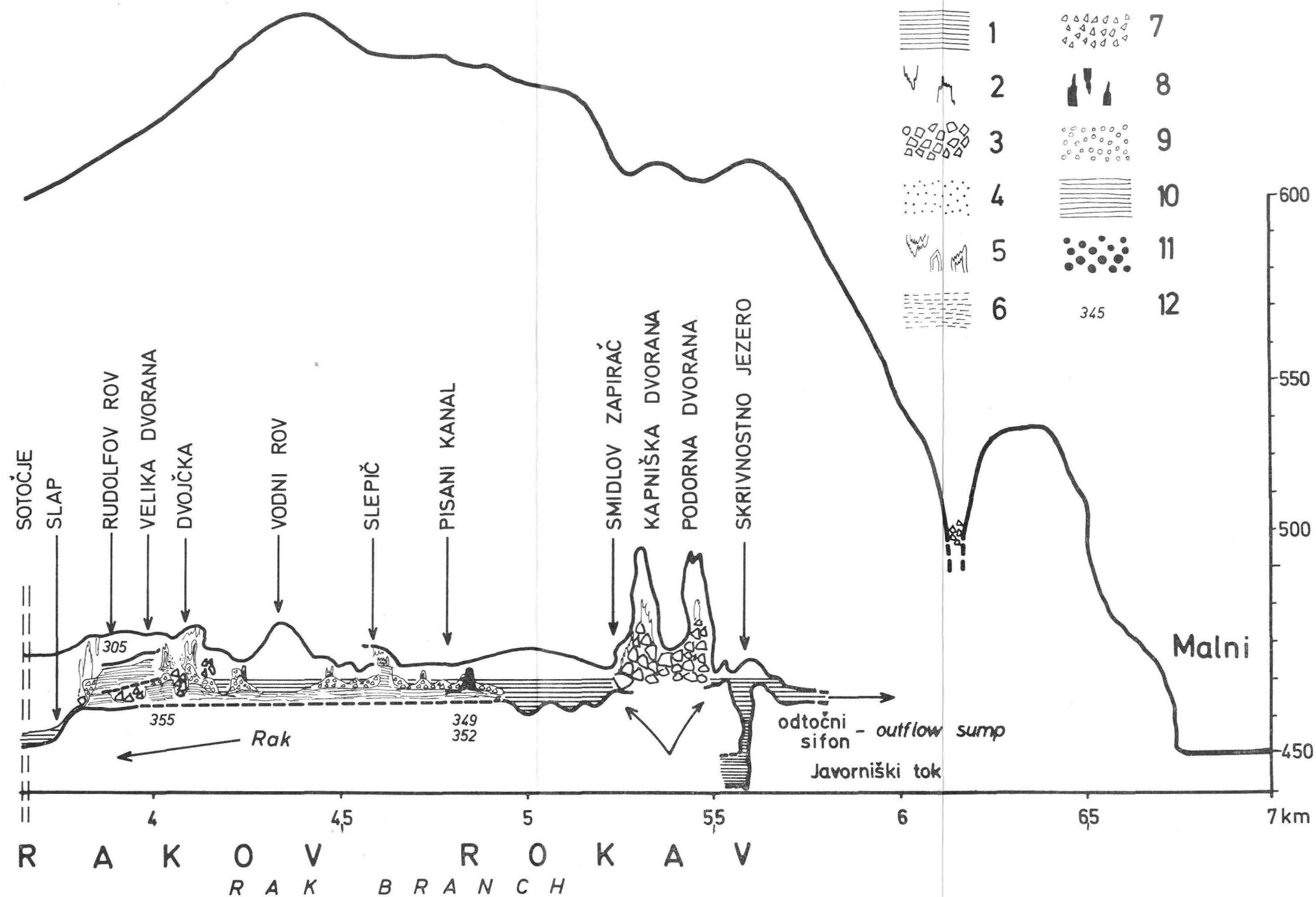
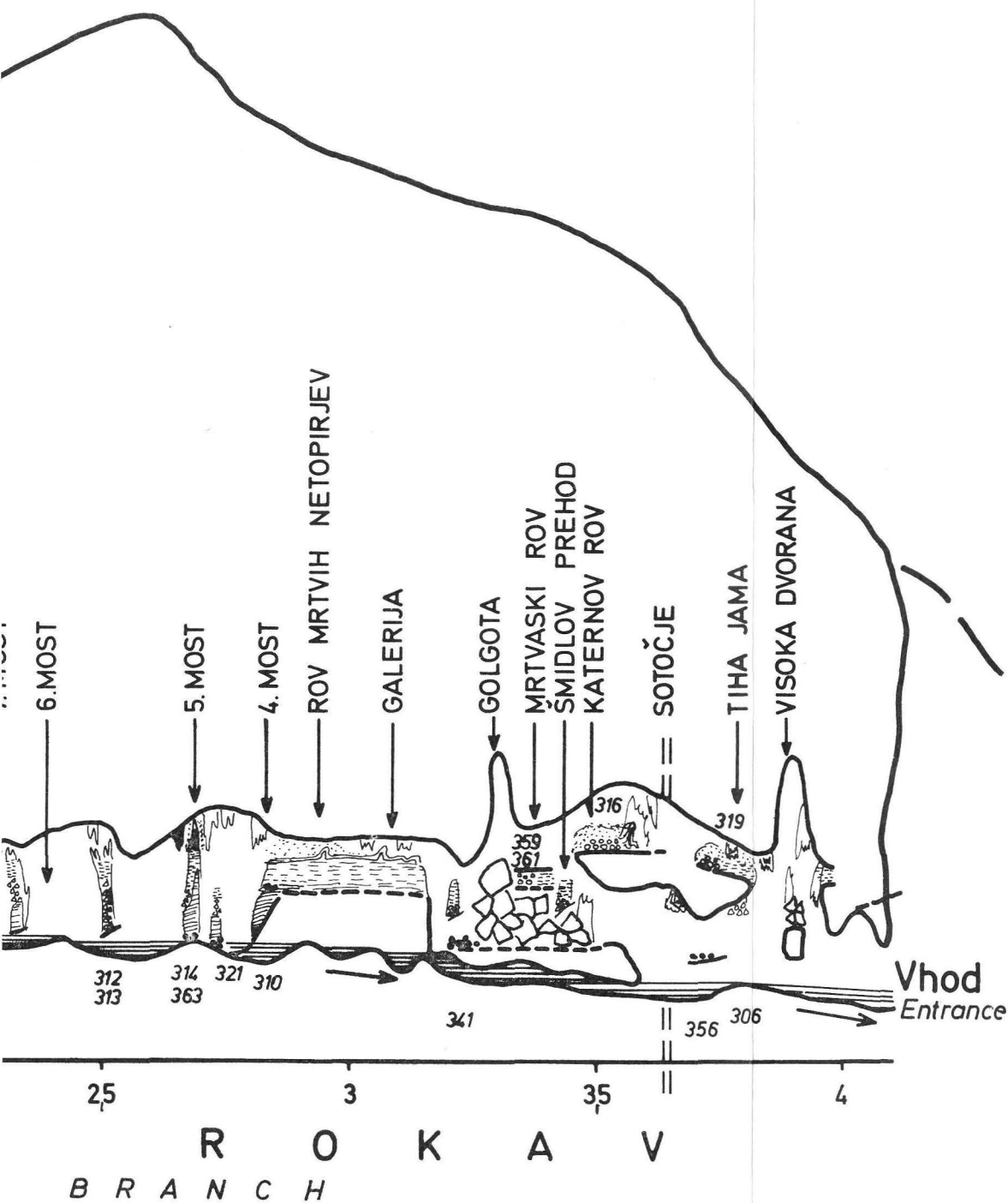
a krasi, shematski prikaz nivojev po absolutnih višinah. 1 relief s humi in globelmi, 2 udornice, 3 podorne dvorane v podzemlju, 4 jame z ali poševne jame z doseženo globino, 6 jame z več nivoji, 7 rovi z zveznimi nivoji, 8 rovi in sifoni podzemeljske Pivke, 9 katastrske številke jam
 jna Karst the schematical levels presentation after absolute altitudes. 1 relief with hums and depressions, 2 collapsed dolines, 3 collapsed rooms
 level caves, 5 potholes or inclined caves with reached depth, 6 more levels caves, 7 galleries with communicating levels, 8 channels and sumps of
 underground Pivka, 9 caves cadastre numbers

PLANINSKA JAMA - Shematski vzdolžni profil rovov s sedimenti - Schematic longitudinal section

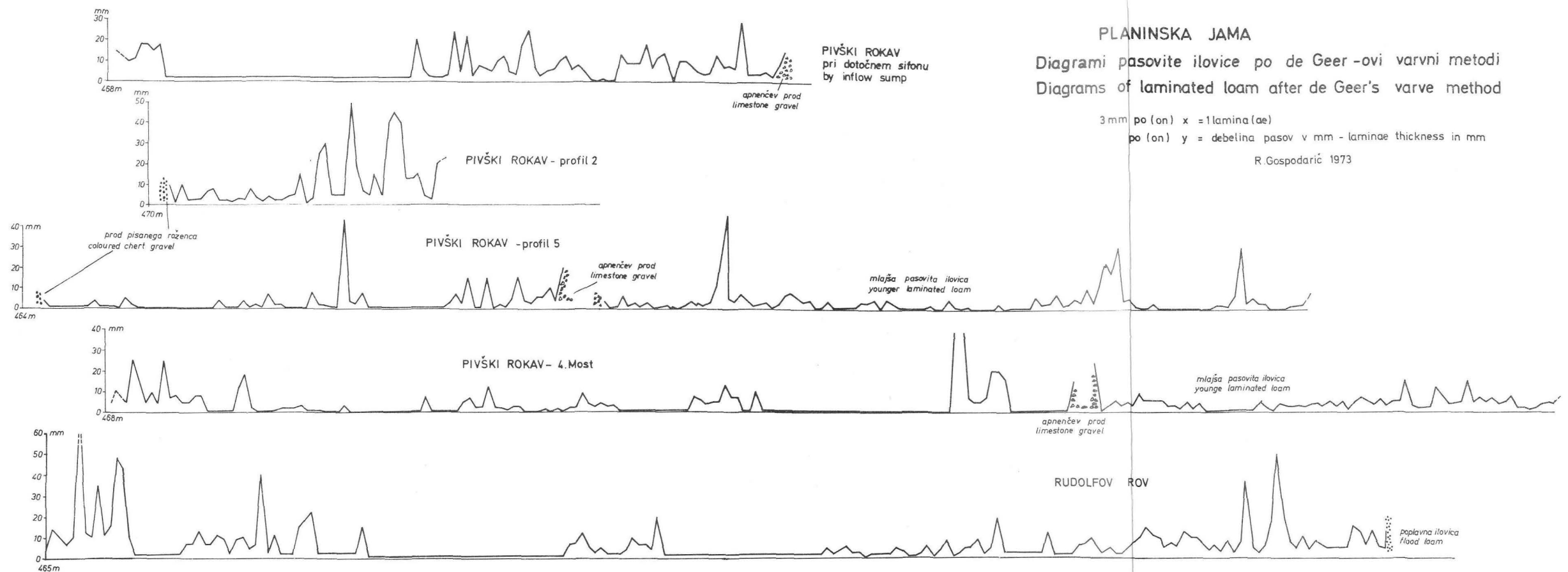


Sl. 8. Planinska jama, shematski vzdolžni profil z ohranjenimi sedimenti in situacijo analiziranih vzorcev sedimentov. 1 voda, 2 najmlajša siga, 3 podorilnica, 4 ilovica, 5 mlajša siga, 6 mlajša pasovita ilovica, 7 apnenčev prod, 8 starejša siga, 9 prod belega roženca, 10 starejša pasovita ilovica, 11 prod pisaneč, 12 vzorci. Fig. 8. Planinska jama, the schematical longitudinal section with preserved sediments and situation of analysed sediments samples, 1 water, 2 the youngest flowstone, 3 underground stream, 4 flood loam, 5 younger flowstone, 6 younger laminated loam, 7 limestone gravel, 8 older flowstone, 9 white chert gravel, 10 older laminated loam, 11 coloured chert gravel, 12 samples

profil rovov s sedimenti - Schematic longitudinal section of channels with sediments



1. Planinska jama, shematski vzdolžni profil z ohranjenimi sedimenti in situacijo analiziranih vzorcev sedimentov. 1 voda, 2 najmlajša siga, 3 podorne skale, 4 poplavna ca, 5 mlajša siga, 6 mlajša pasovita ilovica, 7 apnenčev prod, 8 starejša siga, 9 prod belega roženca, 10 starejša pasovita ilovica, 11 prod pisanega roženca, 12 vzorci
 8. Planinska jama, the schematical longitudinal section with preserved sediments and situation of analysed sediments samples, 1 water, 2 the youngest flowstone, 3 ppsed blocks, 4 flood loam, 5 younger flowstone, 6 younger laminated loam, 7 limestone gravel, 8 older flowstone, 9 white chert gravel, 10 older laminated loam, 11 coloured chert gravel, 12 samples

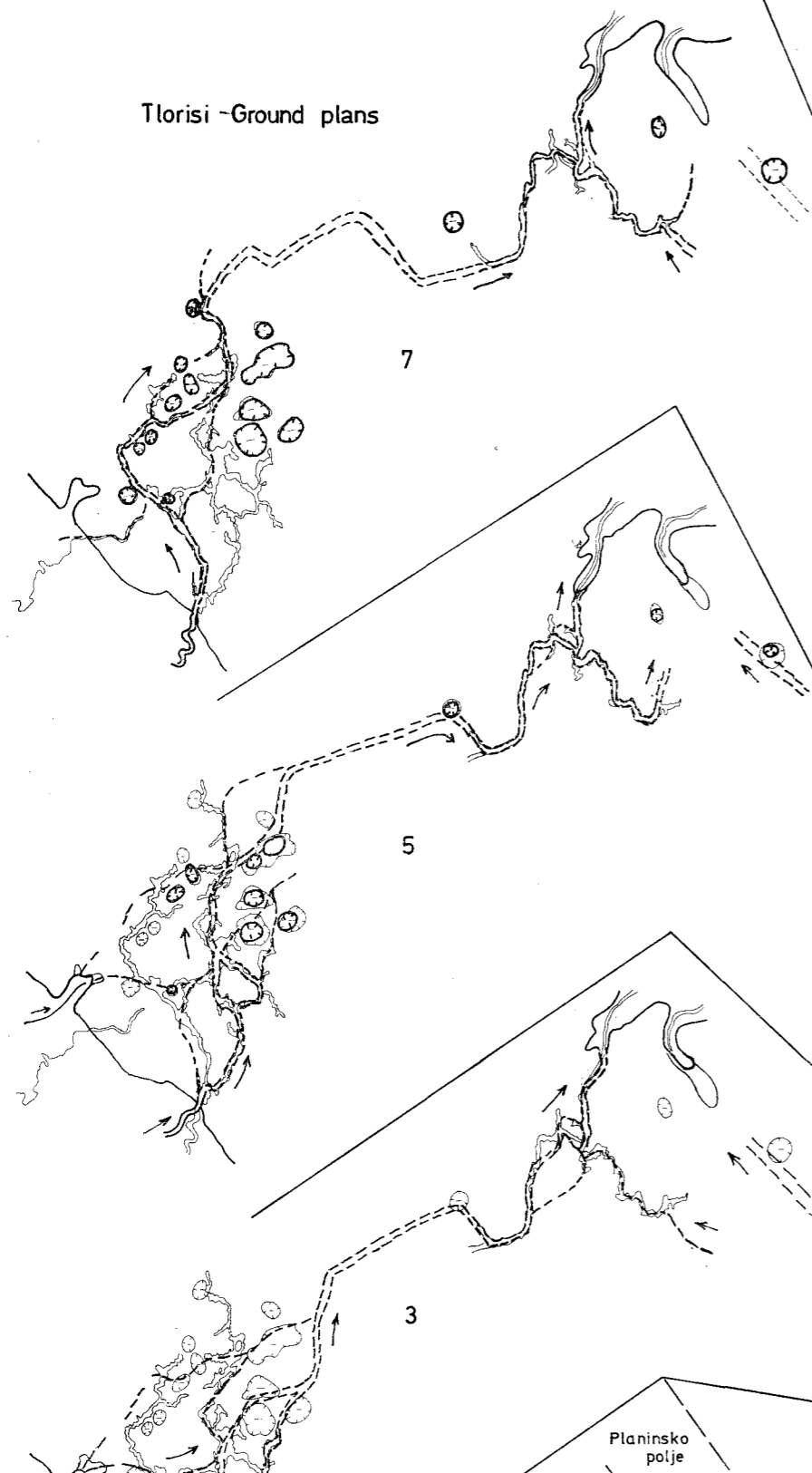


Sl. 22. Planinska jama; po de Geerovi varvni metodi sestavljeni diagrami pasovite ilovice iz Pivškega rokava in Rudolfovega rova. Med diagrami ni videti ko incidence, sedimentacija je bila v različnih delih rokava različna; cikličnost odlaganja je bolj izrazita v starejši kot v mlajši pasoviti ilovici

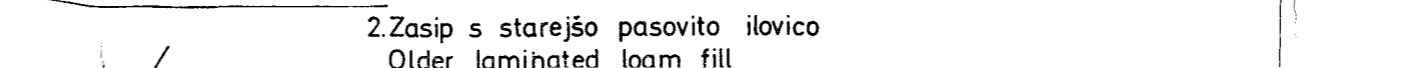
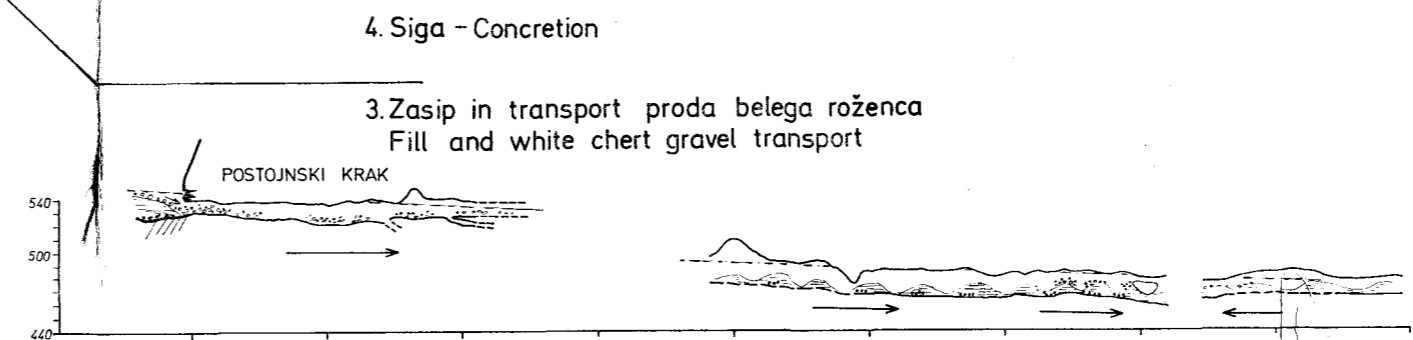
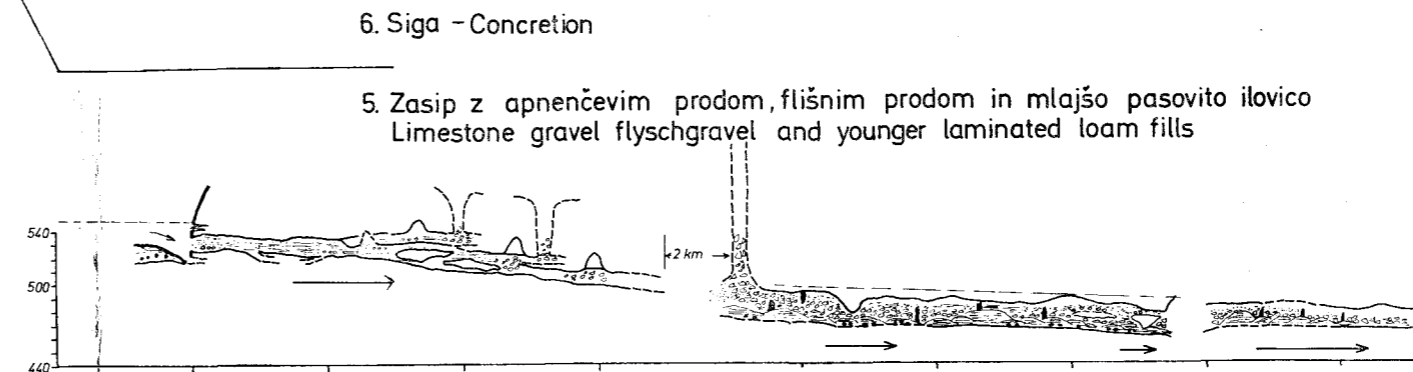
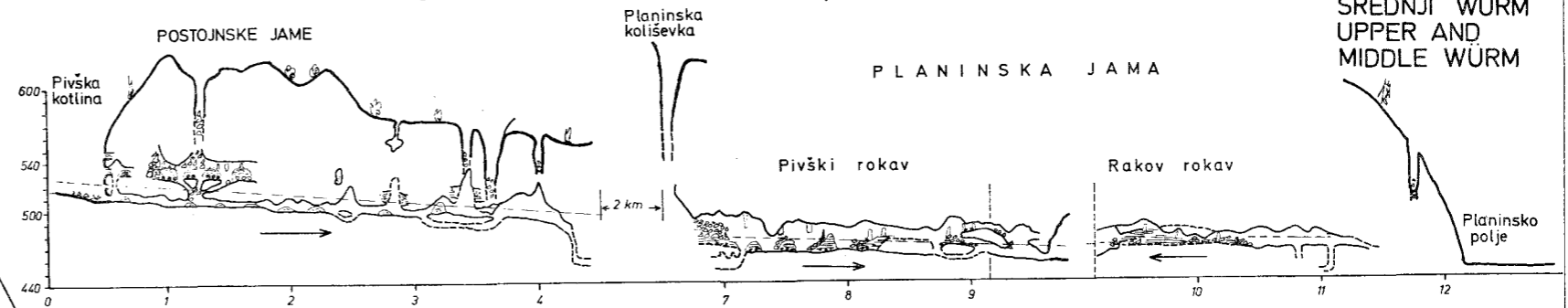
Fig. 22. Planinska jama; the diagrams of laminated loam from the Pivka Branch and Rudolf Gallery composed by the de Geere varve method. There is no coincidence among the diagrams, sedimentation in different channel's parts being different; the cycle of the sedimentation is more expressive in older than in younger laminated loam

Tlorisi - Ground plans

Vzdolžni profili Longitudinal sections



10. Recentne razmere - recent situation
9. Erozija skale-sedimentov, črna Mn prevleka, poplavna ilovica
Rocks sediment's erosion, black Mn cover, flood loam
8. Siga - Concretion
7. Oblikovanje rogov podzemelske Pivke, erozija naplavin v Planinski jami
Underground Pivka channel's formation, sediment erosion in Planinska jama



HOLOCEN
HOLOCENE

ZGORNJI IN
SREDNJI WÜRM
UPPER AND
MIDDLE WÜRM

SPODNJI
WÜRM
LOWER WÜRM

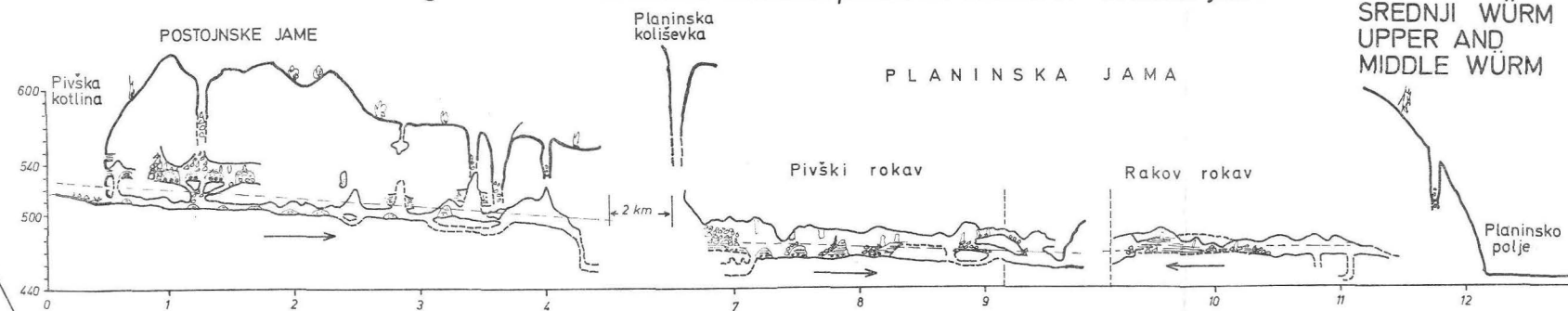
RISS - WÜRM

RISS

9. Erozijska skale-sedimentov, črna Mn prevleka, poplavna ilovica
Rocks sediment's erosion, black Mn cover, flood loam

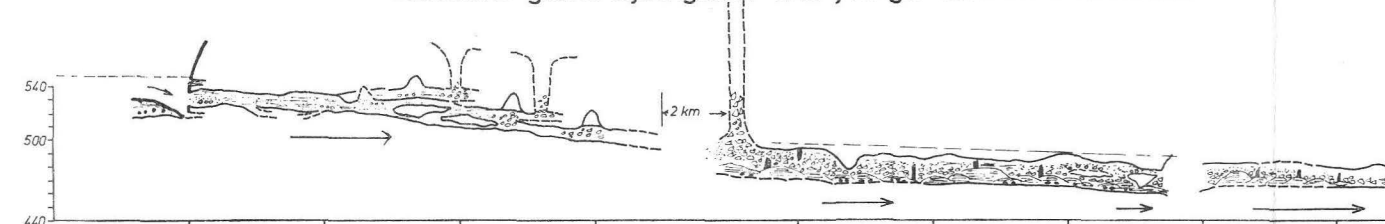
8. Siga - Concretion

7. Oblikovanje rogov podzemelske Pivke, erozija naplavin v Planinski jami
Underground Pivka channel's formation, sediment erosion in Planinska jama



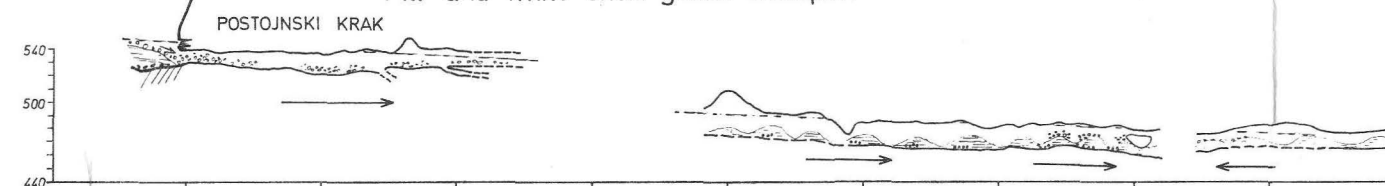
6. Siga - Concretion

5. Zasip z apnenčevim prodom, flišnim prodom in mlajšo pasovito ilovico
Limestone gravel flyschgravel and younger laminated loam fills

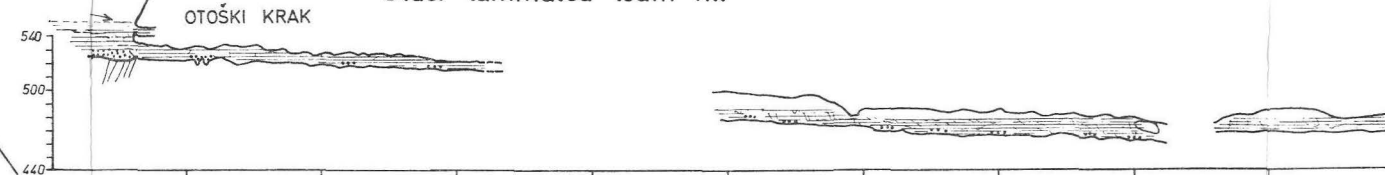


4. Siga - Concretion

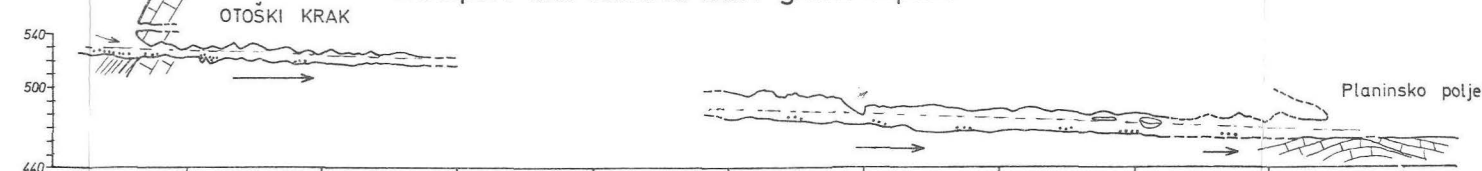
3. Zasip in transport proda belega roženca
Fill and white chert gravel transport



2. Zasip s starejšo pasovito ilovico
Older laminated loam fill



1. Transport in odlaganje proda pisanega roženca
Transport and coloured chert gravel deposit



HOLOCENE
ZGORNJI IN
SREDNJI WÜRM
UPPER AND
MIDDLE WÜRM

SPODNJI
WÜRM
LOWER WÜRM

RISS - WÜRM

RISS

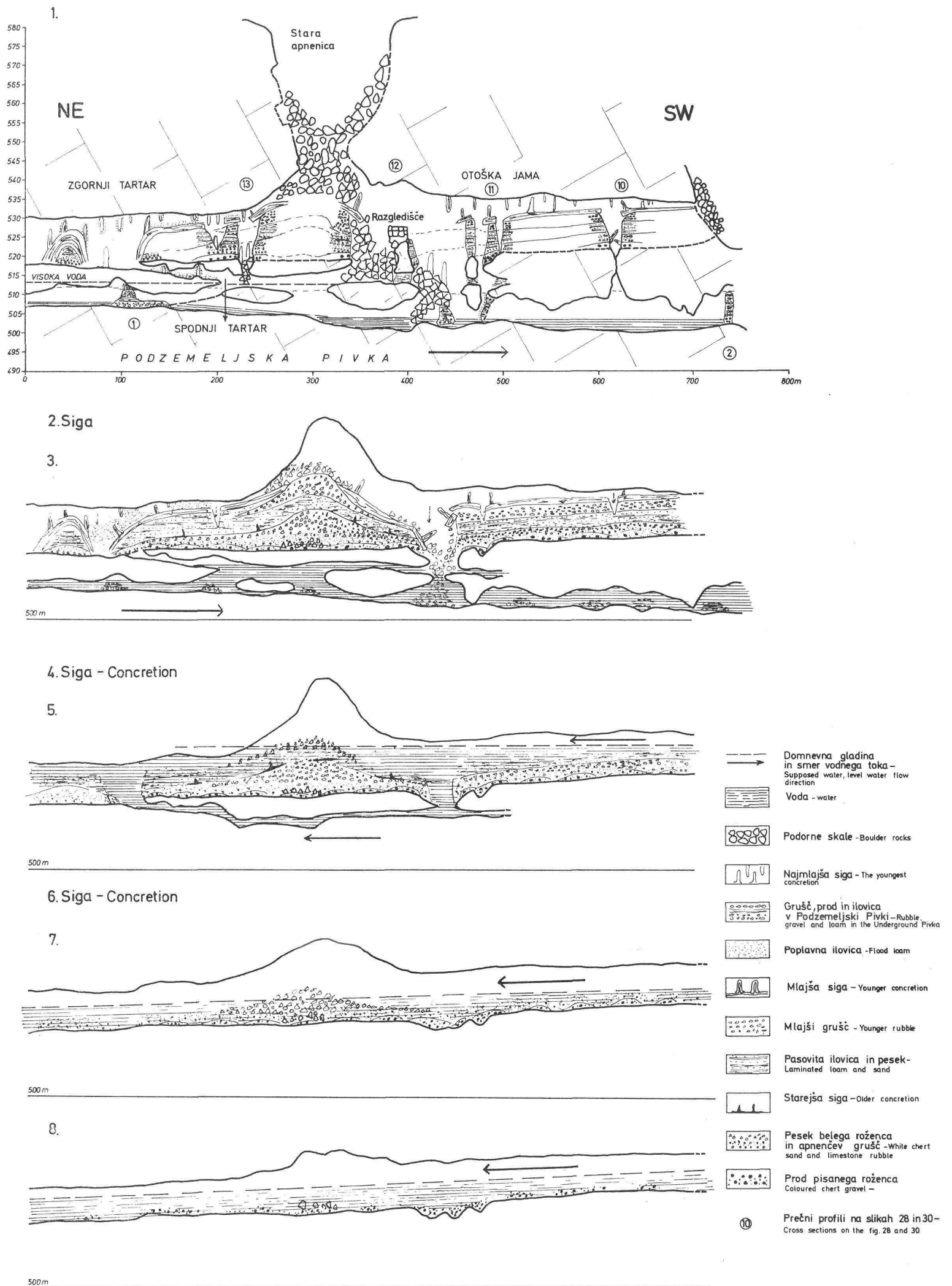
SREDNJI
PLEISTOCEN
MIDDLE PLEISTOCENE

Podrobnejši opis v tekstu
Detail description in the text

RAZVOJNE STOPNJE POSTOJNSKEGA JAMKEGA SISTEMA V KVARTARJU
Shematski prikaz poglavitnih stopenj sistema v tlorisu in vzdolžnem profilu

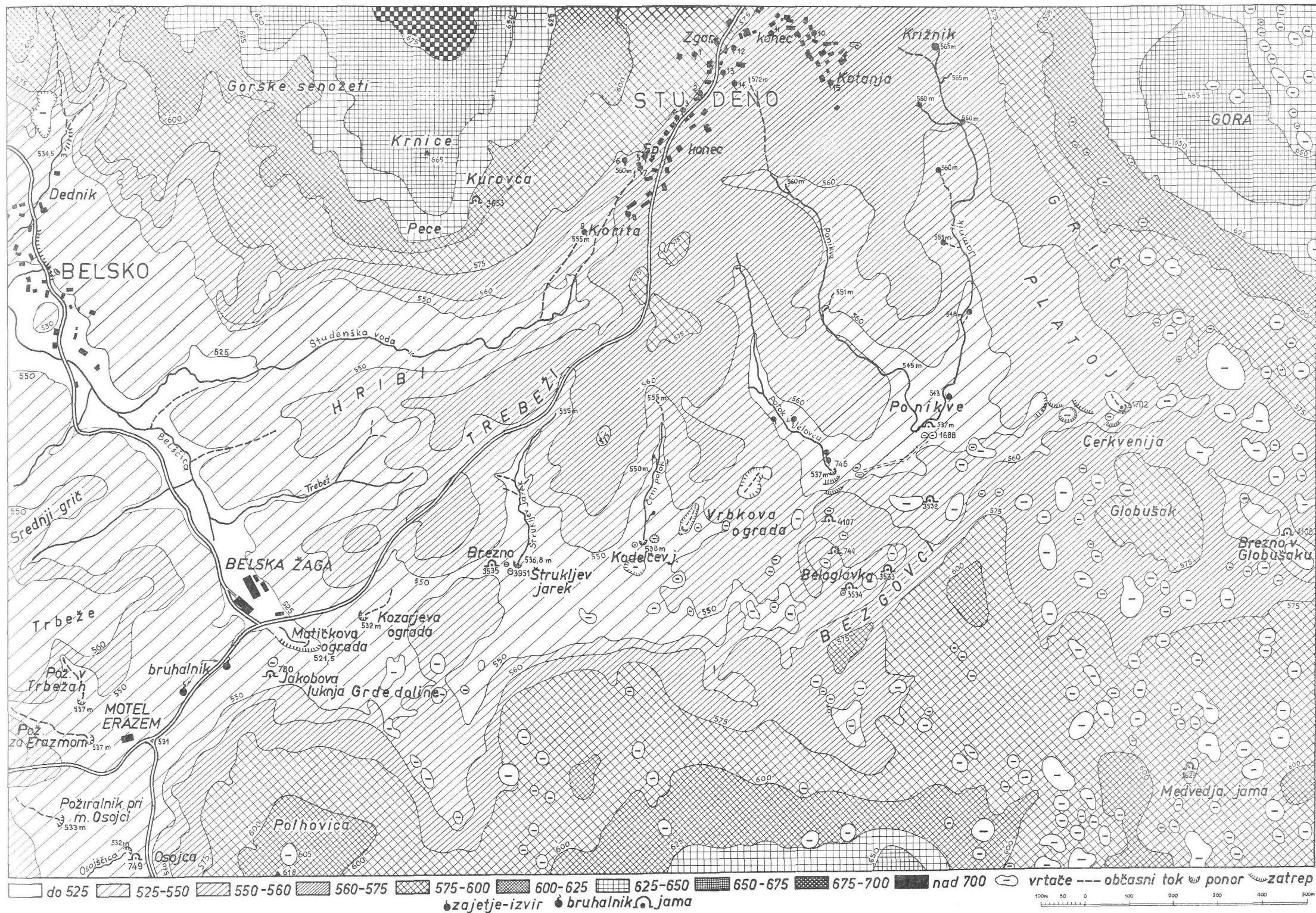
Development phases of Postojna cave system in Quaternary
Sketch of main system phases in plan and longitudinal section

RAZVOJNE STOPNJE -Otoška jama, Zg.Tartar, Podzemeljska Pivka Development phases



Sl. 31. Postojnske jame; razvojne stopnje Otoške jame, Zgornjega Tartarja in Podzemeljske Pivke, podrobnejši opis v tekstu

Fig. 31. The Caves of Postojna; the development phases of Otoška jama, the Upper Tartarus and the Underground Pivka, detailed description in the text



Pril. 1. Morfološko-hidrogeografsko-speleološka karta studenskega flišnega zatoka
 Beil. 1. Morphologisch-hydrographische und Speläologische Karte der Flyschbucht
 von Studeno: Niveaus, Karstdolinen, periodischer Fluß, Schwinde, Sacktal

JAMA V GRAPI 1017

JK LUKA ČEČ
INŠTITUT ZA RAZISKOVANJE KRASA

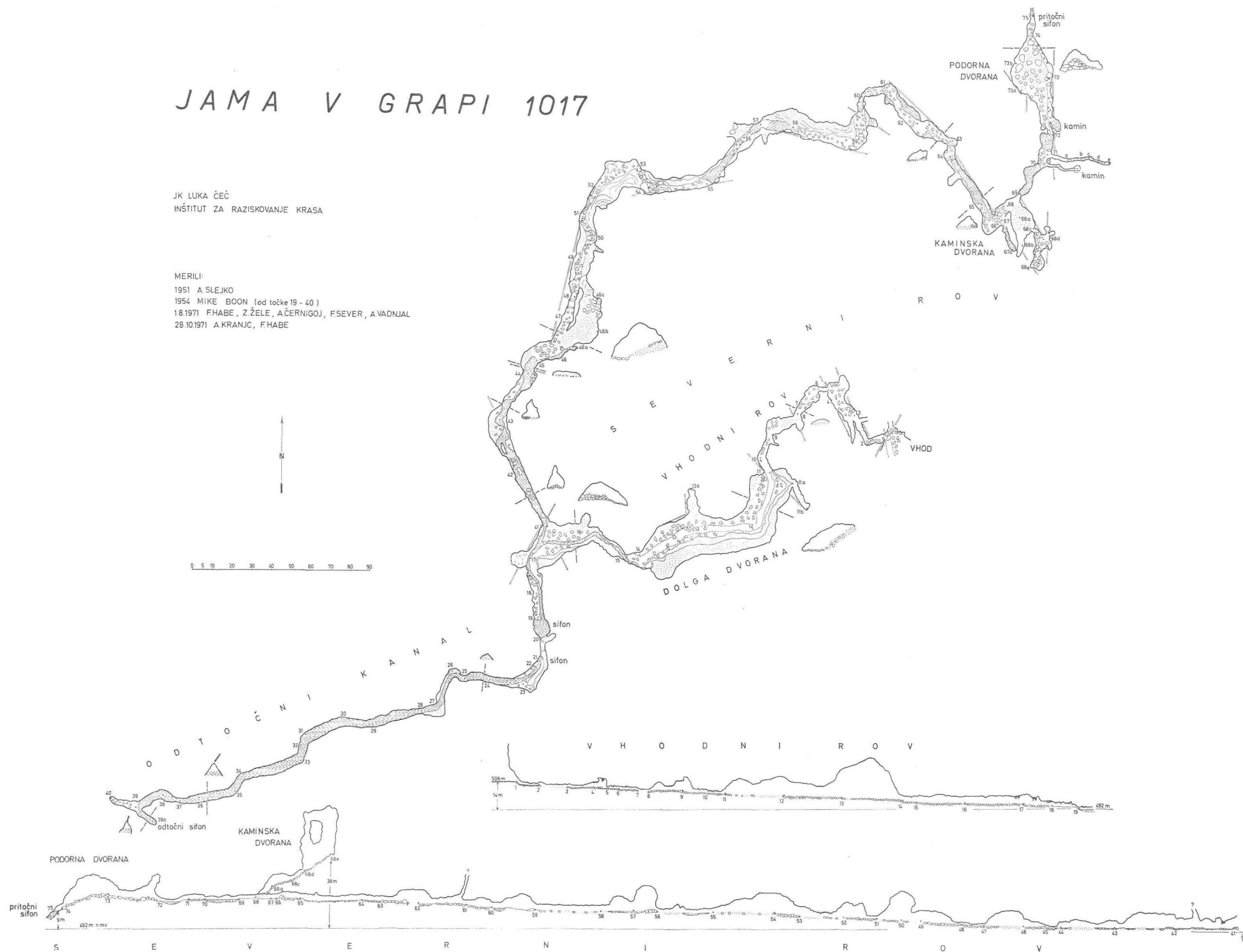
MERILI:

1951 A. SLEJKO

1954 MIKE BOON (od točke 19 - 40)

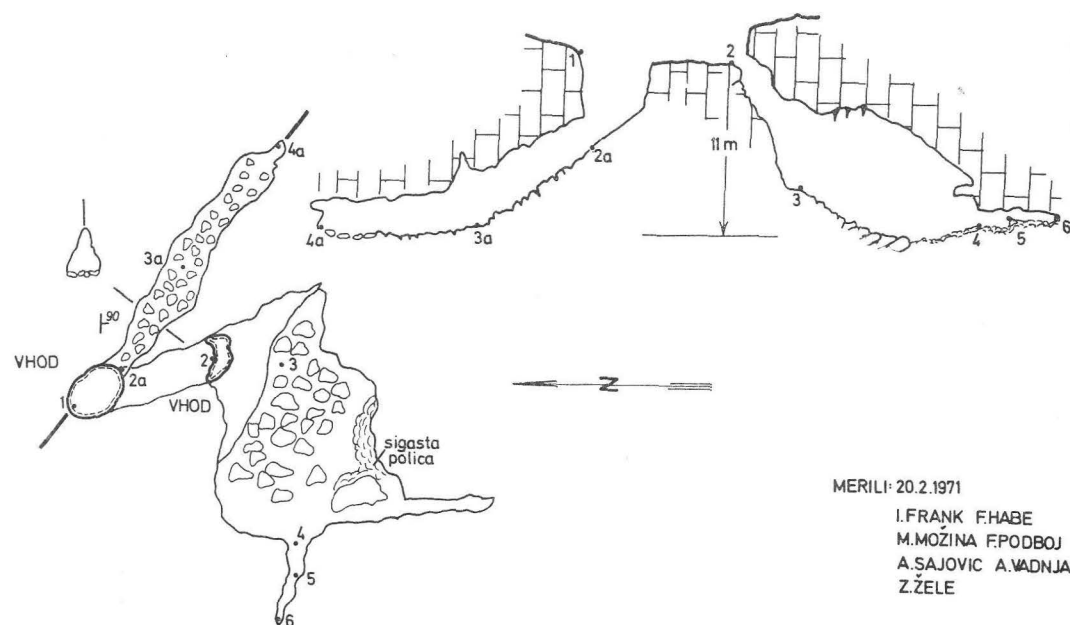
18.1971 F. HABE, Z. ŽELE, A. ČERNIGOJ, F. SEVER, A. VADNJAL

28.10.1971 A. KRANJC, F. HABE

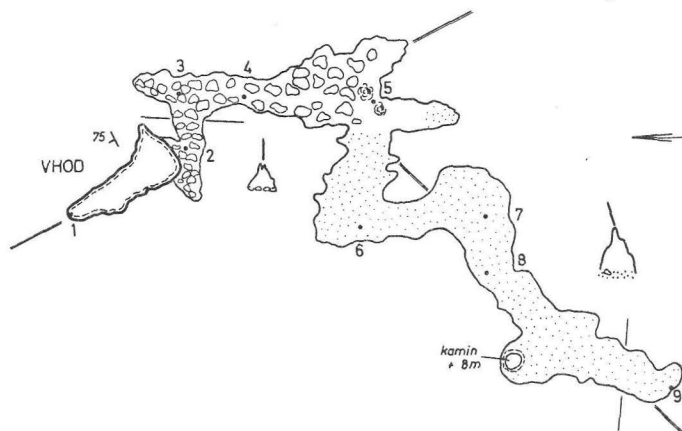
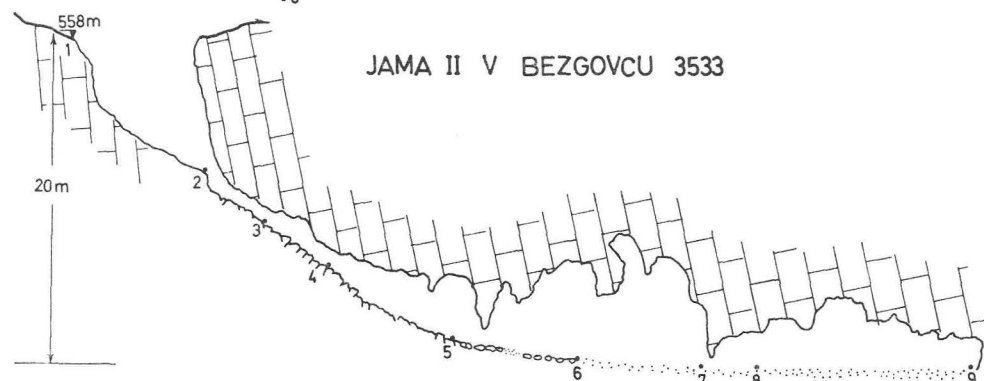


Pril. 2. Načrt Jame I v Grapi
Beil. 2. Plan der Höhle Jama I. v Grapi

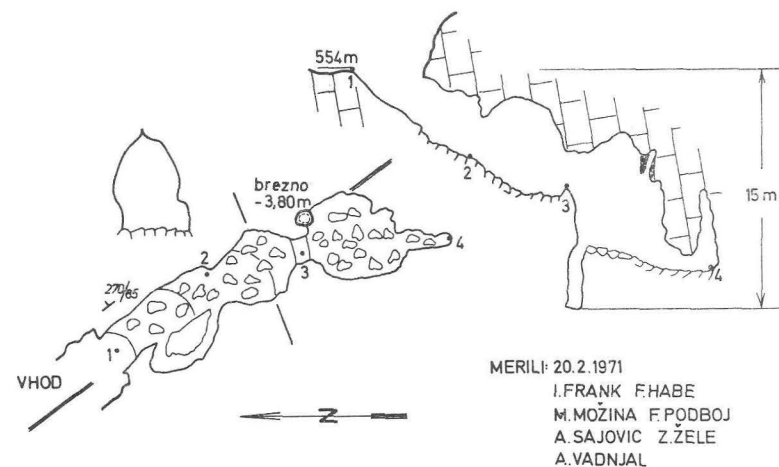
JAMA I. V BEZGOVCU 3532



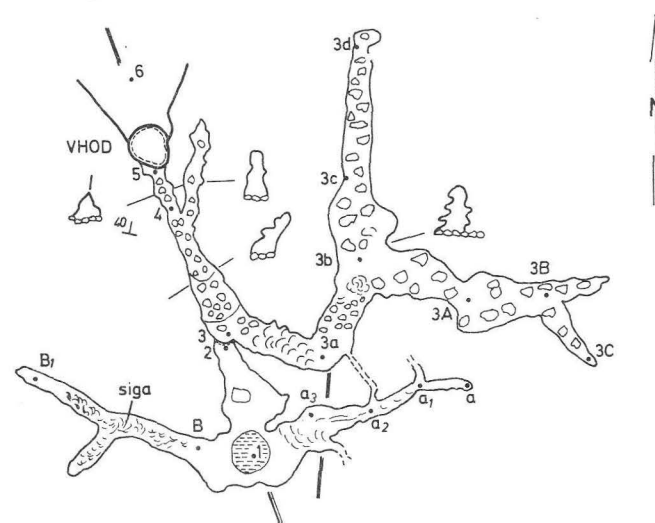
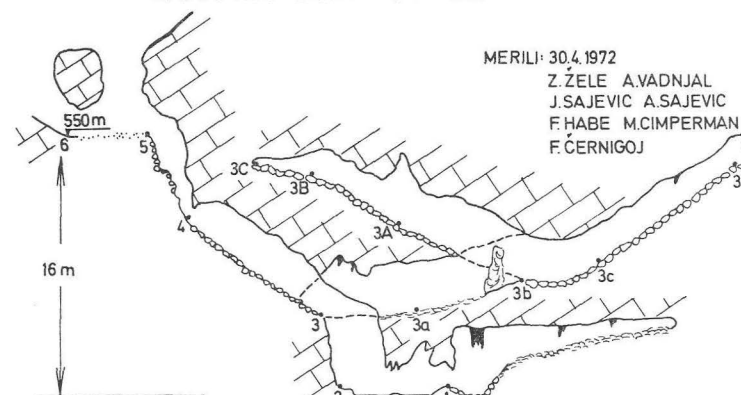
JAMA II V BEZGOVCU 3533



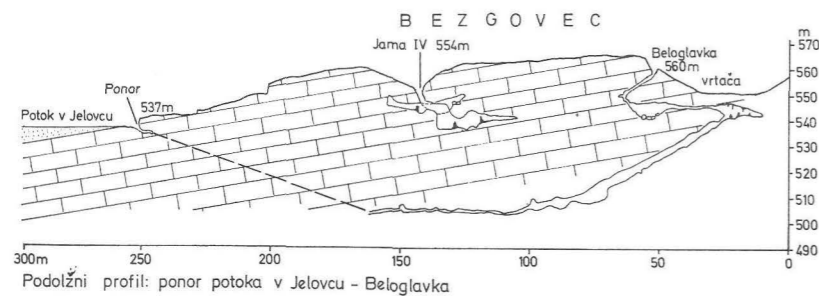
JAMA III. V BEZGOVCU 3534



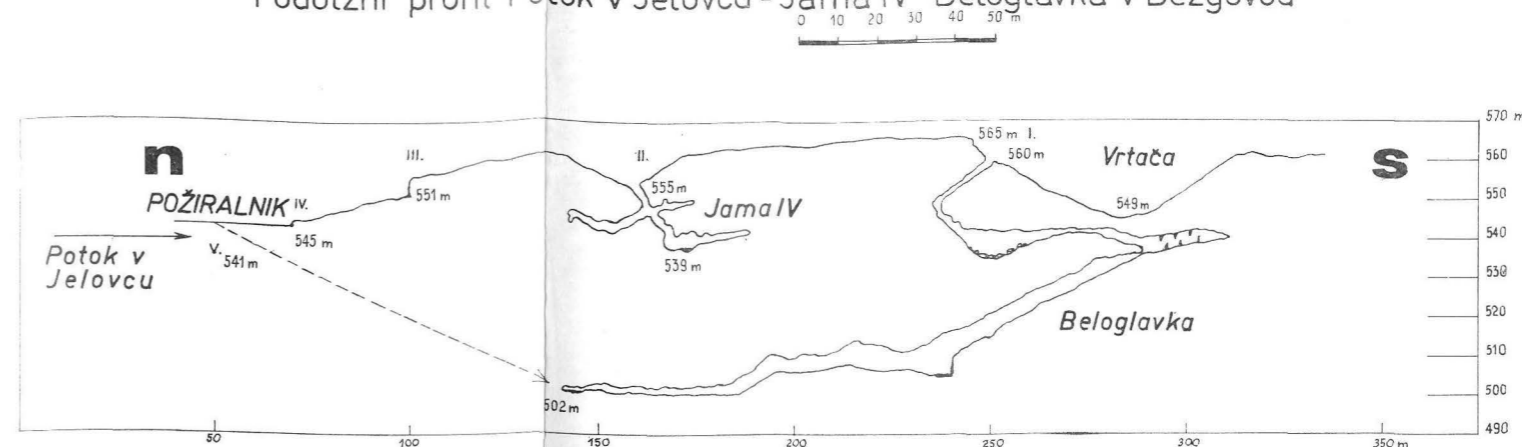
JAMA IV. V BEZGOVCU 4107



Sl. 32. Načrt Jam I do IV v Bezgovcu
Abb. 32. Pläne der Höhlen Jama v Bezgovcu I, II, III und IV



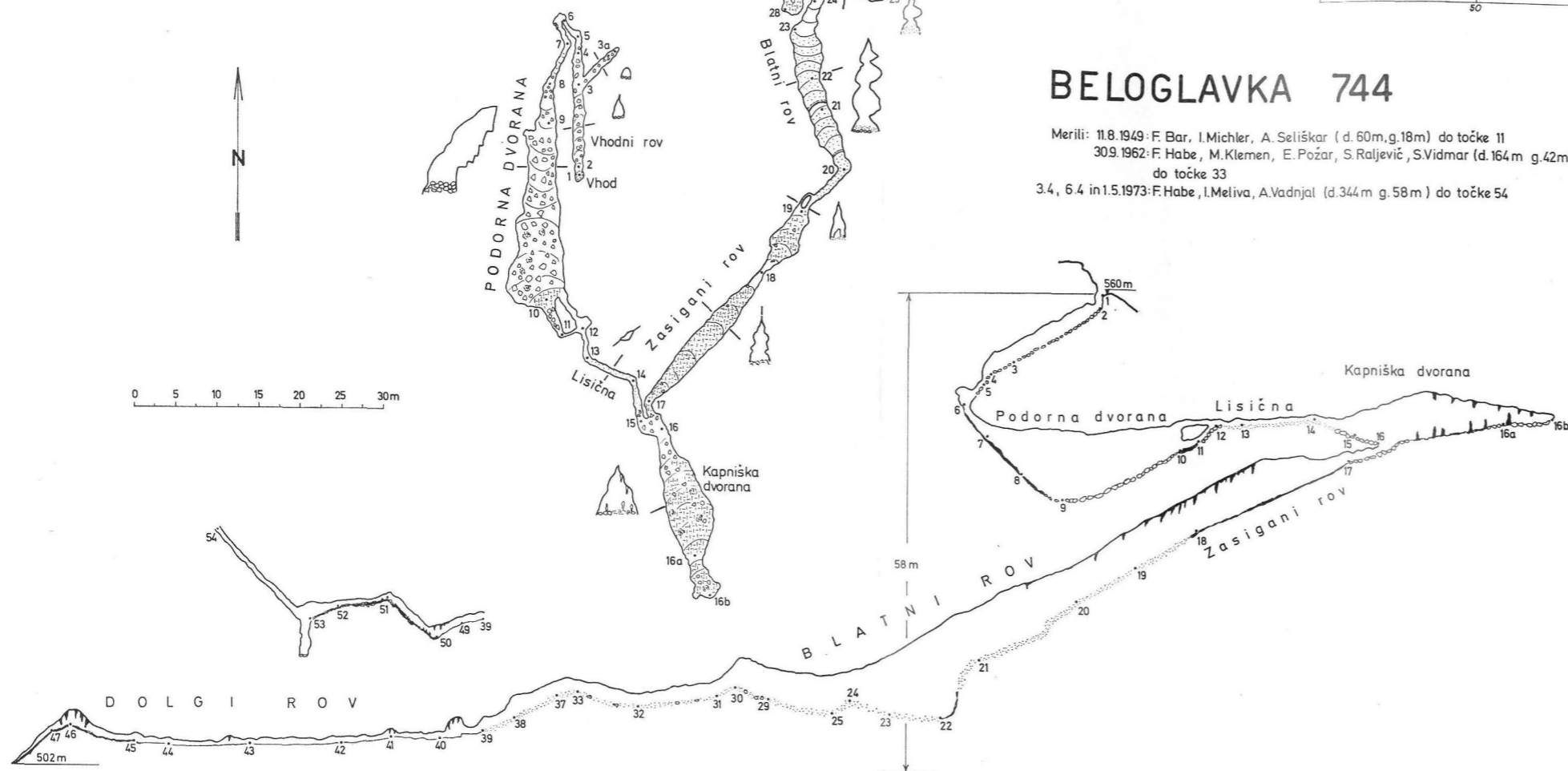
Podolžni profil Potok v Jelovcu - Jama IV - Beloglavka v Bezgovcu

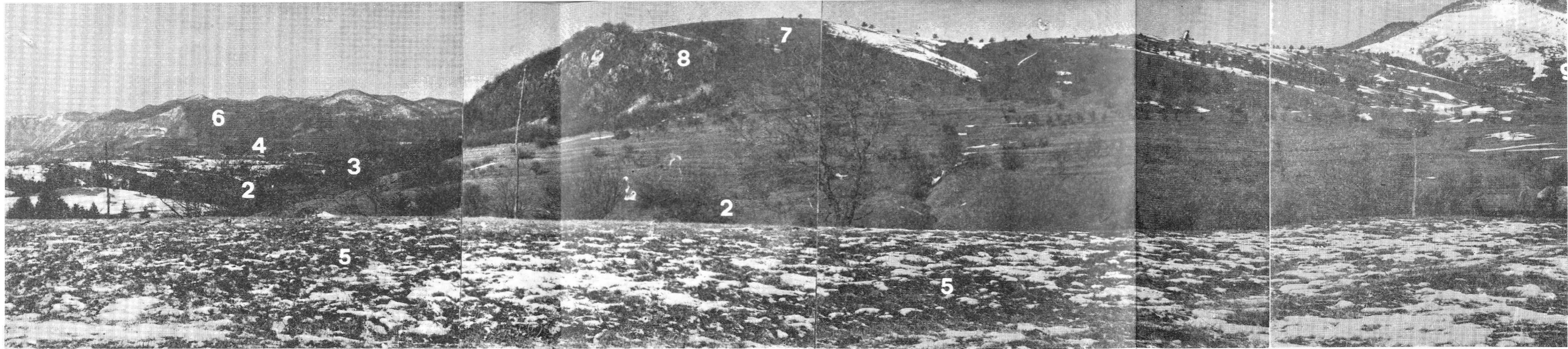


BELOGLAVKA 744

Merili: 11.8.1949: F. Bar, I. Michler, A. Seliškar (d. 60 m, g. 18 m) do točke 11
 30.9.1962: F. Habe, M. Klemen, E. Požar, S. Rajčević, S. Vidmar (d. 164 m, g. 42 m)
 do točke 33
 3.4, 6.4 in 1.5.1973: F. Habe, I. Meliva, A. Vadjnal (d. 344 m, g. 58 m) do točke 54

Pril. 3. Načrt Beloglavke in podolžni profil: Ponor Potoka v Jelovcu — Beloglavka
 Beil. 3. Plan der Höhle Beloglavka und Längsprofil: Schwinde des Baches Potok v
 Jelovcu — Höhle Beloglavka



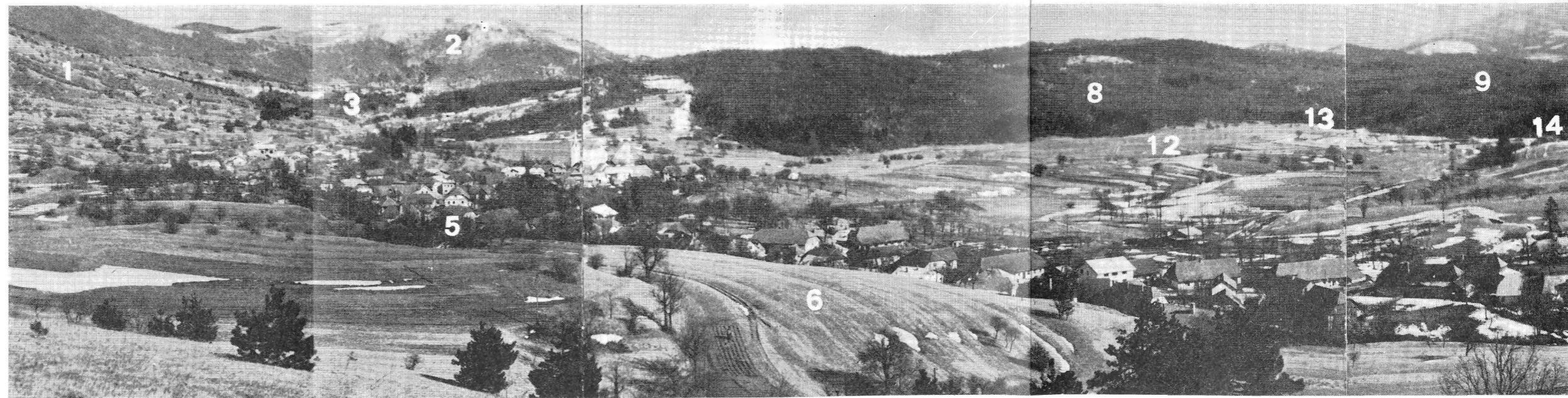


Pril. 4. Panorama studenskega flišnega zatoka

Severni rob zatoka: 1 razvodje med črnomořskim in jadranskim porečjem v Studenem, 2 dolinski jarek Studenske vode, 3 sklep slepe doline Belščice v Grapi, 4 Predjama, 5 flišna terasa v višini okrog 560 m, 6 Nanos, 7 greben Pece, 8 lega jame Kurovca v kredni luski, 9 Sv. Lovrenc (1019 m), 10 Lipovec (1000 m), 11 strmaška-kredno-dolomitna stopnja, 12 povrno področje Ponikev

Beil. 4. Panorama der Flyschbucht von Studeno.

Nordrand: 1 Wasserscheide zwischen dem Adriatischen und dem Schwarzen Meere in Studeno, 2 Talgraben des Baches Studenska voda, 3 Schluß des Blindtales Belščica in der Grapa, 4 Predjama, 5 Flyschterrasse in 560 m Höhe, 6 Nanos, 7 Felsrücken Pece, 8 Lage der Höhle Kurovca in der Kreideschuppe, 9 Sv. Lovrenc (1019 m), 10 Lipovec (1000 m), 11 Stufe von Strmica an der Kreide-Dolomitgrenze, 12 Quellgebiet der Ponikvebäche



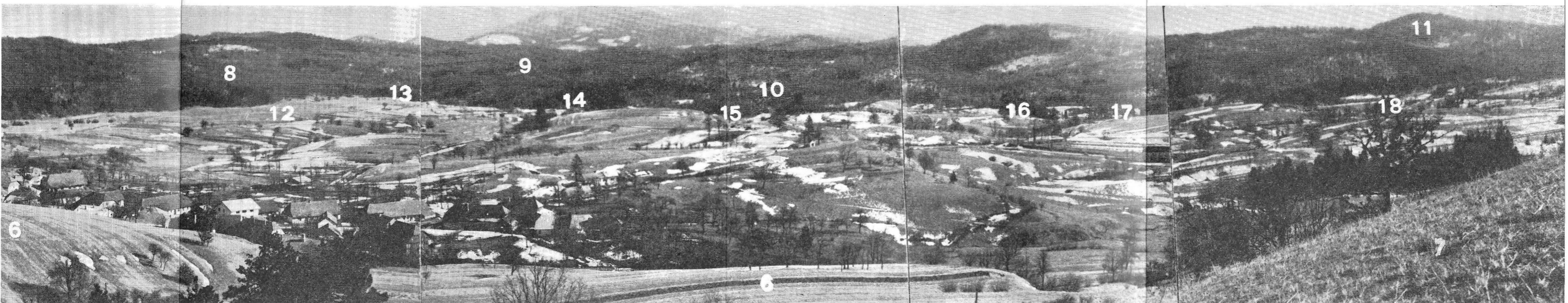


ama,
uitna

ščica
ovec

Južni rob zatoka: 1 Pobočje Sv. Lovrenca (1019 m), 2 zahodna stran Planinske gore, 3 strmaška stopnja ob meji fliša, dolomita in apnenca, 4 razvodje med črnomořskim in jadranskim porečjem, 5 izvorno področje Studenske vode, 6 terasni nivo 560 m, 7 južno pobočje Pec, kjer leži jama Kurovca, 8 kredni Grič, 9 fosilna suha dolina, izdelana v studenski sinklinali, 10 uravnava na apnencu v višini 555–560 m, 11 Suhi vrh (671 m), 12 flišni Platoji, 13 Požiralnik v Cerkvoniji, 14 Ponikve, 15 Potok v Jelovcu, 16 Vrbkova ograda, 17 Kodelčev jarek s Črnim potokom, 18 Štrukljev jarek

Südrand: 1 Abhang des Berges Sv. Lovrenc (1019), 2 Westseite des Berges Planinska gora, 3 Stufe von Strmica an der Grenze des Dolomits, der Kreide und des Flysches, 4 Wasserscheide zwischen dem Schwarzen und dem Adriatischen Meere, 5 Quellgebiet des Baches Studenska voda, 6 Terrassenniveau 560 m, 7 Südabhang des Rückens Pece, in dem sich die Höhle Kurovca befindetet, 8 Fossiles Trockental in der Synklinale von Studeno, 10 Einebnung im Kreidekalk in 555–560 m Höhe, 11 Suhi vrh (671 m), 12 Flyscheinebnung Platoji, 13 Schwinde Požiralnik v Cerkvoniji, 14 Ponikve, 15 Der Bach Potok v Jelovcu, 16 Vrbkova ograda, 17 Graben Kodelčev jarek mit dem Bach Črni potok, 18 Graben Štrukljev jarek





Sl. 1. Razporeditev tipov kraških votlin v Triglavskem pogorju

Legenda

1 jama — stalni izvir, 2 jama — občasni izvir ob stalnem toku, 3 jama — občasni izvir ob občasnem toku, 4 jama z neaktivnim vhodom ob stalnem toku, 5 suha jama, 6 ledenica in snežnica, 7 suho brezno, 8 brezno s stalnim ledom ali snegom, 9 gorski vrh, 10 jezero, 11 površinski vodni tok

Fig. 1. Répartition de types des cavernes karstiques dans le massif de Triglav

Légende

1 grotte — source perenne, 2 grotte — source temporaire recoupante cours d'eau perenne, 3 grotte — source temporaire recoupante cours d'eau temporaire, 4 grotte avec orifice non fonctionnel recoupante cours d'eau perenne, 5 grotte fossile, 6 grotte glacière et grotte avec la neige permanente, 7 gouffre fossil, 8 gouffre avec la glace ou la neige permanente, 9 sommet de montage, 10 lac, 11 cours d'eau superficiel