

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

Izvleček — 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 Ljubljaniče 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.

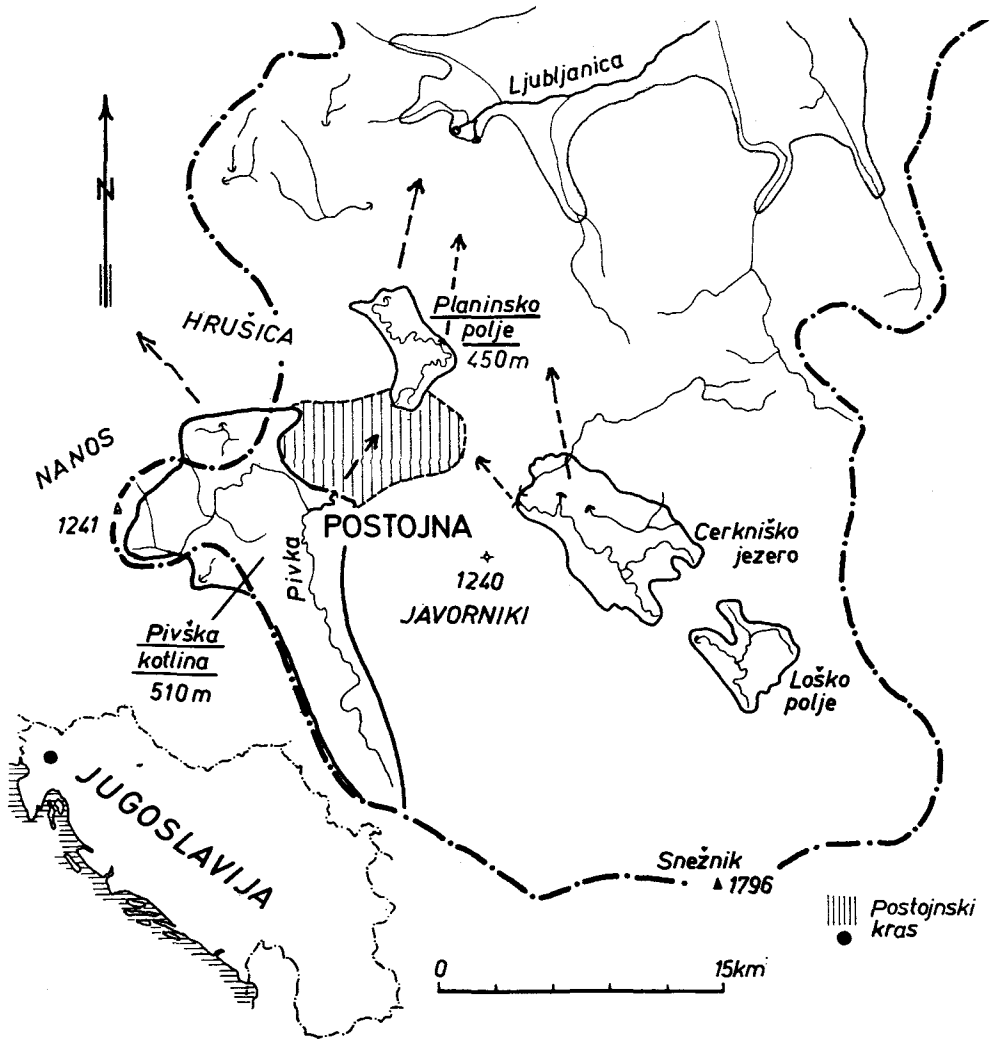
Površje je razčlenjeno v kraška polja in zakrasele planote z vrhovi in depresijami med njimi. Kraški relief odlikujejo številne različno velike udornice in vrtače ter škrapljasto površje, ki je komajda pokrito s prstjo, vendar skrito v bogatih gozdovih. Površinski kras dopolnjujejo številne podzemeljske 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 izvrom Ljubljaniče ob Ljubljanskem barju. V Križni jami, Veliki in Mali Karloviči, Zelških jamah in Tkalcji 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 izvorni 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 Ljubljaniče.

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



Sl. 1. Kraško porečje Ljubljance 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 rogov. V posebnem poglavju govorim o poreklu alohtonih sedimentov v jami. V sklep-nih 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 tukajš-njega 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 opravljala F. Mühlhofer (1933), hidrološke v podzemeljski Pivki pa A. Perco & E. Boegan (1928) in A. Perco & 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, obdobjo poplavljenosti 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-turonijske, turon-cenomanijske in cenomanijske ter na spodnjekredne. Na površju in v dostopnem podzemlju je spoznal apnenec grebenskega faciesa

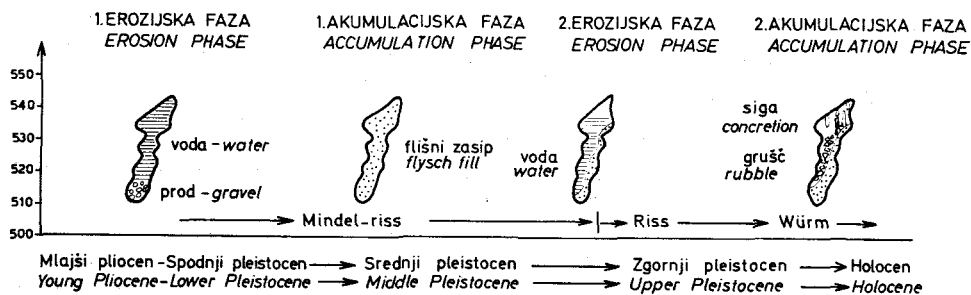


in apnenec z roženci medgrebenskega faciesa. Tektonsko je uvrstil Postojnski kras k zahodnemu krilu Borovniške antiklinale, ki je ob Pivški kotlini antiklinalno upognjeno. Pomembna je Pleničarjeva ugotovitev (1961, 58), da so prehodni rovi Postojnskih jam večinoma vzporedni s plastmi, kjer jih pa prečkajo,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

Pri nadaljnem geološkem preučevanju Postojnskega krasa in njegove okolice (R. Gospodarič 1963; 1964; 1965; 1968; 1969) so bili natančneje 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-riške starosti (I. Rakovec 1954). V novejšem 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 všteti 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 rovov 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 vrtnjem 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 rovih. 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 izvorni 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 bolje preučeni ponornimi jamami na postojnski strani.

2. V jamah na postojnski strani kaže posvetiti večjo pozornost stratigrafski in petrografski 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 nanсени 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 nanescila 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 izvornem 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. Trimel (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 zrnavost 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 poplavah in vodni drenaži 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 zrnavost 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 sovpa. V ilovicah je analiziral razmerje med kaolinom in ililitom 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. Neblóva (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 (ooidne, 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 kredno 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. Apančeve 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.

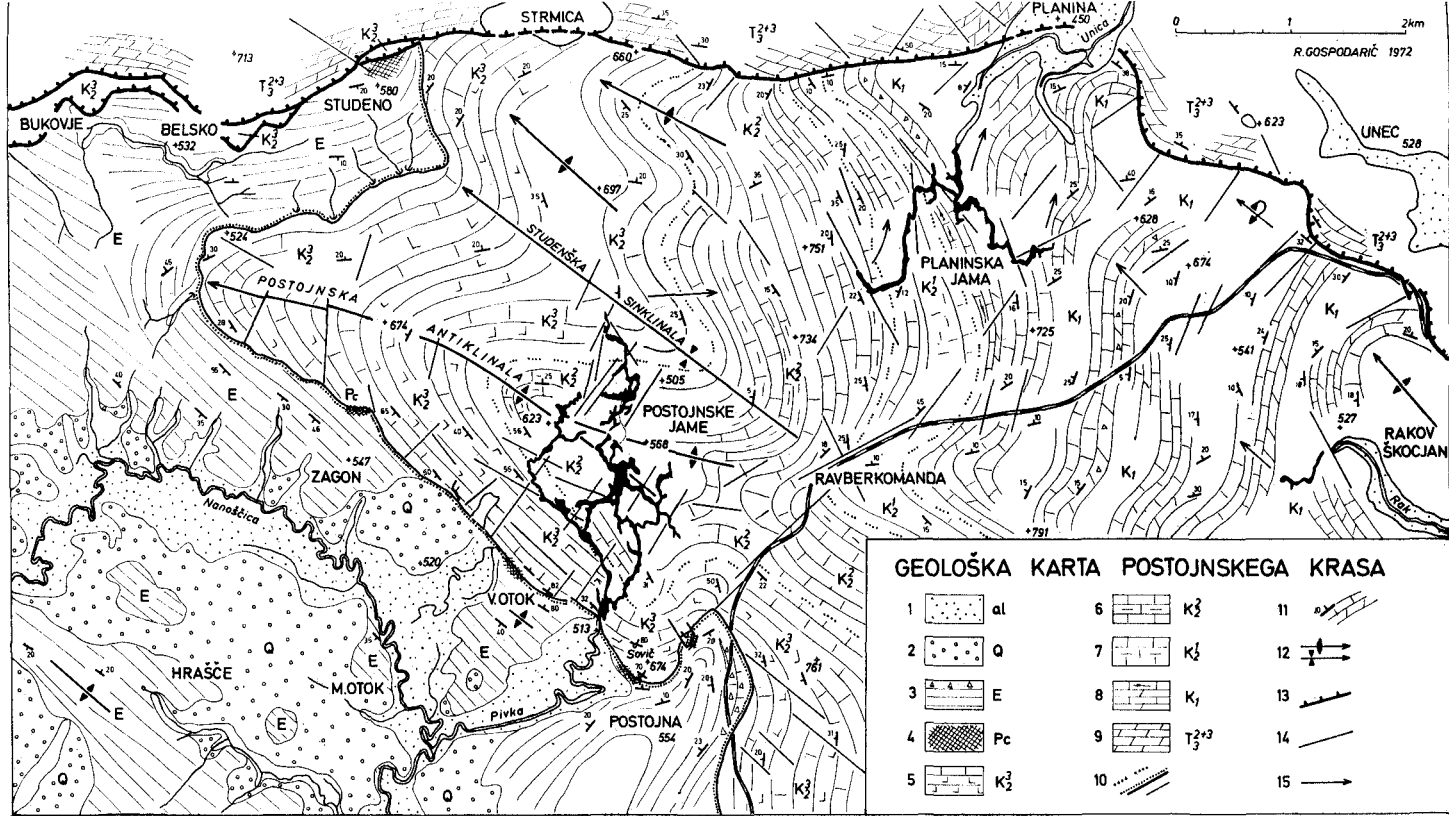
Na prehodu spodnjekredne v zgornjekredno serijo nastopa 80 m debel horizont apnenca z rožencem. Vidimo ga na površju, še lepše pa pred sklepom Pivškega rokava Planinske jame (tab. 3 A). Iz stene rova molijo črne konkrecije nepravilnih oblik, ki so nekako razpotegnjene vzporedno z lezikami. Sveži odlom 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 apnenecem. 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).

**Cenomanijski** ( $K \frac{1}{2}$ ) se odlikuje po neskladovitem zrnatem apnencu s kaprihidami 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 - cenomanij, 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 Chermosferinae, Sabinia 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 $\frac{2}{2}$ )

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 mehničnem preperevanju površja omogočili nastajanja grušča ob udornicah npr. Črni jami, Vodnem dolu in drugih.

### Senonij (K $\frac{3}{2}$ )

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 skleпали, 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 krasu.

### 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. Haba & 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 Studenška 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 zglobljata v mo-

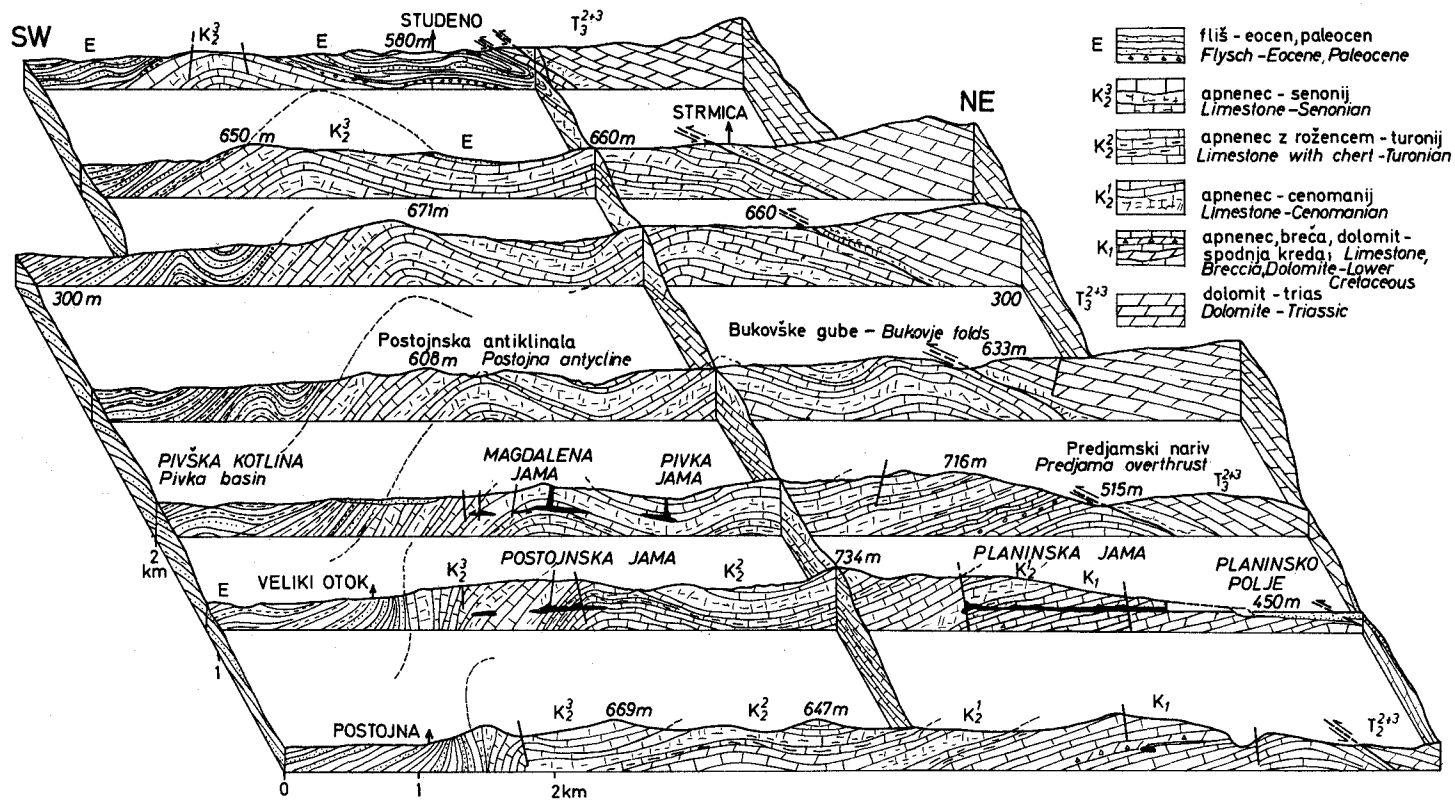
noklinalni strukturi Javornikov. Postojnska antiklinala ima SE vergenco, njeno SW krilo je bolj nagnjeno kot NE krilo. V območju Postojnskih jam se guba cepi v dve veji. Ena veja prečka Umetni rov med Črno jamo in Postojnsko jamo ter sklep Pisanega rova, druga poglavitna pa Magdaleno jamo, Perkov rov, Lepe jame, Čarobni vrt in začetek Pisanega rova. Večina prehodnih rogov je v jugozahodnem strmem krilu gube; ob njenem temenu so podorne 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 km<sup>2</sup> 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 narivnega 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. Osolc (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 obstojati 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. Habec 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 Orehovškega 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 Orehovškega 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 Sajeveh 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 Cerkniškega 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 POSTOJNSKEGA 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 novejšem 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.

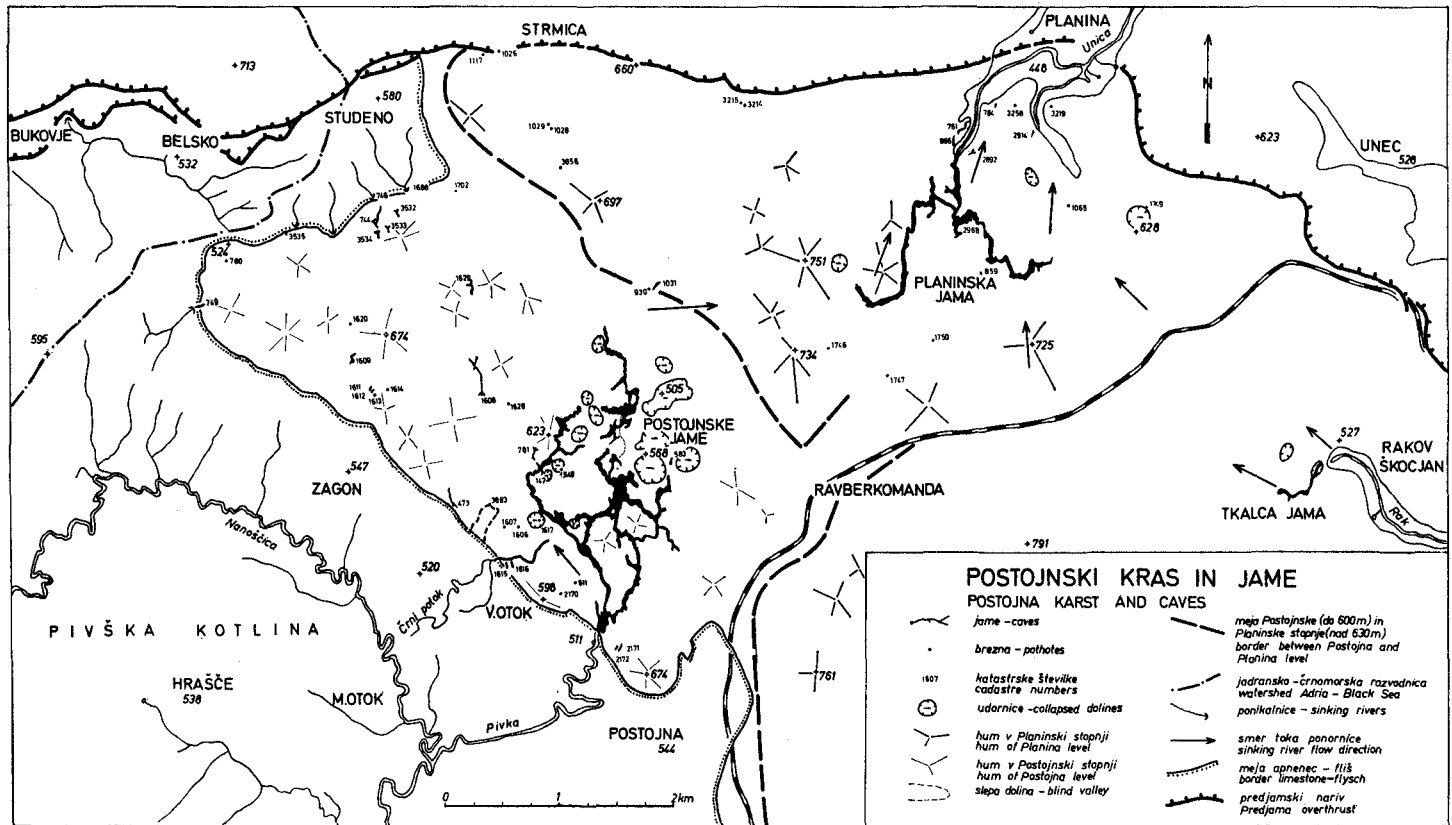
Številne jame v Postojnski stopnji so ostanki vodoravnih ponornih rovov, ki so danes večinoma podrti ali zasuti s sedimenti. Dostopni so skozi manjša korozijska brezna ali udrti strop. Pri razvrstitvi v shematski prikaz na sl. 6 je bila merodajna višina vodoravnih odsekov jam oziroma njihovo skalno dno. 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 prenahtati, kajti pri dolgotrajnem korozijskem preoblikovanju so bili eventualni 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  $2 \times 2$  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 rovov 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 rovov, 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 rovov, 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 rovov 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 poglobitni 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 odmikamo 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.

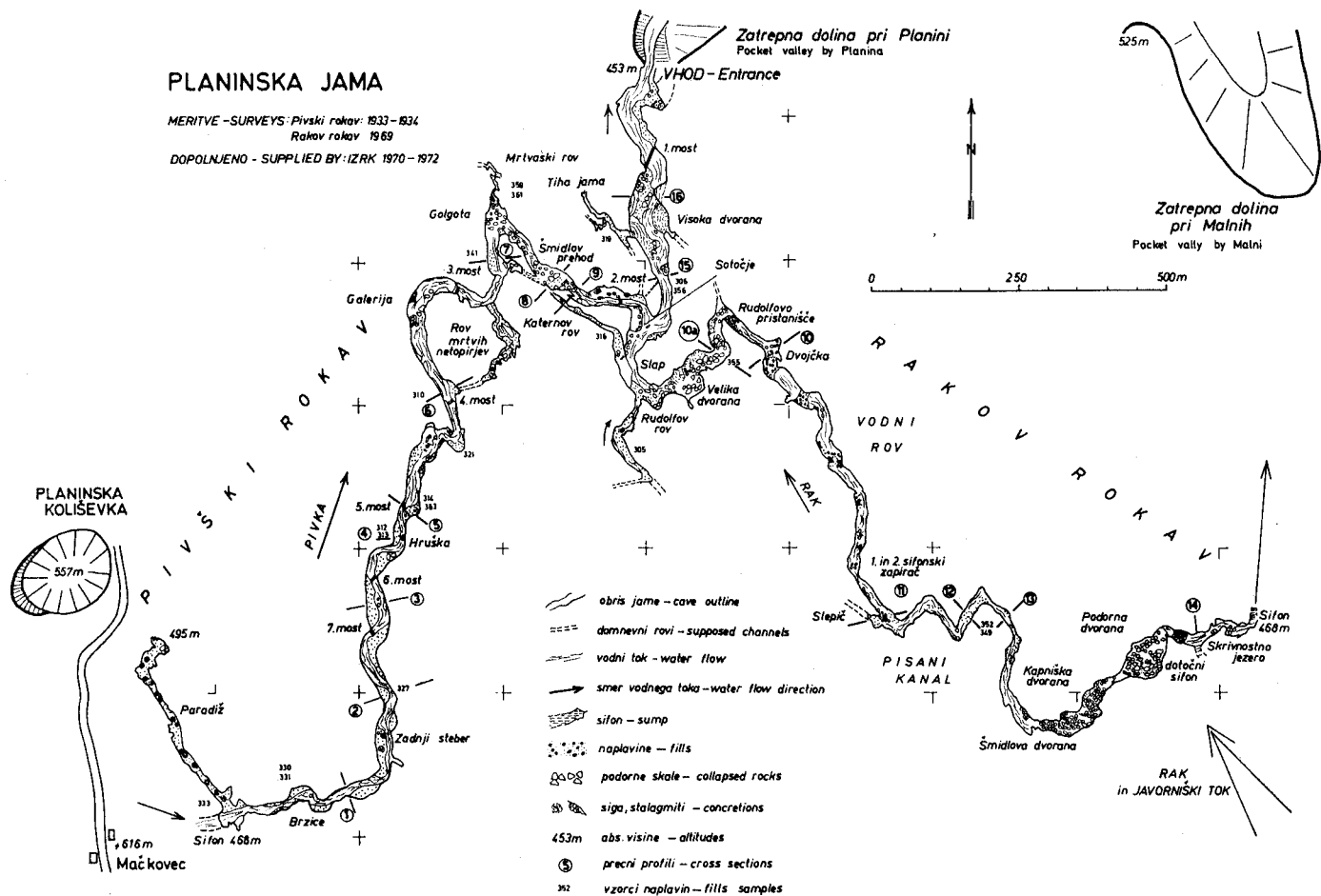
Na ponorni strani so razvite vodoravne jame v prav takšnem višinskem razponu (550—510 m) kot so visoko rovi v Planinski jami (450—490 m nadm. višine). Na ponorni strani so številne krajše jame z bolj izrazitimi osrednjimi rovi med 540—525 m, medtem ko so na izvirni strani združeni v enotnem visokem kanalu. 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 naplavine 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. V a l v a s o r j a (1689), F. A. S t e i n b e r g a (1761), T. G r u b e r j a (1781), vodne rove pa je bolj podrobno opisal A. U r b a s (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 prodril 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. Böegan 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 strmcem 10 ‰ proti jamskemu izhodu in prosto izteka na Planinsko polje. Le visoka voda delno zastaja pred kratkim sifonom

pod Golgota. 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 zapiračih. 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 poglubi 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 tankajšnji 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 Cerkniskega jezera in vode Javorniskega toka. Dotočnih rorov teh voda še ne poznamo, pač pa je l. 1969 uspelo skupini ljubljanskih potapljačev pod vodstvom A. Praprotnika najti 25 m globok dotočni jašek javorniske 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 rorov 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.

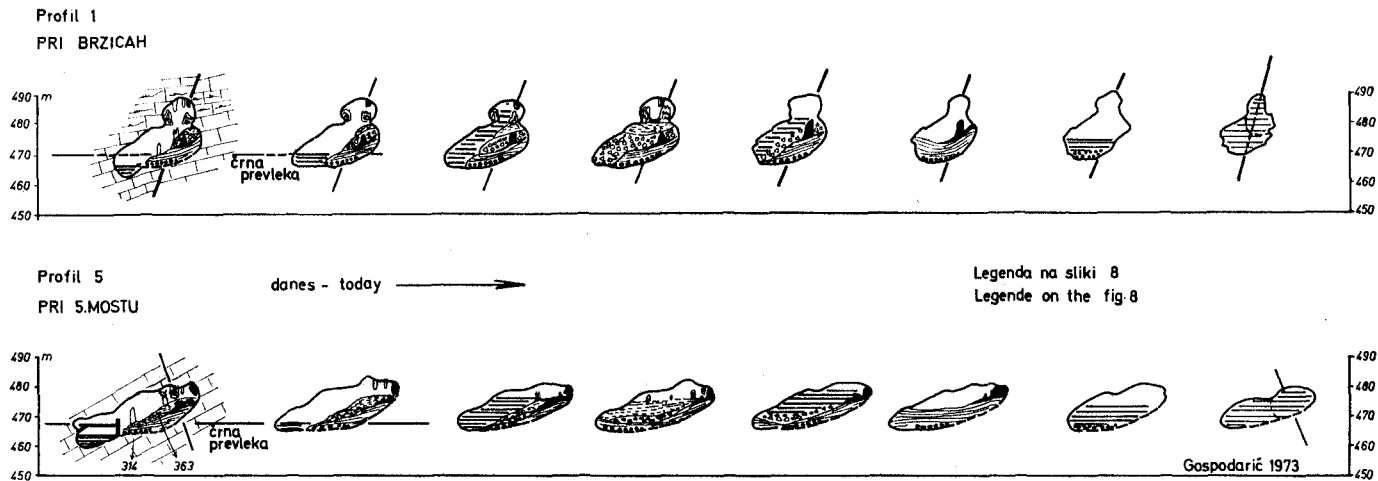
### Brzice

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).

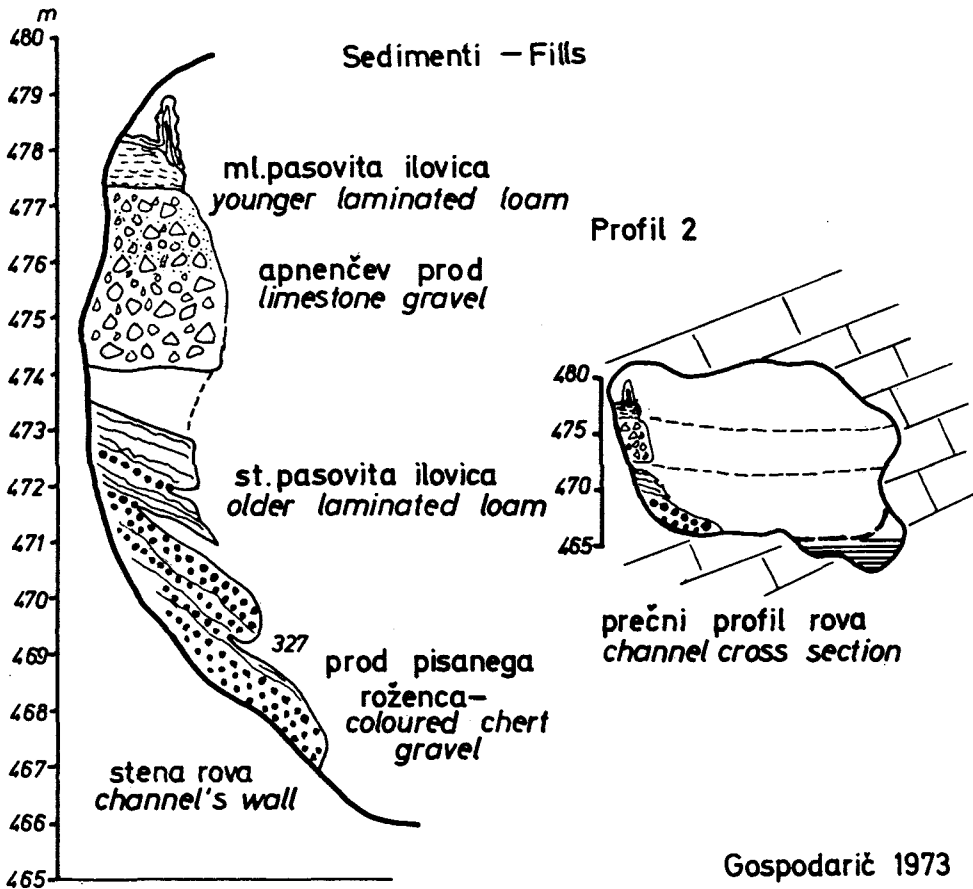
Konec Brzic je ob desni steni in na skalni podlagi 14 m visok zasip sedimentov. Spodaj sta prod in pesek pisanega roženca, nato sledi starejša pasovita ilovica, vse skupaj pa pokriva apnenčev prod. Apnenčev prod je naslonjen tudi na stalagmit prhke, rjavkaste sige, po čemer sklepamo, da se je odložil 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 mlajše ilovice se kaže v menjavanju temnorjavih in svetlorjavih, različno debelih ilovnatih in peščenih prog. Tu ni tistih trših, tankih prog, ki so značilne za starejšo



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

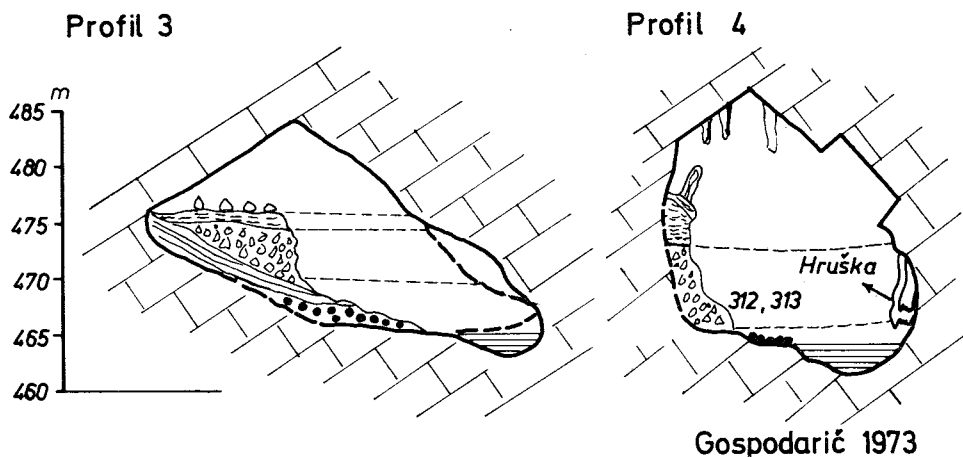


Sl. 10. Planinska jama, Pivški rokav v profilu 2 in stolpec tam ohranjenih sedimentov  
Fig. 10. Planinska jama, the Pivka Branch at 2<sup>nd</sup> section and column of there preserved sediments

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 km debela leča peska brez kosov apnenca sredi plasti kaže, na občasno prekinjeno odlaganje apnenčevega proda. Pesek ima sestavine flišnih kamnin (vzorec 313).

V apnenčevem prodju 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 vzhodni strani 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).

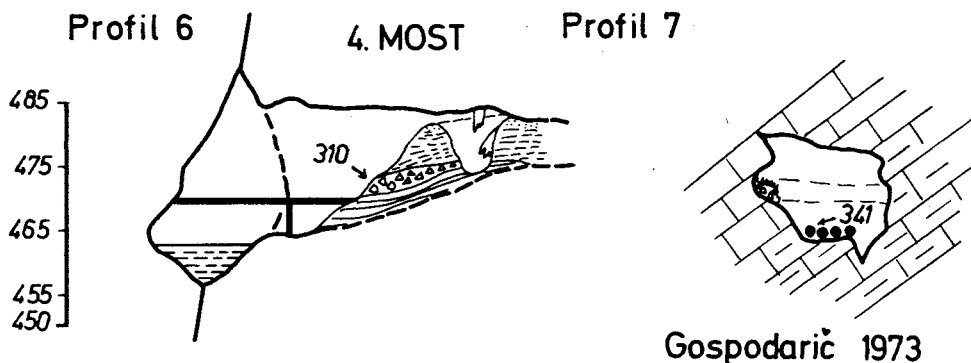
Prav pod stropom rova je ohranjen erozijski ostanek starejše rdečkaste sige, ki je zelo podobna taki sigi pod apnenčevim prodom pri profilu 1 in v Paradižu. Kot bomo videli pozneje pa je tudi bližnji, delno erodirani stalagmit iz starejše sige. Domnevamo, da leži na starejši pasoviti ilovici, ki se tod 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.

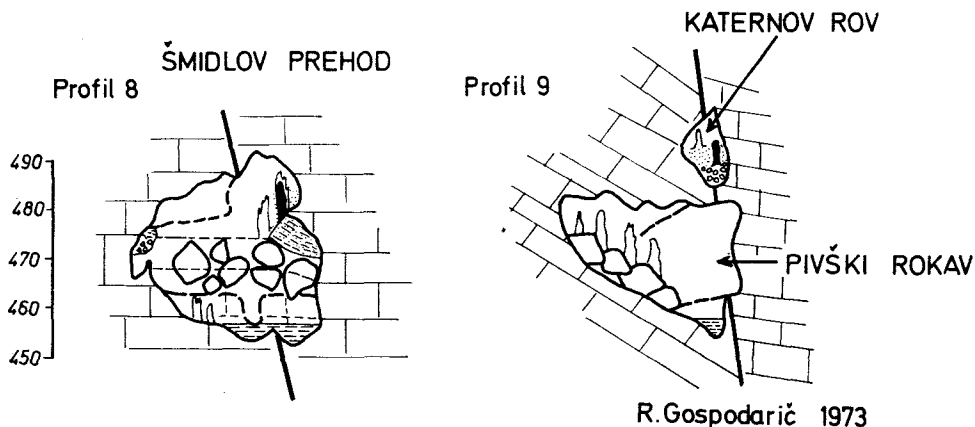
Konec Galerij je vodna struga zasekana v starejše skalno dno na višini 463 m, ki nosi pol metra debelo plast proda oziroma konglomerata pisanega roženca (profil 7, sl. 12). Njegov vzorec 341 se po zrnivosti in petrografski sestavi ujema s podobnim prodom v podlagi starejše pasovite ilovice že obravnavanega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

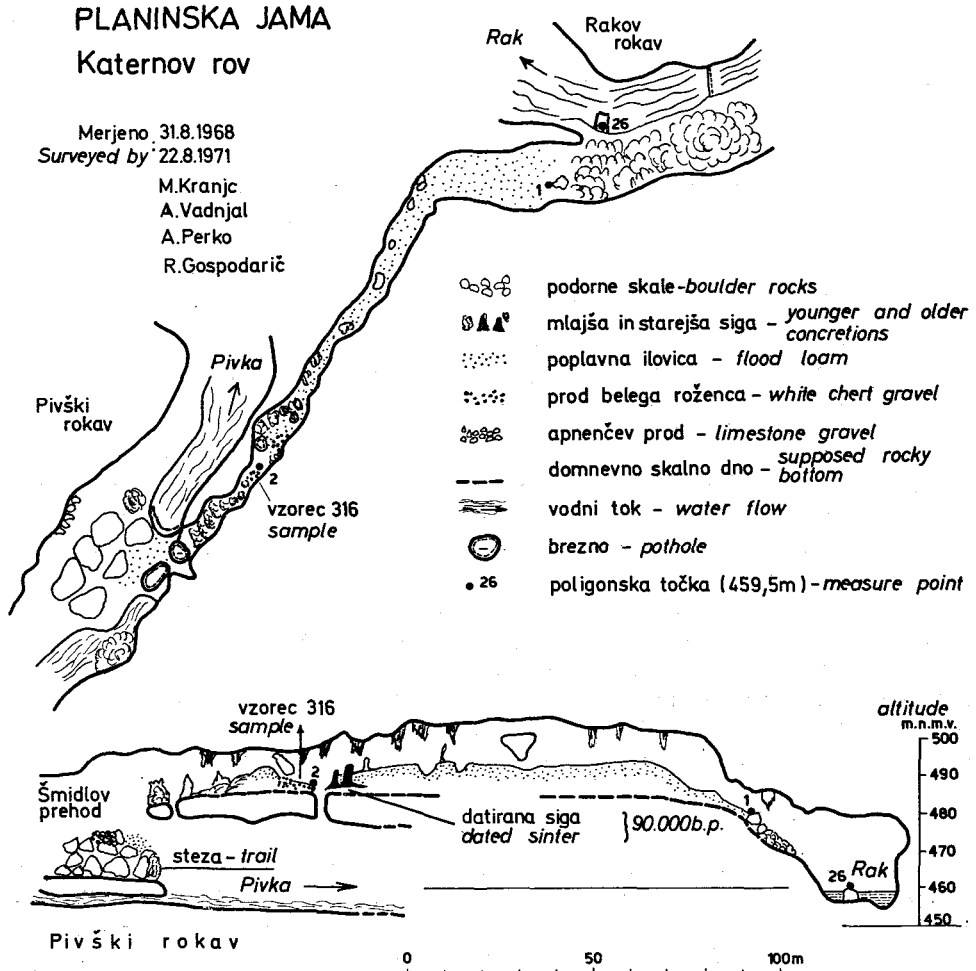
Prava oblika rova je precej zakrita z naplavinami. Te sledimo po vsem rovu v večjih in manjših kupih. V začetku rova je mlajša pasovita ilovica ohranjena v 3 m debeli plasti. Njen vzorec 361 ima oglata in zaobljena kremenova zrna, sljudo in rjavkasto ilovico, kar je značilno za to mlajšo naplavino v 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 povzpnejo 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 naplavinini.

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 preliva 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 zliva 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.

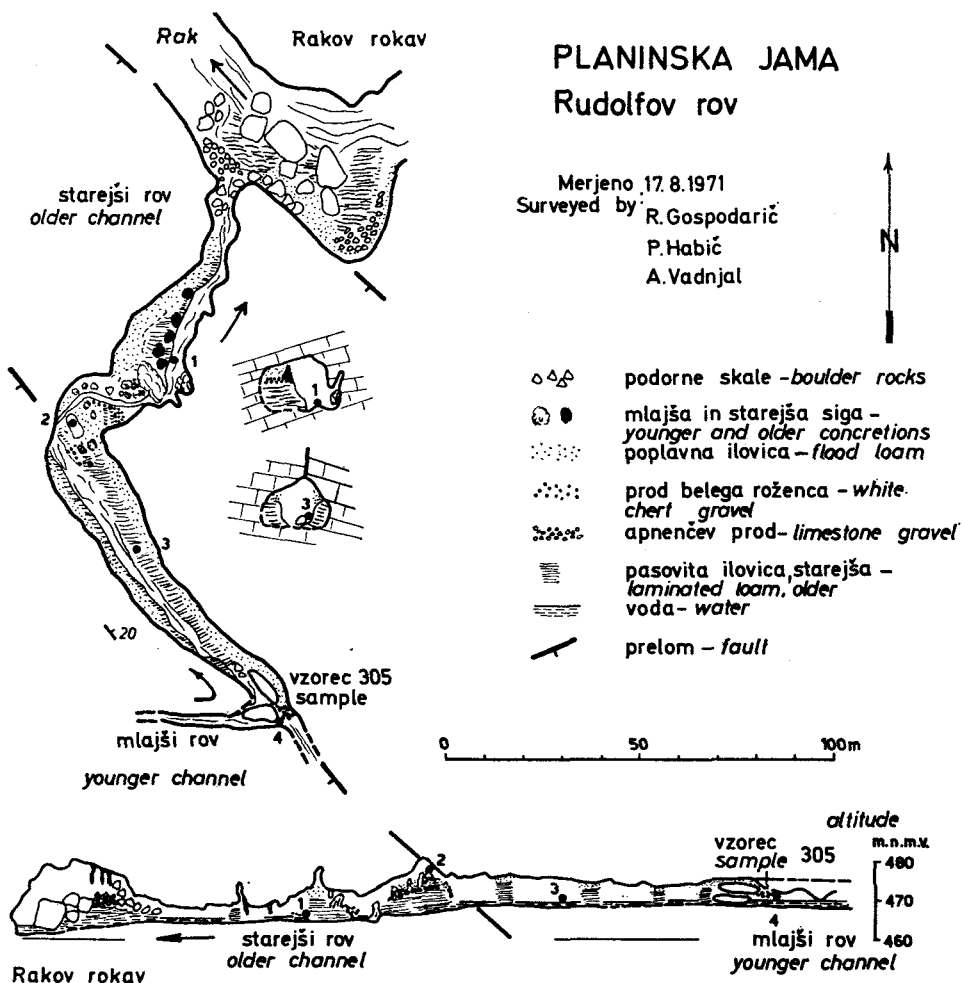
V Rudolfovem rovu je plast starejše pasovite ilovice debela najmanj 5 m. Kolikor je moč videti, leži na skalnem dnu. Na njej so posamezne leče proda belega roženca, sprijetega s sigasto limonitno skorjo, vse skupaj pa pokriva okoli pol metra debela plast prhke rdečkaste ilovice, najmlajša siga in podorne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

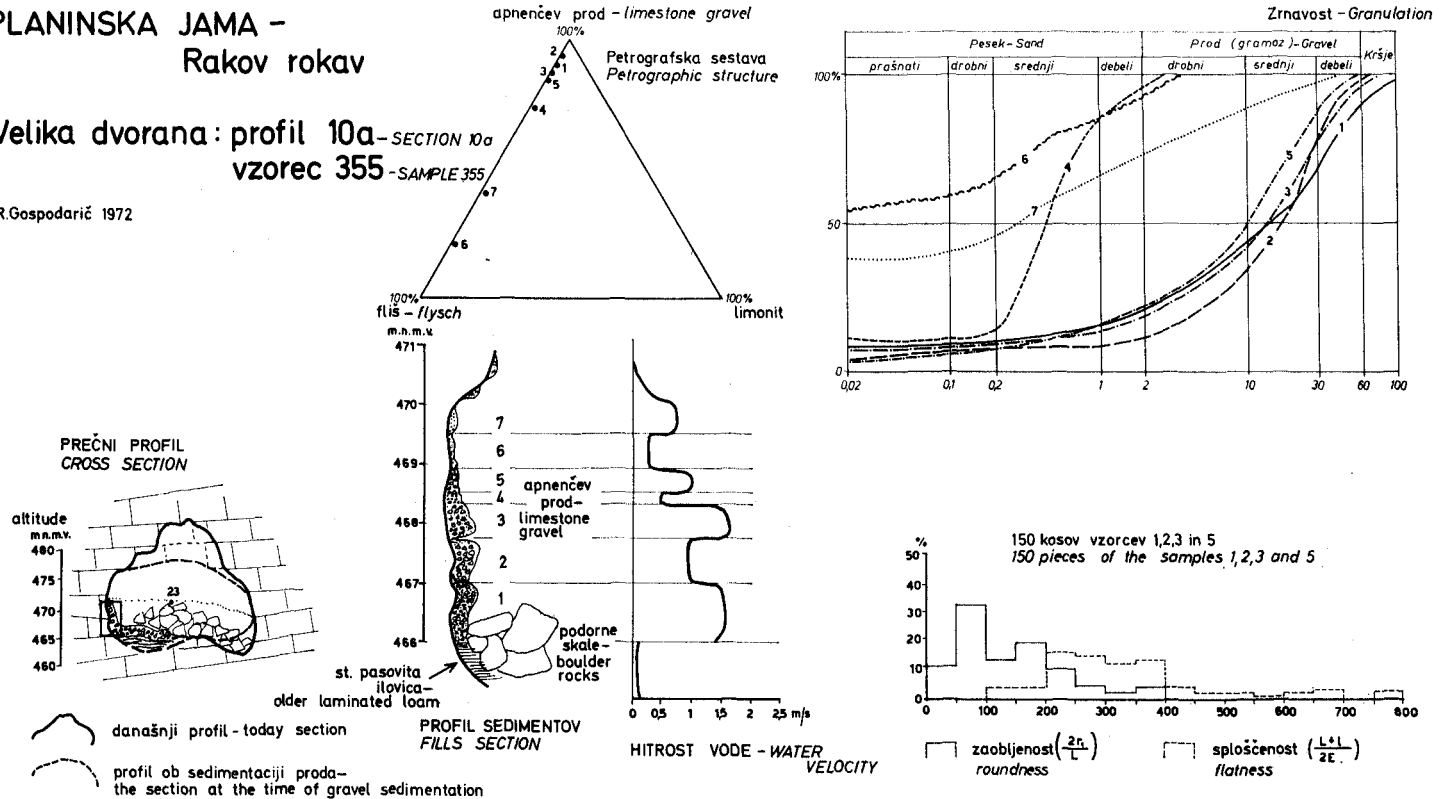
Plast 6 je ohranjena le v krpah. Razlikujemo pa lahko 9 po 1 cm debelih leč bolj debelega peska med ilovico, tako da je skupna plast debela 60 cm. Skupno ima 40 % peska in 55 % rjave ilovice ter 5 % proda. Apneni prod se ni več odlagal. Karbonatna komponenta je zastopana s sigo. Ta plast ima podobno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

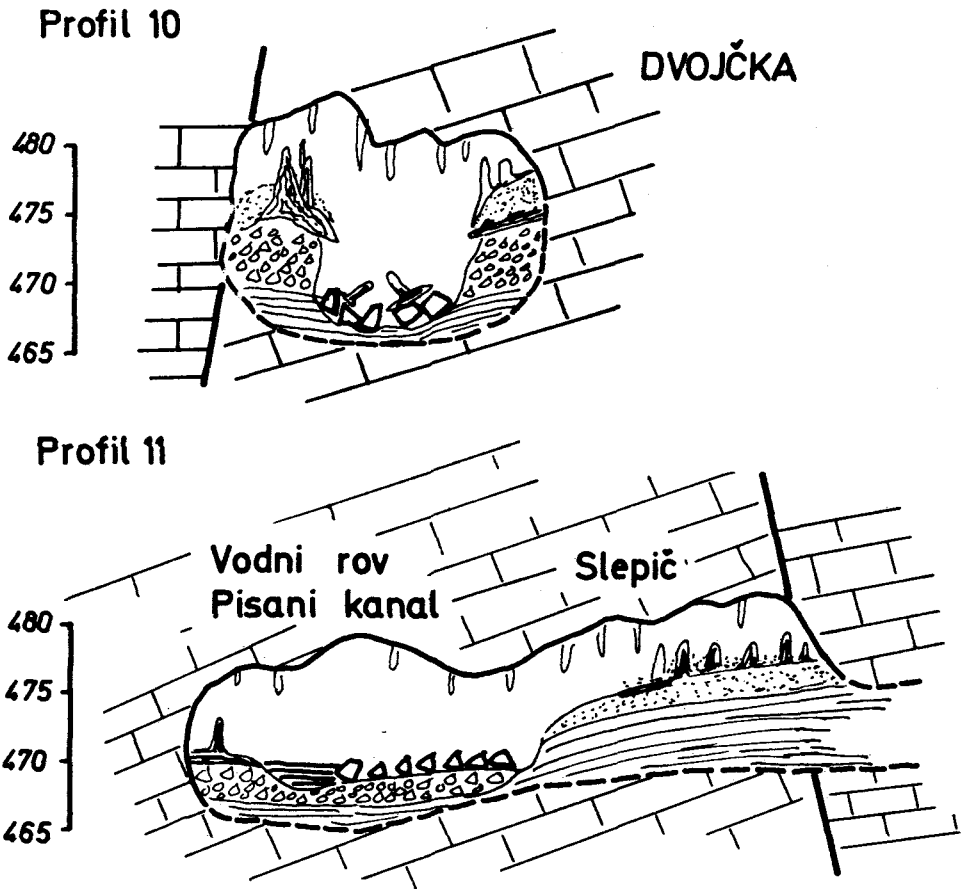
Pri Rudolfovem pristanišču je 10 m visok grič sedimentov. Zgoraj so stropne skale, spodaj pa apnenčev prod na pasoviti ilovici. Grič je naslonjen ob gladko steno do višine 472 m. Tako visoko sega tudi 3 mm debela Mn prevleka, ki jo današnji tok vode erodira. V nadaljnjem Vodnem rovu je zgornja meja Mn 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 zapiraj).

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 krajeh 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 mehkejše in trdnejše proge padajo proti vodnemu koritu, a se izravnajo 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 vrhno rdečo ilovico v Rudolfovem rovu. Manjka samo prod belega roženca. Pasovita ilovica je tako zadelala 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.



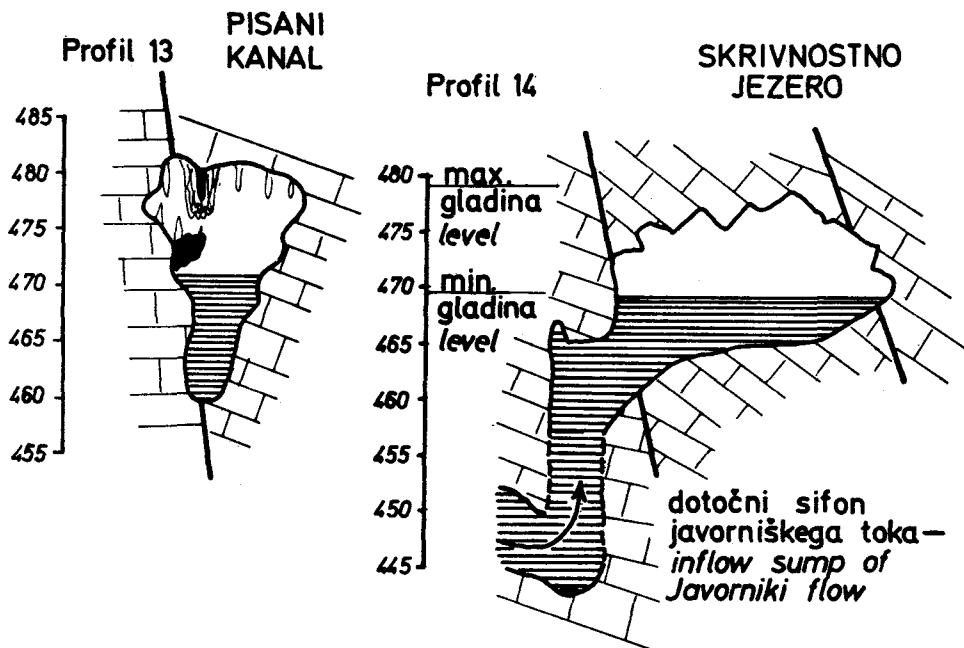
### Pisani kanal

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.

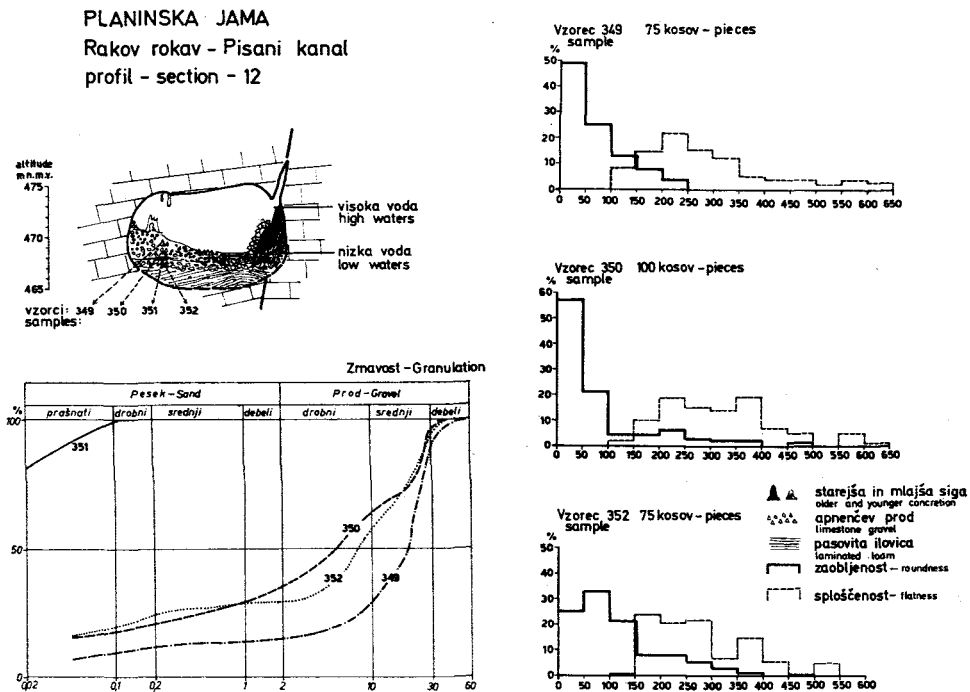
V prvi polovici so med obema stenama in ob njih številni zasipi apnenčevega proda, med njimi pa posamezna 1—3 m globoka jezera v 20 m širokem in 7 m visokem kanalu. Ob najbolj ugodnih pogojih za opazovanje pa nismo nikjer z gotovostjo videli skalnega dna kanala (tab. 12 A).

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 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> profiles



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

Fig. 19. Planinska jama, the Rak Branch at 12<sup>th</sup> 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. Pavlovec. 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

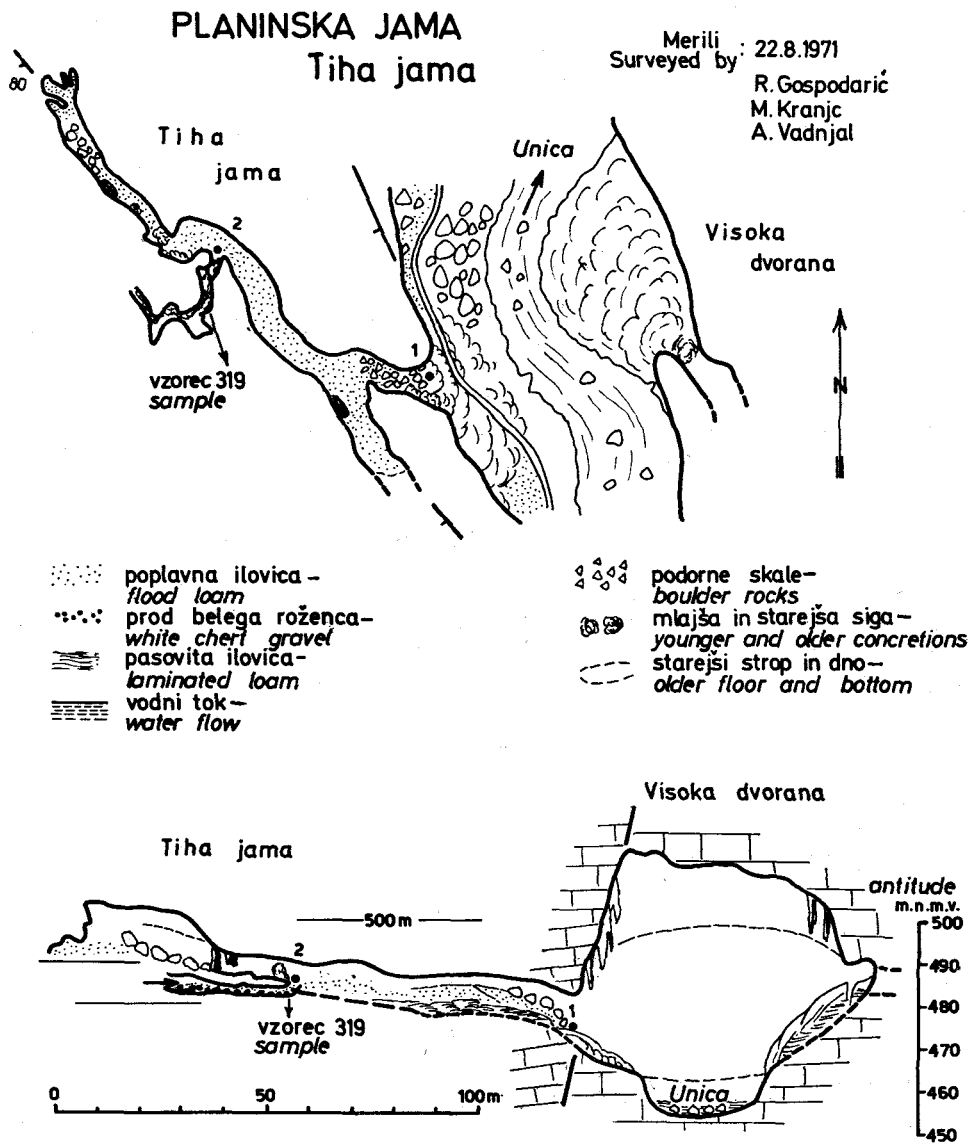
Za Sotočjem se rov razširi v Visoko dvorano (sl. 20), 60 m visok in širok prostor z dvema rovoma v višini njegovega srednjega, najširšega dela. Prvi rov ob desni strani je zasigan in zasut z mlajšo pasovito ilovico, drugi rov ob levi steni pa je 180 m dolga Tiha jama s poplavno ilovico in prodrom belega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

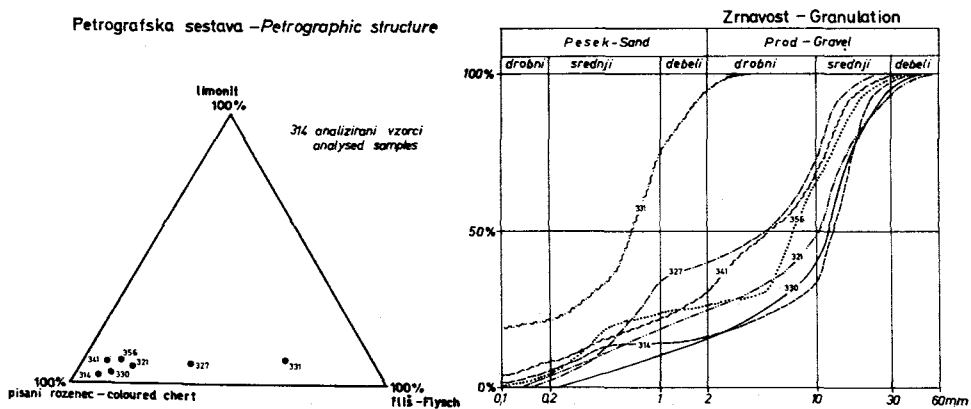
Med avtohtonimi sedimenti poznamo več generacij sige, črno Mn prevleko in podorne skale.

#### 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 trdnjšega, 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. Z e u n e r 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. B ö g l i (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. R e a m s (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 Walesh Spring Cave (1968, 52) naštel 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. W o l f e (1973).

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



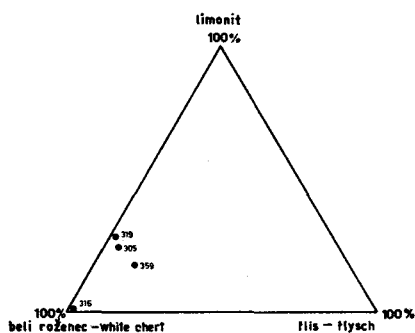
z ugotovitvijo, da starejša pasovita ilovica govori za neko akumulacijsko obdobje v razvoju jame, ko se skalni rovi niso širili in poglobljali, pač pa konzervirali. Umirjene hidrološke razmere v dotočnem podzemlju pa so bile nujno povezane s pritočnim zaledjem v Pivški kotlini, saj je od tam prihajala 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.

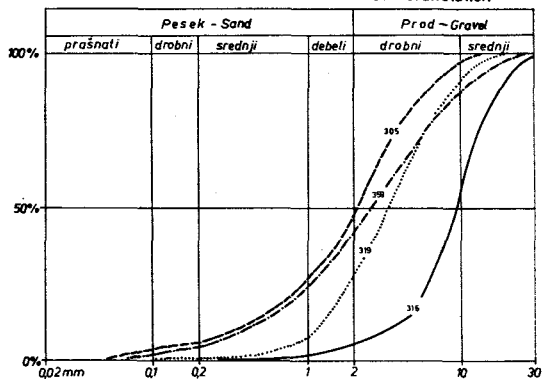
### Prod belega roženca

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. Ostanki naplavine so ob skalnih zajedah mlajših rovon 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.

Petrografska sestava - Petrographic structure



Zrnavost - Granulation



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

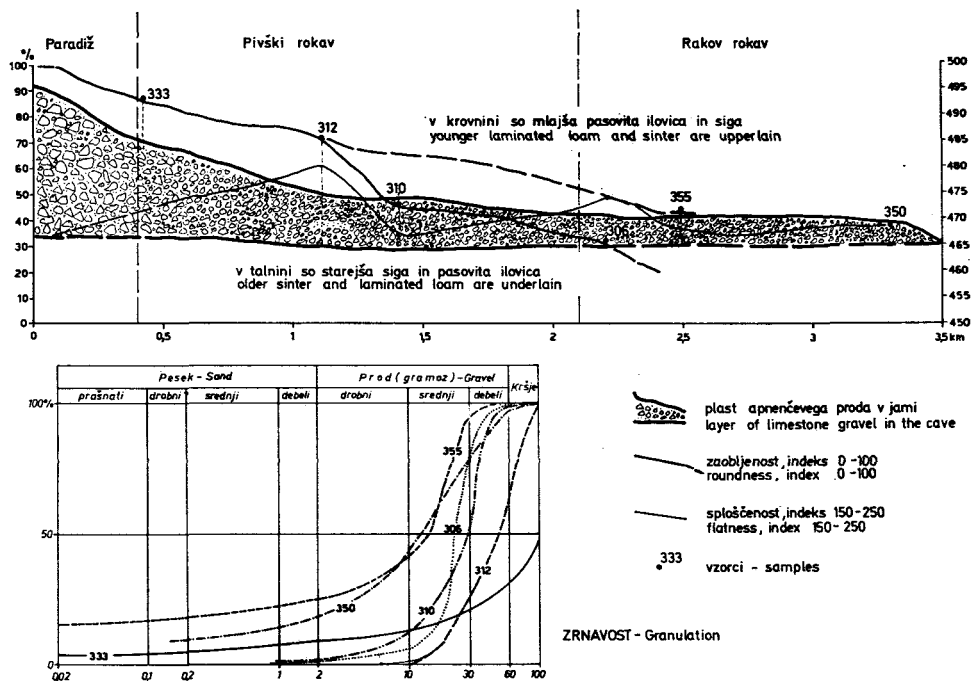
Analize so pokazale, da ima ta naplavina okoli 50 % drobnega in 10—40 % srednjega proda, ostalo pa je pesek (sl. 23). Prodniki so iz belega in svetlosivega roženca. Zelo zaobljeni imajo rjavkastordečo površino, a tudi delno preperel limonitiziran zunanji ovoj. Dva zbruska prodnikov iz Katernovega in 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 spongij, 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 vhomom.

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 zrnatom 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 zbruske apnenčevih kosov in v njih našel sledečo mikrofavno cenomanijske starosti:

Species	R	P
? <i>Aeolissacus</i> sp.		?
<i>Bacinella irregularis</i> R a d o i č i ć		+
? <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.	+	+
Miliolida 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 mikrofosil  
? = 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 zaledja 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 iztoka 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 rovov 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 poplavljeno.

#### 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 »<sup>14</sup>C in <sup>3</sup>H Laboratorium Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung« v Hannoveru, s pomočjo dr. D. Forda in R. Harmonna 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  $8205 \pm 355$  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  $9735 \pm 285$  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 grušča 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	$^{14}\text{C}$ 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, pravitako 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  $^{14}\text{C}$  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  $^{14}\text{C}$  metodo nismo mogli opredeliti, a ležijo pod apnenčevim gruščem. 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 $\pm$ 1 m, strmec 10 ‰ Rak: gladina $\pm$ 4 m, strmec 3 ‰	poglobljeno skalno dno, odplavljanje sedimentov, sekundarno višanje stropa	erozija
poplavna ilovica	črna Mn prevleka podori	sifon Javorniškega toka, Rak: gladina $\pm$ 4 m, strmec 8 ‰ Pivka: gladina $\pm$ 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?		akumulacija
prod belega roženca	?	tok ponornic v zgornji etaži jame nad 470 m	novi rovi v skali in starejših sedimentih	erozija
starejša pasovita ilovica	?	nihajoča gladina ponornice Pivke po vsej jami	jama zasuta do višine 470 m	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	zasipi proda po dnu in stenah v Pivškem rokavu, oblikovanje skalnega rova Rakovega rokava in nižje etaže Pivškega rokava	erozija

Pod spektrogramom se je pokazalo, da je snov prevleke sestavljena iz Mn, Fe in Si kot poglavitnih prvin, vezanih verjetno v oksidih kot za sestavo podobnih prevlek v jamah meni H. Trimmel (1968, 59). Avtor navaja, da prevleke nastajajo s posredovanjem bakterij *Leptothrix ochracea* Kütz in *Leptothrix crassa* Chol, 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)

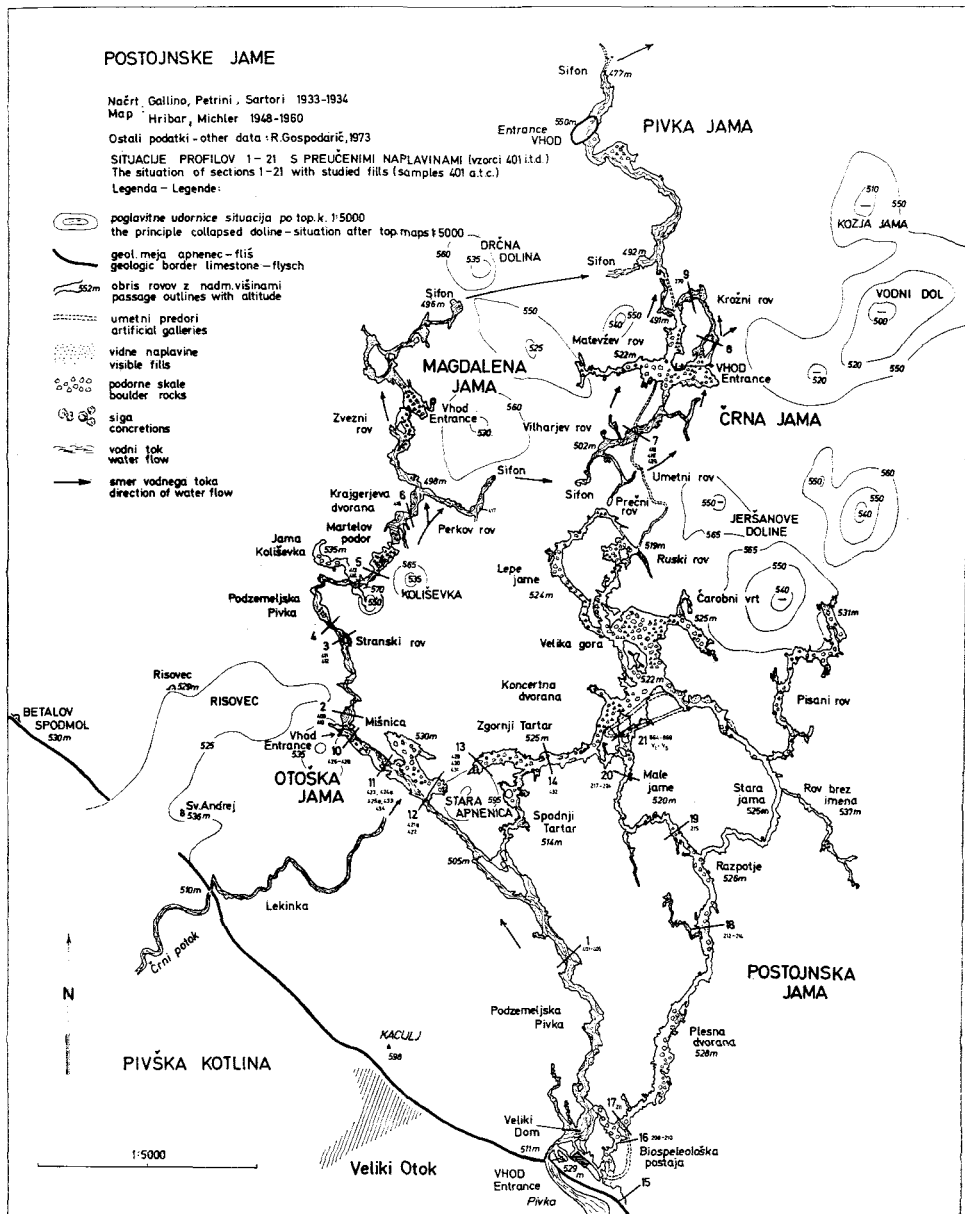
Dolžina 16 500 m,  
nadmorska višina ponora 511 m,  
jamski sistem z vodnimi in suhimi rovi.

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. Schaffenratha (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. 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 rofov 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 rofov, 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

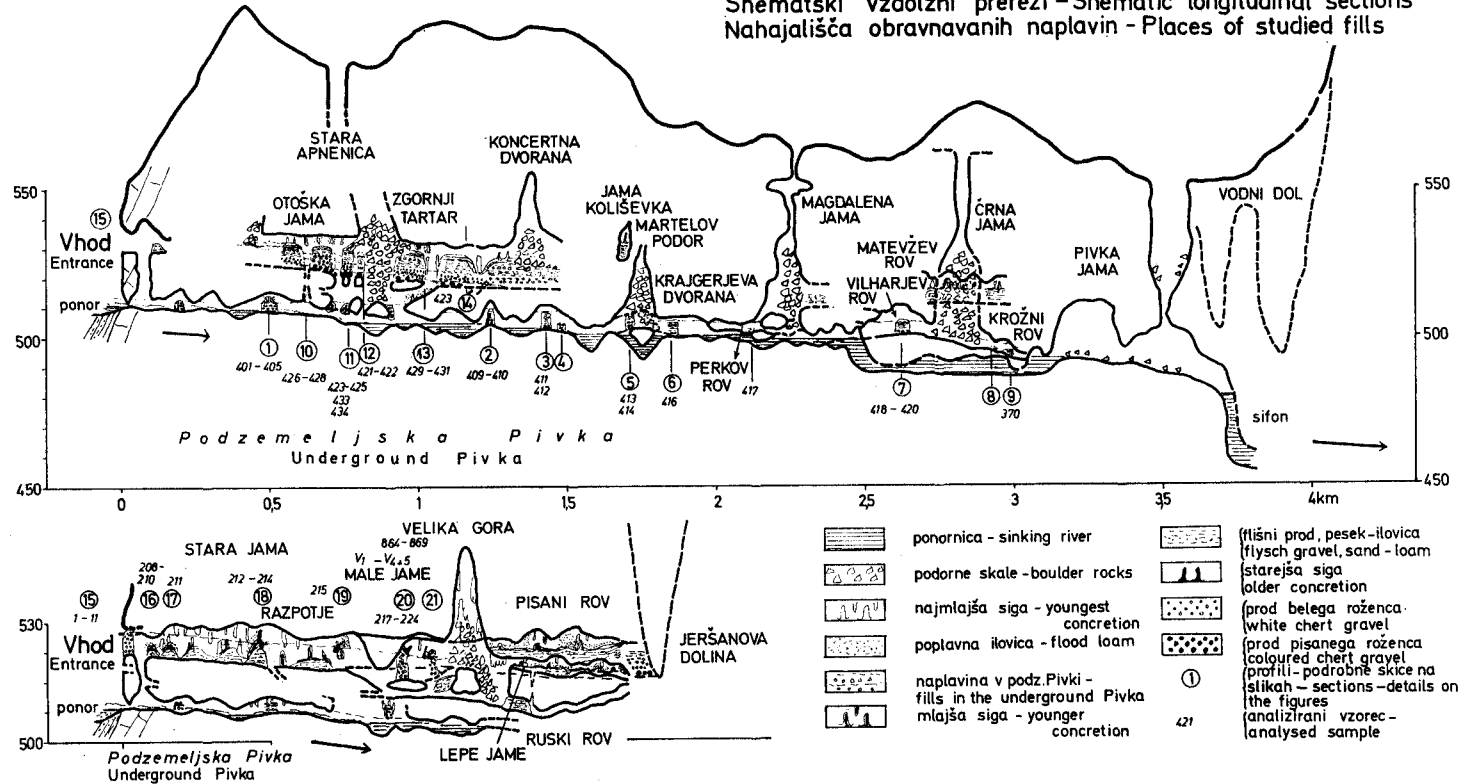
### SEDIMENTI V PODZEMELJSKI PIVKI

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 šrafiranega 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 rofov 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). Označe barv smo našli v barvni lestvici za prst M u n s e l l 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. M a r t e l (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.

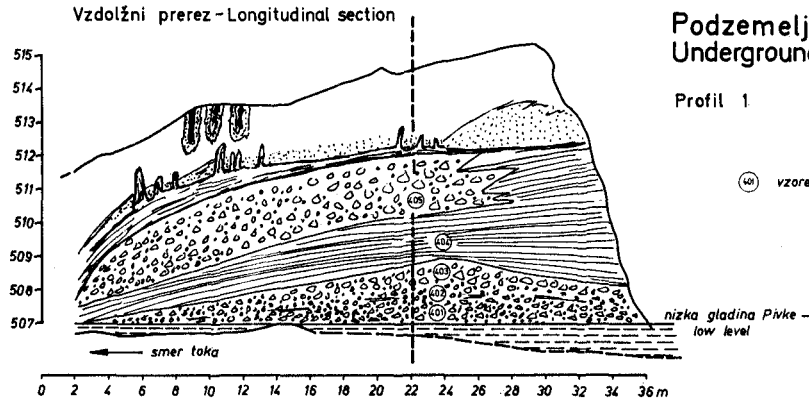
Obravnavane naplavine so zelo podobne tistim pri profilu 1. Zelo izrazita je na višje ležečem skalnem dnu odložena plast vzorca 410 z malo apnenca in roženca, a več kremenovega peščenjaka, ki je morda v profilu 1 skrita pod gruščem. Delno različna petrografska sestava in debelina posameznih plasti pa 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).

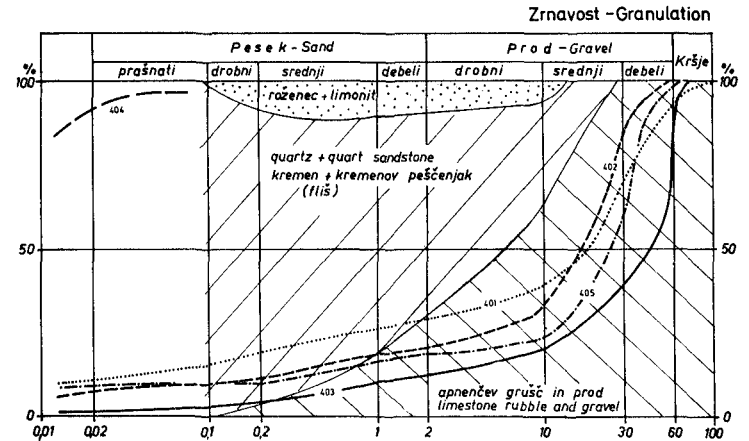
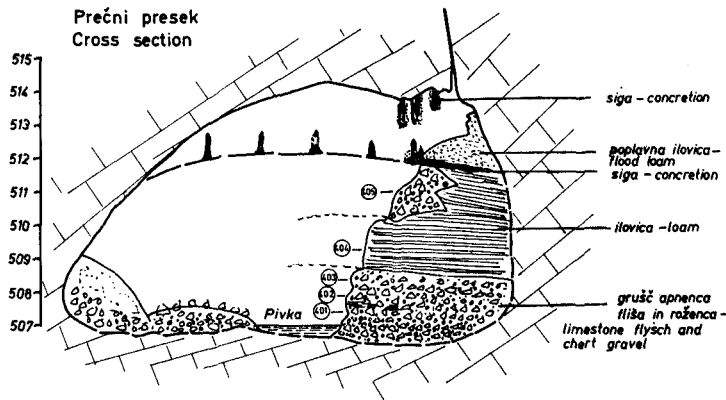
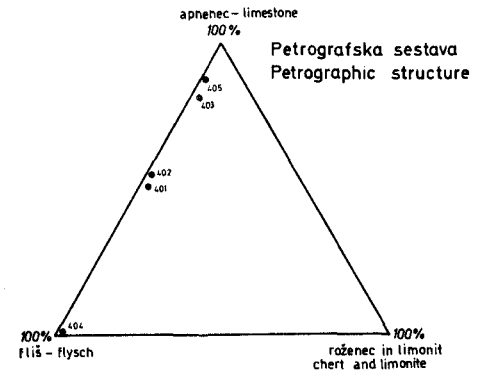
# POSTOJSKE JAME

## Podzemeljska Pivka Underground Pivka

Profil 1



○ 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 1<sup>st</sup> 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 grušča, peska, grušča 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. Prodniki 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.

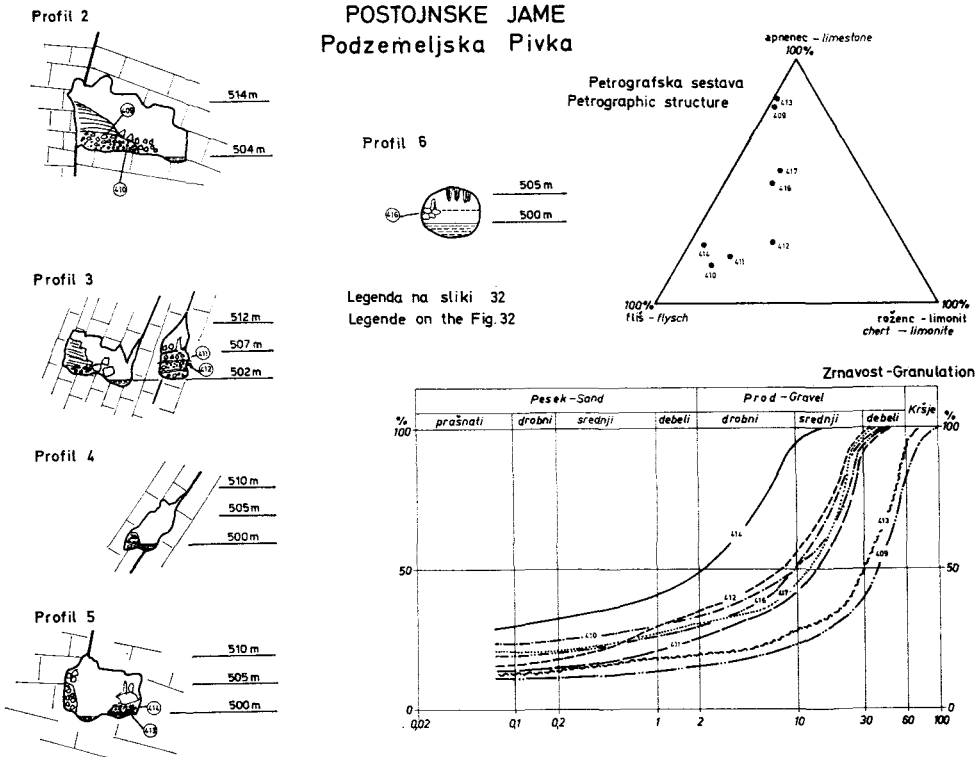
Pestra zrnavost naplavin kaže, da je ponornica pred podorom in ob njem delno zastajala; v glavnem je odtekala skozi nižji skalni rov v nadaljnji širši prostor — Krajgerjevo dvorano. Vanjo je kotalila skale nastajajočega podora. Te so skupaj z alohtonim sedimentom ohranjene v zasipu po tukajšnjem dnu.

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 počrnjen. 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 zrnivosti 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 granulometry 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.

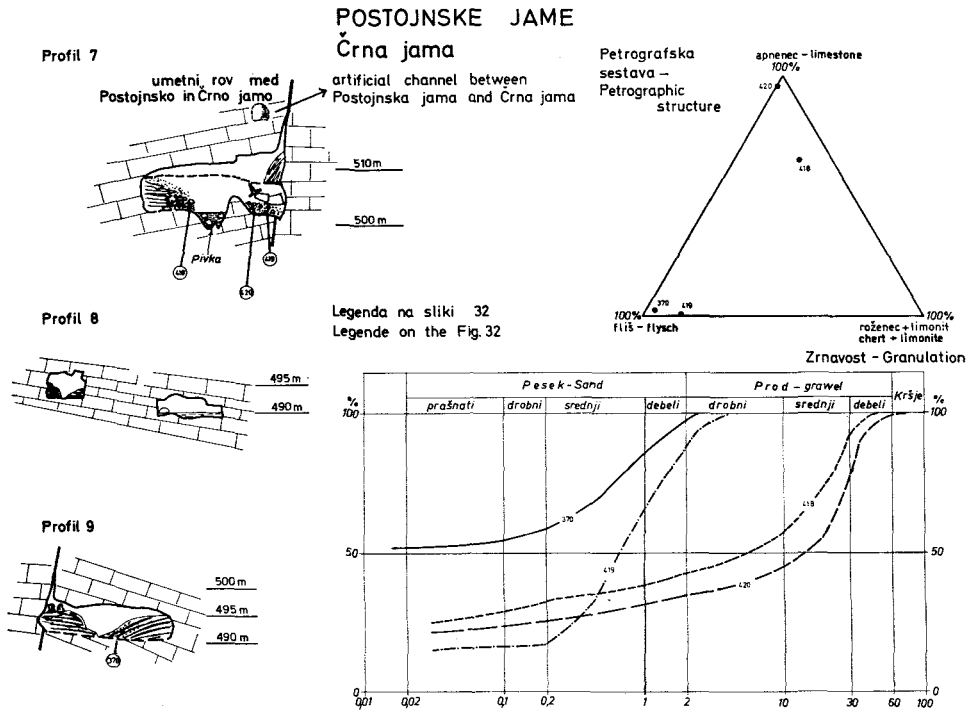
Perkov rov ima na skalnem dnu, ki je višji za meter do dva od onega na koncu Krajgerjeve dvorane, 4 m visoke zasipe. Na skalnem dnu je največ proda in peska (vzorec 417) iz ploščnatih, zaobljenih kosov rjavosivega apnenca, ki je po numulitih soodeč paleogenski, nadalje iz kremenovega peščenjaka, kremenca 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.

## SEDIMENTI V ČRNI JAMI

Črna jama ima Matevžev rov, del Krožnega rova in vhodno dvorano ter vodna Vilharjev rov in del Krožnega rova, kjer se pretaka Pivka.

Vilharjev rov dosežemo pod južnim pobočjem podornega stožca vhodne dvorane Črne jame. Sprva je prehodni prostor nizek in delno zasigan, ko pa se razširi vidimo, da smo se poprej plazili pod stropom prav takega, vendar še zasutega rova. Nekdanji Vilharjev rov je torej bil usmerjen naravnost proti Črni jami, kjer se je križal z višje ležečim Matevževim rovom. Na križanju je nastala današnja vhodna udornica.

Ob stenah in po skalnem dnu v osrednjem delu Vilharjevega rova so do 6 m visoki bregovi naplavin pokriti s sigo in podornimi skalami. Pri profilu 7 (sl. 29) so pod sigo delno sprijeti ostrorobi kosi apnenca, rdečkaste sige in roženca ter pesek kremenca, peščenjaka in limonita (vzorec 418). Kosi sivega in poroznega roženca so prav takšni kot njih gomolji v apnencu pri sklepu Perkovega rova. Roženec je torej transportiran na majhno razdaljo skupaj s kosi apnenca, ki



Sl. 29. Postojnske jame, Podzemeljska Pivka v profilu 7, 8 in 9; diagrama petrografske sestave in zrnivosti analiziranih vzorcev (370, 418—420)

Fig. 29. The Caves of Postojna, the Underground Pivka at 7<sup>th</sup>, 8<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> profiles; the diagrams of the petrographic structure and granulation of the analysed samples (370, 418—420)

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 sprjetega 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 niže 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 ilovnatoga 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 pobljže ukvarjal S. Brodar (1951). Iz dveh plitvih izkopov je analiziral sedimente. V udrtini, kmalu za današnjim, l. 1893 odkopanim 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 3/4 kalcijevega karbonata, 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 rovoev kaže, da more biti v suhem rovu največ 10 m naplavin, njegovo skalno dno pa v višini okoli 517 m.

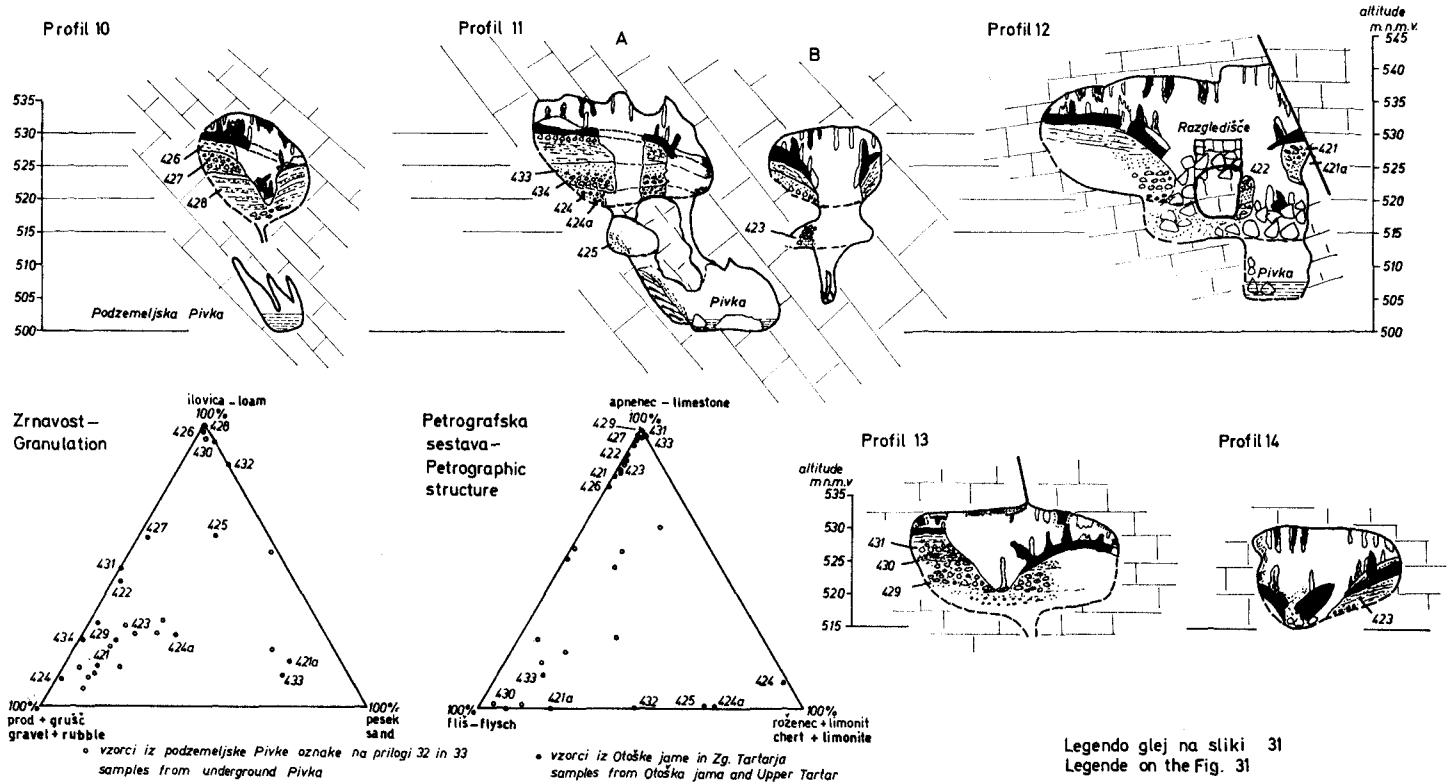
Nadaljnji udrtini (profila 11 A in 11 B) sta blizu Razgledišča v osrednjem delu Otoške jame. Zanju S. Brodar (1951, 210) meni, da se poglobljata do Podzemeljske Pivke na 504 m in da imata ohranjen okoli 25 m debel naplavinski zasip. Pri pregledu obeh udrtin in tudi rova Podzemeljske Pivke pod njima smo 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 cevok.

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

POSTOJSKE 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 10<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup>, 12<sup>th</sup>, 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> 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, kremenca 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 kremenca in rdečega preperelega 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 vzorcju 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 zarisan 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 kremenca 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). Zrnavost 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 Podzemeljske Pivke**

V Podzemeljski 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 zrnivosti 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 petrografske 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 višje ležečega rova in odnašala tamkajšnje naplavine, ki jih je ponornici 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 HOPELOM PRI POSTOJNSKI JAMI

(slika 32)

Leta 1969 so pri izkopu zaseka za hotelsko poslopje nasproti Modrijanovega mlina 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 kongrecij  $\text{CaCO}_3$ , 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.

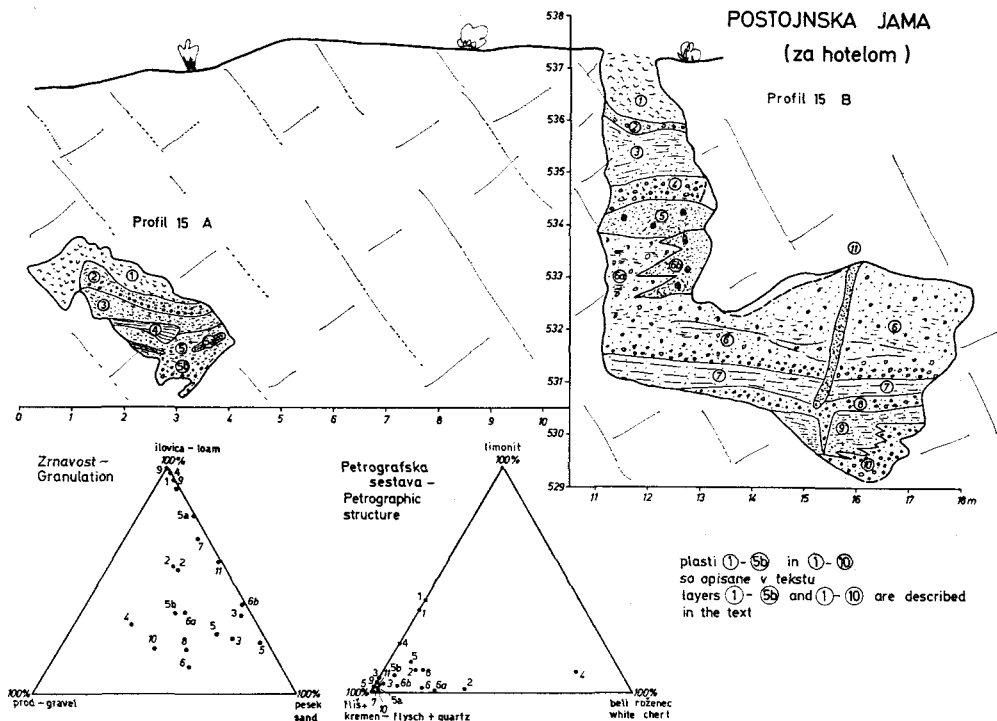
**Plast 2** pokriva zopet le del profila. Sredi golice je pol metra debela, proti desni steni pa se stanjšuje. Leve stene ne doseže, ker se zaključi pravokotno nad plastjo 3. To je ilovica (57 %) s peskom (29 %) in prodom (14 %). Proda je več v spodnjem, peska pa več v zgornjem delu plasti. Prod sestavljajo 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 cevke 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 kaminiu.

### 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 nepreperlega 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 %). V produ 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 na 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 kongregacije, 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 %  $\text{SiO}_2$ , 2,76 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in 4,53 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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. Worldstedt (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. Zrnivost je močno podobna zrnivosti vzorca 5, petrografsko 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 poštev 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, zapoljenih 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 prekristalizacija 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 cevki iz analiziranih vzorcev in jih primerjamo z limonitnimi cevkami, 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 krovnih 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 sedimentacijskemu 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 POSTOJNSKI JAMI

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

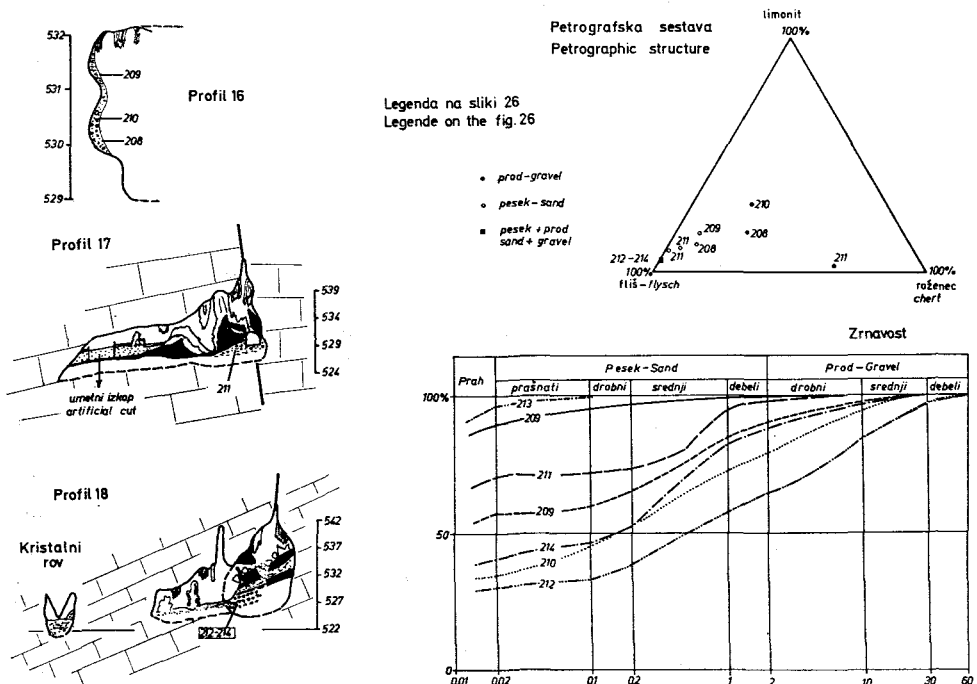
V umetnem rovu za začetno postajo jamske železnice je bilo v živi skali nekaj kotanj zapolnjenih z naplavinami in avtohtonim gruščem, ki jih je delno že opisal S. Brodar (1966, 93—112). Pred iztekom predora v glavni rov Stare jame so zadeli na zasuto kotanjo, ki verjetno spada k prostoru bližnje Bio-

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. V produ 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 zrnivosti analiziranih vzorcev naplavin (208—210, 211, 212—214)

Sl. 33. Postojnska jama; Stara jama at 16<sup>th</sup>, 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> 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, cevki in delcev skorje. V pesku so podobne sestavine kot vrodu. 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:

- srednjedebele in ostrorobat grušč sprijet s sigo;
- rdečo ilovico z apnenčevim gruščem in odkruški sige. V ilovici je polovica zrn  $\text{CaCO}_3$ , 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 %  $\text{CaCO}_3$ , 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 niže.

### **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%  $\text{CaCO}_3$ , 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 poglabljala 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 ogletega 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 zajede; kažejo na nekdanje pobočje nasipnega griča, ki je nastajal ob boku poglavitne vodne struge. Plasti imajo naslednjo zrnatost in petrografsko sestavo:

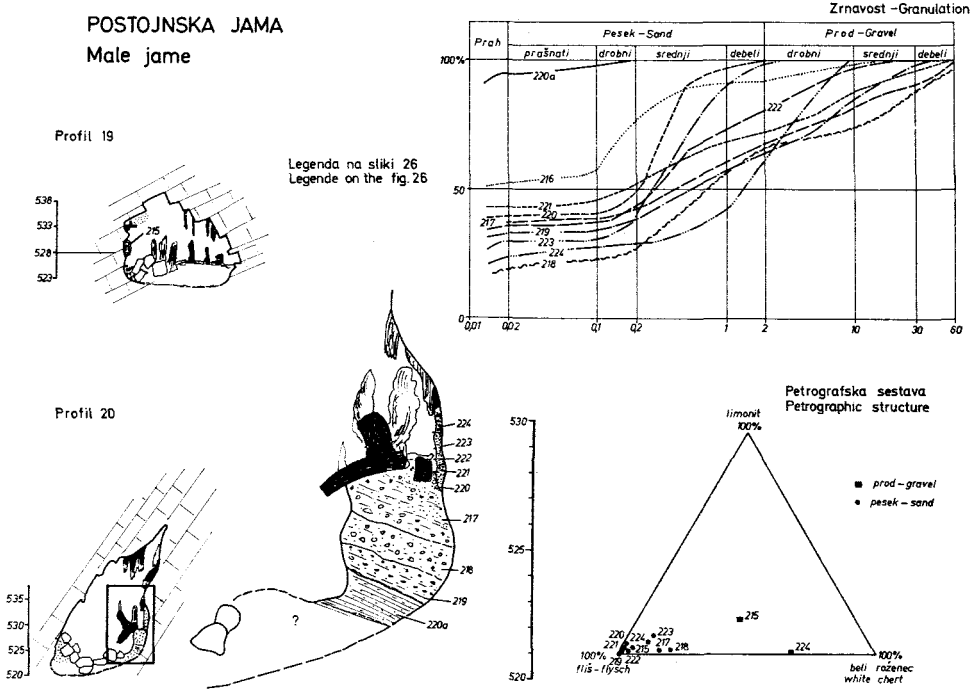
Plast 220 a ima rjavorumeno pasovito ilovico s 5 % peska, večinoma iz peščenjaka, a tudi zaobljenih zrn kremenca.

Plast 219 je debela skoraj meter. Od spodnje ilovice jo jasno loči črna manganizirana progca. 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 ilovnatoga 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 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> 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 krovtnini.

Plasti 221 in 222 sta v krovtnini in imata pesek (28 % in 43 %) z ilovico (44 % in 37 %) in prodom (28 % in 20 %). V prodju 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 v<sub>4+5</sub> 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 % proda, kar ju uvršča med tiste plasti, ki so pri doslej obravnavanih najbolj prodnate. V produ 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 podoben produ 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.

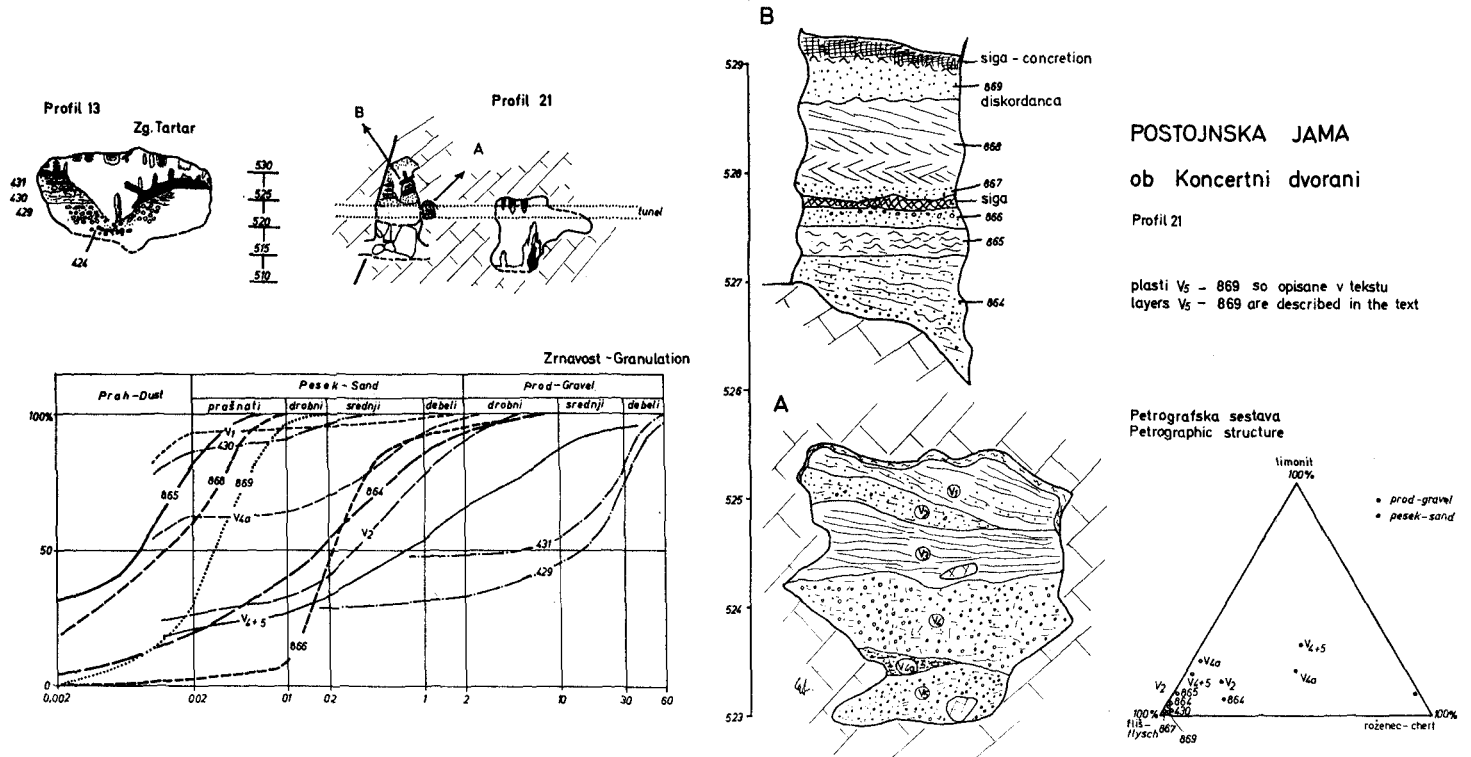
V profilu 21 a je torej ohranjena spodnja prodnata plast in zgornja ilovnata plast, obe sta prekinjeni z vložkom naplavine drugačne zrnavosti. Pri odlaganju spodnje plasti je tekla voda s hitrostjo najmanj 1 m/s, pri zgornji plasti pa je skoraj mirovala, le enkrat se je vmes pojavil tok s hitrostjo najmanj 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 % proda. Prod ima zaobljene kose peščenjaka in laporja, limonita in roženca je 10 %. Sestava je zelo podobna plasti  $V_2$ . Krivuljo zrnavosti vzorca 864 lahko dopolnimo z analizo ilovice, ki jo je opravila B. Neblöva (1967) na freiberški univerzi. Krivulja enakomerno pada v področje melja, čiste glinje 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



Sl. 35. Postojnska jama, rovi ob Koncertni dvorani ob profilih 133 (glej tudi sliko 30), 21 A in 21 B s stolpcema sedimentov ter diagrama petrografske sestave in zrnavosti analiziranih vzorcev (864—869,  $v_1$ — $v_5$ )

Fig. 35. Postojnska jama, the galleries near the Concert Hall at 13<sup>th</sup> (see the fig. 30), 21<sup>st</sup>A and 21<sup>st</sup>B profiles with sediments columns and the diagrams of petrographic structure and granulation of analysed samples (864—869,  $v_1$ — $v_5$ )

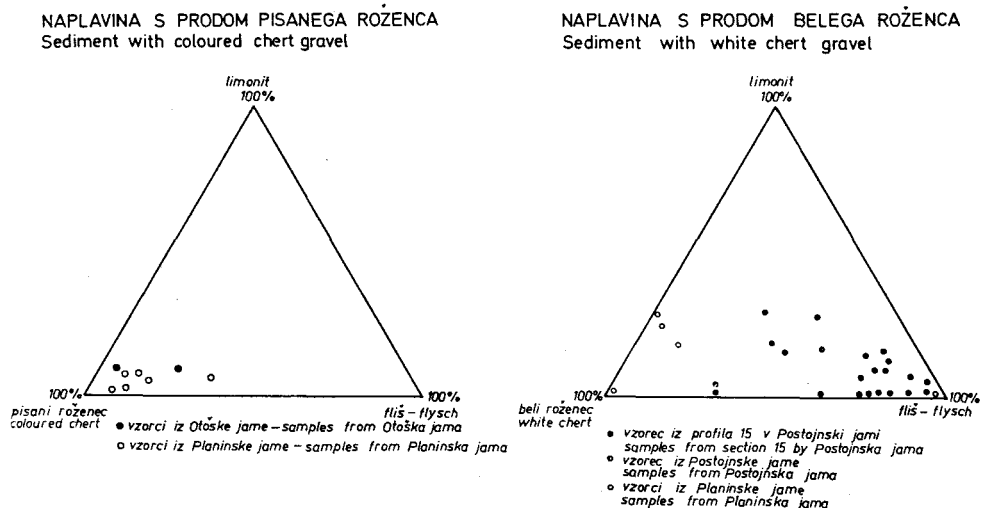
frakciji vzorca 866 je največ zrn kremenca in peščenjaka. Ilovice je le 3,5 ‰, v njej pa je B. Neblova spoznala 0,5 ‰ karbonata in 0,4 ‰  $P_2O_5$ . Najbolj izrazita frakcija peska (0,5—0,1 mm) pove, da se je odlagala plast ob največji hitrosti 5 cm/s, prodniki pa, da se je navzgor hitrost povečala. 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 ‰ prašatega 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 rovov. 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 dnem 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).



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 petrografske mnogo manj mešane naplavine vsaj kar zadeva roženec, kot pa smo jih lahko ugotovili. Kaže torej stratigrafsko razlikovati obojni naplavinini 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 sigo, 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			riss-würm
		prod in pesek belega roženca	grušč		akumulacija	riss
		prod pisanega roženca	?		erozija	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 prepererelega flišnega proda, peska in ilovice ter limonita na skalnem dnu pri vhodu 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 zasnovami 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 prodrom 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 naplavljenjo 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 kremenca 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.

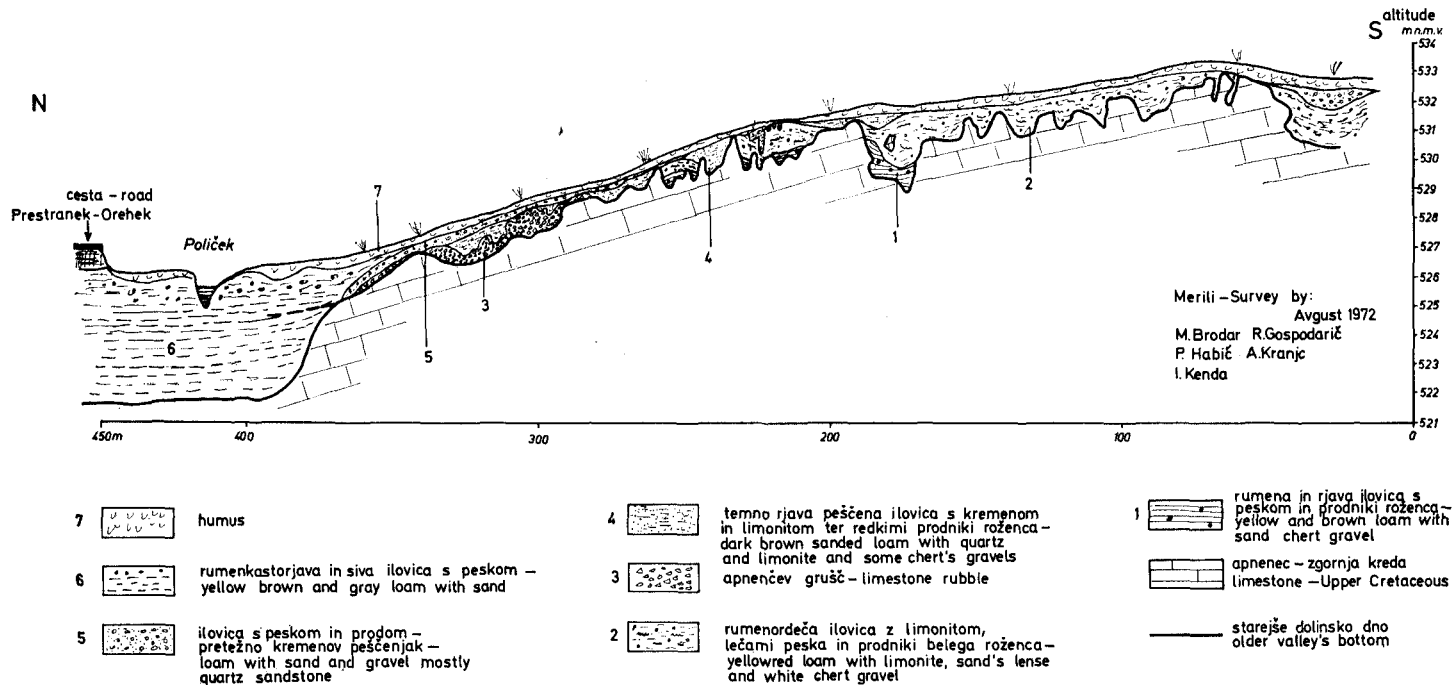
Jamske naplavine so torej sestavljene iz primarnih in sekundarnih površinskih sedimentov. O njih je iz Pivške kotline doslej le malo objavljenih profilov, dosti več je domnevanega na podlagi razširjenosti jamskih sedimentov v obrobem krasu (S. Brodar 1951; 1952; 1966; 1970; F. Osle 1968).

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 krioturbarcije.

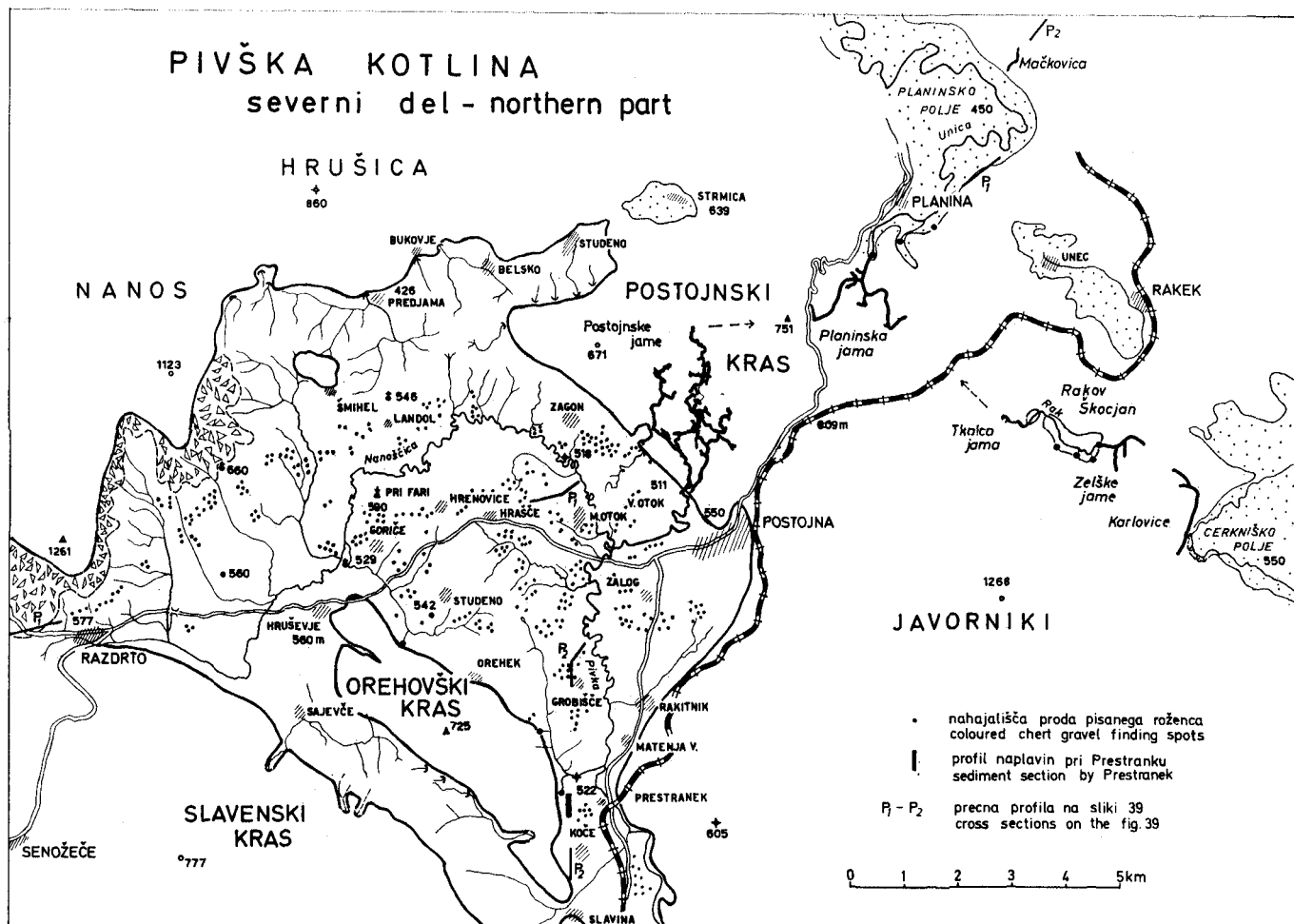
3. sediment — apnen grušč — leži domnevno na skalni podlagi v nižjem delu profila med 527—529 m. Grušč izhaja iz skalne podlage nekdanjega pobočja ali nagnjene skalne terase. Tudi njegova zgornja meja je povita žepasto. Ker se grušč direktno ne stika s sedimentom št. 2, je možno njuno stratigrafsko razmerje 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 naplavinu 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. W o l d s t e d t (1961, 158, 306) označuje take krioturbarcijske 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 zmrzitev v nekem glacialu. Prvi glacial, ki pride v poštev je riški, kajti v würmu po mnenju A. Š e r c l j a (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.



Sl. 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 Sajeveč, 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 proda 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:

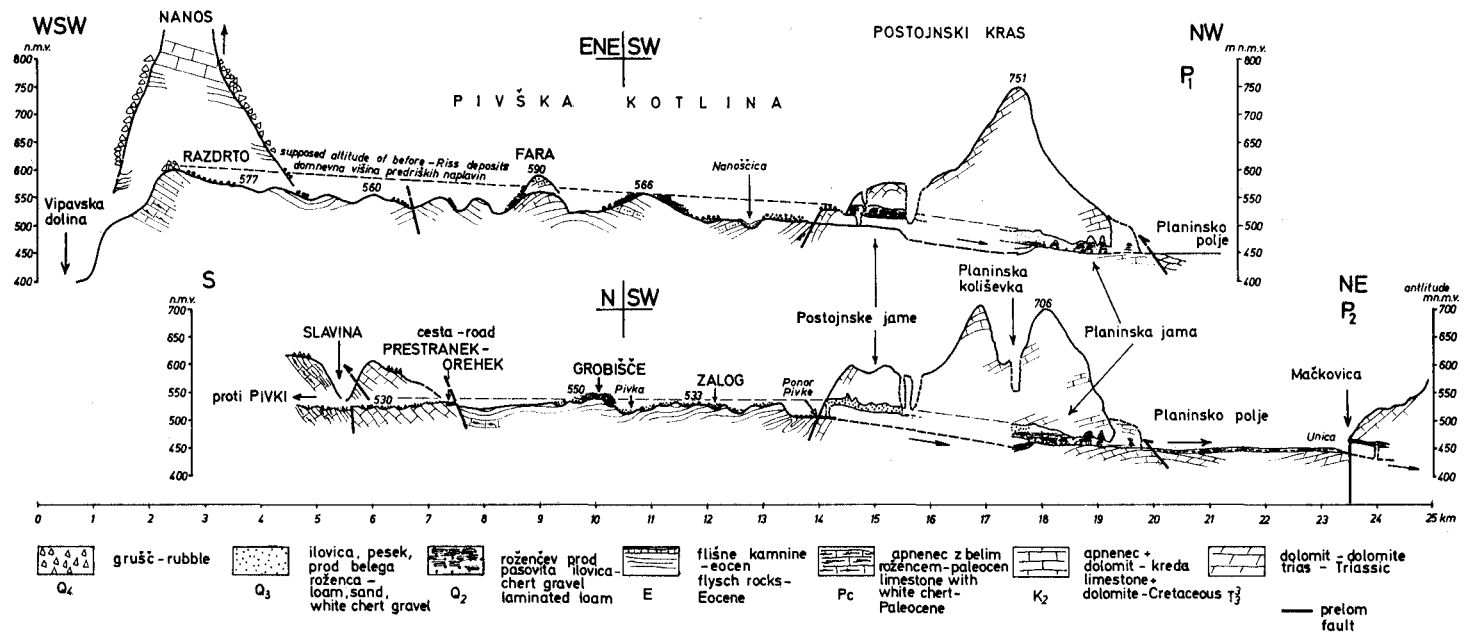
- 62,2 % roženca,
- 14 % tufa,
- 6 % kvarcita,
- 5,8 % kremenina in
- 2,0 % opala ter
- 10 % drugih kamnin.

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 začrtali na prečnem profilu slike 39 na podlagi do danes ohranjenih in ugotovljenih nahajališč med Razdrtim 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 rovvov.



Sl. 39. Pivška kotlina, Postojnski kras in Planinsko polje ter vmesni Postojnski jamski sistem: vzdolžna geološka profila z nahajališči kvartarnih sedimentov (proda pisanega roženca in proda belega roženca) in domnevno višino predriške in riške akumulacije

Fig. 39. The Pivka Basin, the Postojna Karst, Polje of Planina and among them lying Postojna Cave System; longitudinal geological profiles with quaternary sediments findingplaces (coloured chert gravel and white chert gravel) and supposed altitude of before-Riss and Riss accumulation

### O IZVORU PRODA BELEGA ROŽENCA

Fluvialna naplavina s prodrom 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 kotlinu 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 JAMSKEGA SISTEMA

#### SKUPNE IN RAZLIČNE NAPLAVINE

Analize sedimentov iz Planinske jame in Postojnskih jam kažejo na alohtone naplavine, ki so po vsem sistemu stratigrafsko in petrografsko 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 nanсени v podzemlje. Zaradi velike trdote tudi ni pričakovati, da bi se pri okoli 5 km dolgem transportu kaj prida 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 izvirov 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 izvirov v Planinski jami pa v drobnejši frakciji. Zaobljenost kosov je večja pri izvirov 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 rovov 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 pestre 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, petrografske 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 poglobljanjem 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	sigla, 8000 b. p. podiranje kapnikov posedanje tal izpiranje naplavin		poglabljanje dna v skalo do 450 m na izviru, skalne stopnje črna Mn prevleka	sigla, podiranje kapnikov posedanje tal izpiranje naplavin		holocen
8	sigla	sigla, 12 000 b. p.		sigla	sigla		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	sigla, 40 000 b. p.		sigla	sigla		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 sigla, rdeča ilovica		sigla, 80 000 b. p.	sigla		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

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 rovov, 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 sedimentirane 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 rovov 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 poglabljala najbolj pred iztekom na Planinsko polje.

10. razvojna stopnja se kaže v današnjih razmerah v eroziji vodnih rovov, 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 ( $^{14}\text{C}$ ) 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. Franke in M. Geih (1971) ter R. Gospodarič (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. Grossovi (1964) paleotemperaturni krivulji označen kot götweigški. Od najmlajše sige se razlikuje po rdečkasti barvi in po motni, korodirani in erodirani površini. Analiza  $^{14}\text{C}$  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 verjefna.

Interstadialna siga, ugotovljena s paleolitskimi podatki S. Brodarja (1966) in analizami  $^{14}\text{C}$  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 petrografske enakovrednih 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. Osole (1961, 468). V plasteh, ki so preoblikovane s procesi krioturbacije, nastopajo rdeča ilovica in grušč, dosti železomanganskih konkrecij ter flišni prodniki in pesek. Vsepovsod 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 oblice 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 poglavitnega 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 Ljubljaniče 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 greznanje 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 Ljubljaniče. 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 Cerkniskem 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 Cerkniskem 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 kotlinjo 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 dosedanji 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 nezanih rovov v Postojnskem krasu in v krasu porečja Ljubljani, kjer je obilo udornic. Več možnosti za odkritje dostopnih rovov 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 rovov 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 svetlejši in temnejši 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 (Brodelsboden), 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 zrnivosti 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 dosedanem 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 rovov v krasu prevladovalo nad akumulacijo sedimentov.

Prav malo smo mogli povedati o oblikah in razporeditvi začetnih podzemeljskih rovov 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 kotlinjo, 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 ostan-  
kov pa skoraj ni ohranjenih, bo podrobno preučevanje jamskih sedimentov, nji-  
hove stratigrafije in primerjanje s površinskimi sedimenti še vedno dalo naj-  
boljše 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 discove-  
ries, galleries descriptions and different investigation works. The geological (F. Koss-  
mat 1905; 1916), paleontological (I. Rakovec 1954; 1973), hydrographic (F. Habič  
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 vast underground with difficult access and on laboratory sediments investigations. The investigation methods, known by the literature (H. Riedl 1960; 1961; 1963; H. Trimmel 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 Chemospherinae, Hyppurites Giordani Pirone 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. Habec 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. Mühlhofer (1933), I. Michler (1955), R. Savnik (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 (9<sup>th</sup> 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 10<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup> 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 12<sup>th</sup> 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 $\pm 1$ m, fall 10 ‰ Rak: water level $\pm 4$ 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 $\pm 4$ m, fall 8 ‰ Pivka: water level $\pm 8$ 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 allothonomous 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 succeed, 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. Pavlovec 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  $^{14}\text{C}$  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 1<sup>st</sup> 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 POSTOJSKA 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

Analytic 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	Lower Würm
			red loam	sinter	erosion	
			white chert gravel and sand	rubble	accumulation	Riss-Würm
			coloured chert gravel	?		Riss
			rocky galleries at 530 m.		erosion	Middle Quaternary



1<sup>st</sup> 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.

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

3<sup>rd</sup> 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.

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

5<sup>th</sup> 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.

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

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

8<sup>th</sup> development phase: Postglacial flowstone.

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

10<sup>th</sup> 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 Cerknjsko 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.		sinter, 12 000 b. p.		sinter		sinter
8	sinter.		sinter, 12 000 b. p.		sinter		sinter		Postglacial
7	allothonous sediments discharge till 3 m/s		breakdown rocks, flood loam and sand		syphons origin, discharge among sediments		flood loam		Upper Würm
6	ponors at 510 m		sinter, 40 000 b. p.		sinter		sinter		Middle Würm
5	ponors at 515 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
			4 sinter, red loam		sinter, 80 000 b. p.		sinter, 80 000 b. p.		Riss-Würm
			3 rubble, ice wedges, white chert gravel, ponors at 530 m.		?		white chert gravel, recent galleries in the rock		Riss
			2 ?		older laminated loam		older laminated loam		Middle Quaternary
			1 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

- A nelli, 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. Bogan 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 Ljubljane. *Vodnogospodarska osnova porečja Ljubljane*, 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: <sup>14</sup>C Datierungen von Kalksinter aus slowenischer Höhlen. *Der Aufschluss* 22, 7-8, 235—237. Göttingen.

- G a m s, I. 1963: Logarček. Acta carsologica 3, 7—83. Ljubljana.
- G a m s, I. 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskimi, Planinskimi in Cerkljanskimi poljem. Geografski vestnik 37, 61—101. Ljubljana.
- G a m s, I. 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskimi, Planinskimi in Cerkljanskimi poljem. Acta carsologica 4, 5—54. Ljubljana.
- Geološki zavod SRS, 1967 in 1970: Geološka karta 1. Postojna 1 : 100 000 s tolmačem. Beograd.
- G o s p o d a r i č, R. 1963: K poznavanju Postojnske jame - Pisani rov. Naše jame 4 (1962), 9—16. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1964: Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postojnski jami. Naše jame 5 (1963), 5—11. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1965: Geologija ozemlja med Postojno, Planino in Cerkljano. Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, 1—40. Postojna.
- G o s p o d a r i č, R. & P. H a b i č 1966: Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline. Naše jame 81/2, 12—32. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, 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.
- G o s p o d a r i č, R. 1968: Podrti kapniki v Postojnski jami. Naše jame 9 (1967), 15—31. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1968 a: Raziskovanje Postojnske jame po letu 1818. 150 let Postojnske jame 1818—1968; založil Zavod Postojnske jame, 41—58. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1968 b: Nekaj novih speleoloških raziskav v porečju Ljubljanice I. 1966. Naše jame 9 (1967), 37—44. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1969: Probleme der Bruchtektonik der NW Dinariden. Geologische Rundsch. 59/1, 308—322. Ferd. Erke Verl., Stuttgart.
- G o s p o d a r i č, R. 1969 a: Speleološki procesi v Postojnski jami iz mlajšega pleistocena. Naše jame 10 (1968), 37—46. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1969 b: Prirodne akumulacije voda v jamah porečja Ljubljanice. Krš Jugoslavije 6, 157—174. Zagreb.
- G o s p o d a r i č, R. 1970: Speleološke raziskave Cerkljanskega jamskega sistema. Acta carsologica 5, 111—169. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1970 a: Hidrogeologija Cerkljanskega jezera in okolice. Magistrsko delo, 1—110, Arhiv Univerze v Zagrebu.
- G o s p o d a r i č, R. & E. G r o b e l š e k 1970 b: O limonitnih prodnikih na Postojnskem krasu. Naše jame 11 (1969), 83—88. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. & F. H a b e & P. H a b i č 1970 c: Orehovski kras in izvir Korentana. Acta carsologica 5, 95—108. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1972: Prvi podatki o absolutni starosti sige v Postojnski jami na podlagi <sup>14</sup>C. Naše jame 13 (1971), 91—98. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. 1974: Fluvialni sedimenti v Križni jami. Acta carsologica 6, 327—366. Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R. & R. P a v l o v e c 1974: Izvor apnenčevega proda v Planinski jami. Acta carsologica 6, 169—182. Ljubljana.
- G r o s s, H. 1964: Mittelwürm in Mitteleuropa und angrenzenden Gebieten. Eiszeitalter und Gegenwart 15, 187—198. Ochingen/Württ.
- G r u b e r, T. 1781: Briefe hydrographischen u. physikalischen Inhalts aus Krain. Izdal J. P. Kraus, 1—159. Wien.
- H a b e, F. & F. H r i b a r 1965: Sajevo polje. Geografski vestnik 36 (1964), 13—44. Ljubljana.
- H a b e, F. 1970: Predjamski podzemeljski svet. Acta carsologica 6, 5—94. Ljubljana.
- H a b i č, P. 1968: Kraški svet med Idrijo in Vipavo. Prispevek k poznavanju razvoja kraškega reliefa. Dela Inštituta za geografijo SAZU 11, 1—239. Ljubljana.
- H a b i č, P. 1969: Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. Naše jame 13 (1968), 47—54. Ljubljana.
- H a b i č, P. 1970: Geodetske meritve Rakovega rokava Planinske jame. Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, 1—14, tipkopis. Postojna.
- H o h e n w a r t, 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 Ljubljanice. *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: Načrtni odkop paleolitske postaje Županov spodmol pri Saječah. 3. faza — končno poročilo. *Arhiv Inštituta za kvartarologijo Univerze*, 1—62. Ljubljana.
- Pavlovec, 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 rdeč 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 morfo-genetskega razvoja. *Geografski zbornik* 13, 197—242. Ljubljana.
- Radinja, D. 1972 a: Senožeško 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: Morfo-genetske 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. *Gedrückt. 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.
- Šercelj, A. 1965: Paleobotanične raziskave in zgodovina Ljubljanskega barja. *Geologija* 8, 5—27. Ljubljana.
- Šercelj, A. 1966: Pelodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov. *Razprave 4. raz. SAZU* 9, 431—472. Ljubljana.
- Šercelj, 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.
- Trimel, 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.