

NEKATERE ZNAČILNOSTI KOPASTEGA KRASA
V SLOVENIJI

(Z 9 SLIKAMI)

SOME CHARACTERISTICS OF CONE KARST IN SLOVENIA

(WITH 9 FIGURES)

PETER HABIČ

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

VSEBINA

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

Izvleček

UDK 551.44 (497.12)

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

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

Abstract

UDC 551.44 (497.12)

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

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

Naslov - Address:

dr. Peter Habič

Inštitut za raziskovanje krasa SAZU

Titov trg 2

66230 Postojna, Jugoslavija

UVOD

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

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

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

GEOKRONOLOŠKA PROBLEMATIKA IN METODE DATIRANJA SIGE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RADIOMETRIČNO DATIRANE GENERACIJE SIG

Prvi podatki o ^{14}C radiometrični modelni starosti sige iz Postojnske jame in Zelških jam (W. Franke, M. Geyh, 1971; R. Gospodarič 1972) so pokazali, da imamo v teh jamah opraviti z interstadialno, postglacialno in holocensko sigo. Nadalje je bilo ugotovljeno, da je holocenska siga nastajala 10-krat hitreje kot interstadialna siga in 10-krat počasneje kot recentna siga npr. v Zelških jamah. Podrobneje analiziran stalagmit iz Jame v Grapi pri Predjami je pokazal zelo različno rast sige v klimatskih obdobjih holocena (A. Slijepčević, J. Planinić 1974).

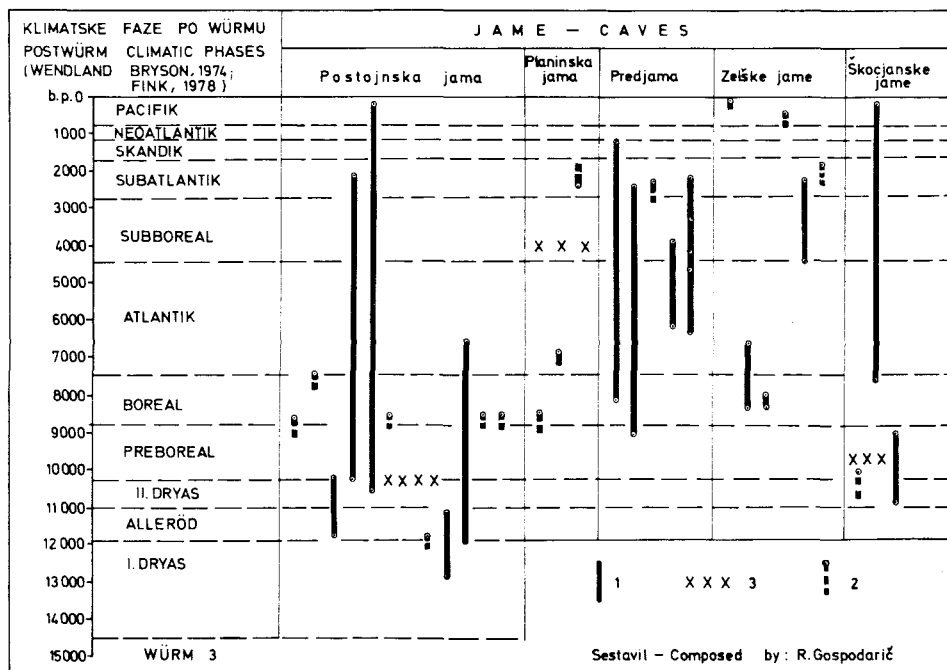
Te prve ugotovitve o več generacijah in različni starosti sige so vzpodbudile nadaljnje vzorčevanje sige še v drugih jamah klasičnega krasa. S ^{14}C metodo so bile med leti 1972–1975 analizirane sige iz Predjame, Vilenice in Škocijanskih jam, dosti vzorcev iz teh jam pa je še vedno v obdelavi predvsem z $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ metodo. Trenutno imamo doslej zbranih okrog 60 radiokarbonskih, dve ^{230}Th in štiri ESR datacije sige. Večina teh podatkov je zbranih v slikah 1 in 2.

V Postojnski jami imamo opraviti z interstadialno sigo (40.000 b.p.), ki pa je v mnogih primerih še starejša. Ugotovljena počasna rast te interstadialne sige (okrog 1 mm / 100 let) se namreč ne sklada z velikostjo stalagmitov in stebrov ter njihovo večplastno sestavo, pa tudi ne s starostjo flišne ilovice, med plastmi sige, s katerimi so občasne poplave prekinile avtohtono sedimentacijo. Ogromni kapniki so večinoma sestavljeni iz več generacij sige, med katerimi je tista v jedru najbolj verjetno interglacialna (R/W), lahko pa tudi iz riškega interstadiala ali mindel-riškega interglaciala kot dajo slutiti radiometrične analize z ESR metodo.

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

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

V Planinski jami poznamo radiometrično ugotovljeno riško-würmsko interglacialno sigo v kapnikih, ki so ponekod v višje ležečih rovih lahko neprekinjeno rastli skoraj do zadnjega würmskega stadiala, drugod, v nižje ležečih rovih pa je jamska reka z naplavljenim apnenčevim gruščem prekinila njihovo rast v starejšem würmu in v zadnjem würmskem stadialu. V holocenu pa gladina podzemeljske reke ni več tako močno varirala; siga se je lahko odlagala v suhih predelih sicer vodnega rova. Za razliko od Postojnske jame,



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

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

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

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

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

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

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

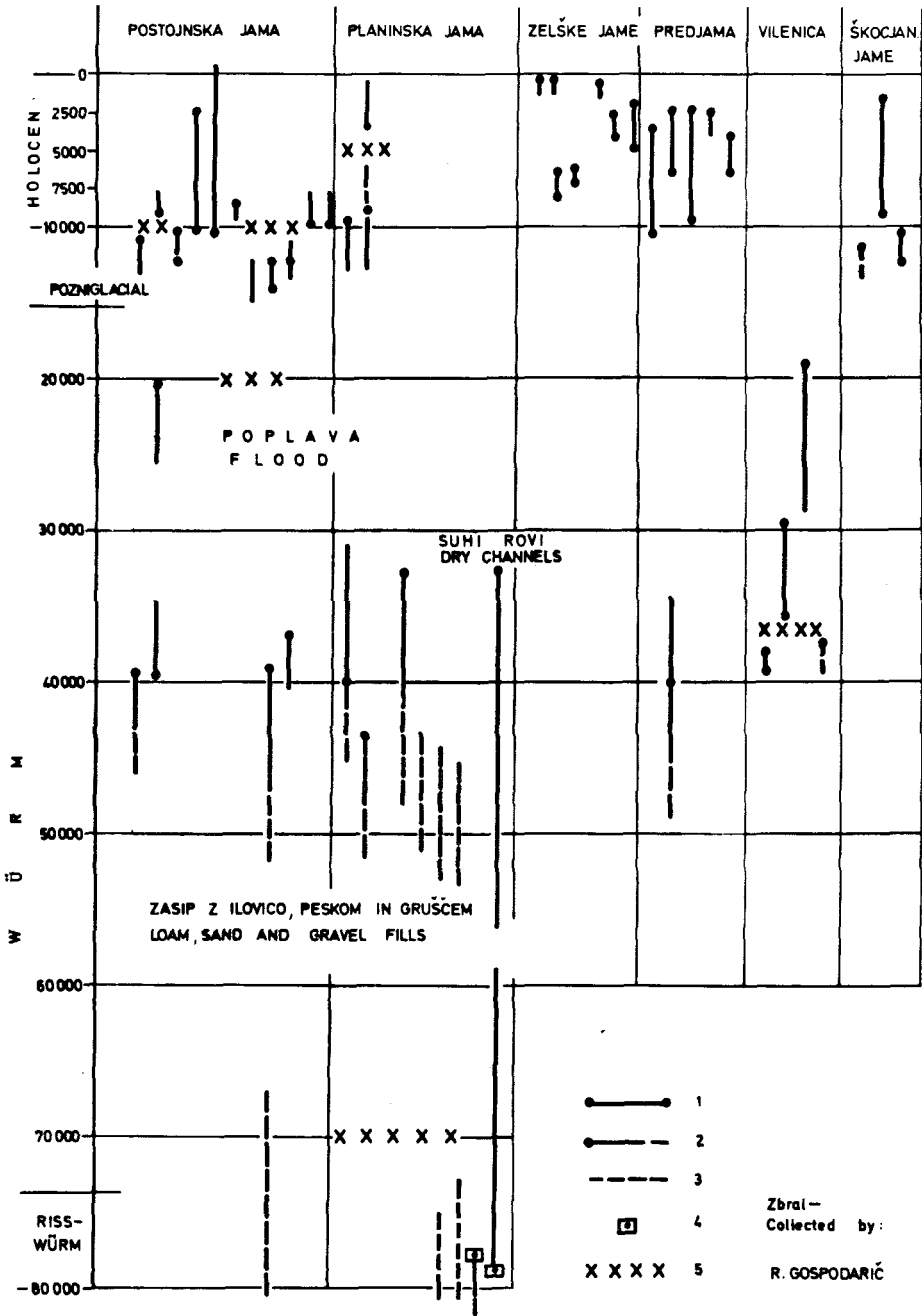
V Škocijanskih jamah so bili orientacijsko analizirani trije samostojni, manjši stalagmiti z namenom ugotoviti njihovo starost in stopnjo rasti. Radioogljikova analiza je pokazala, da je poznoglacialna siga rastla dvakrat hitreje (10 mm / 100 let) kot holocenska siga (5,3 mm / 100 let). Mogočne kope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

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

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

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

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



RELATIVNO UGOTOVLJENE GENERACIJE SIG

SIGE MED KLASTIČNIMI SEDIMENTI V PALEOLITSKIH POSTAJAH

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

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

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

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

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

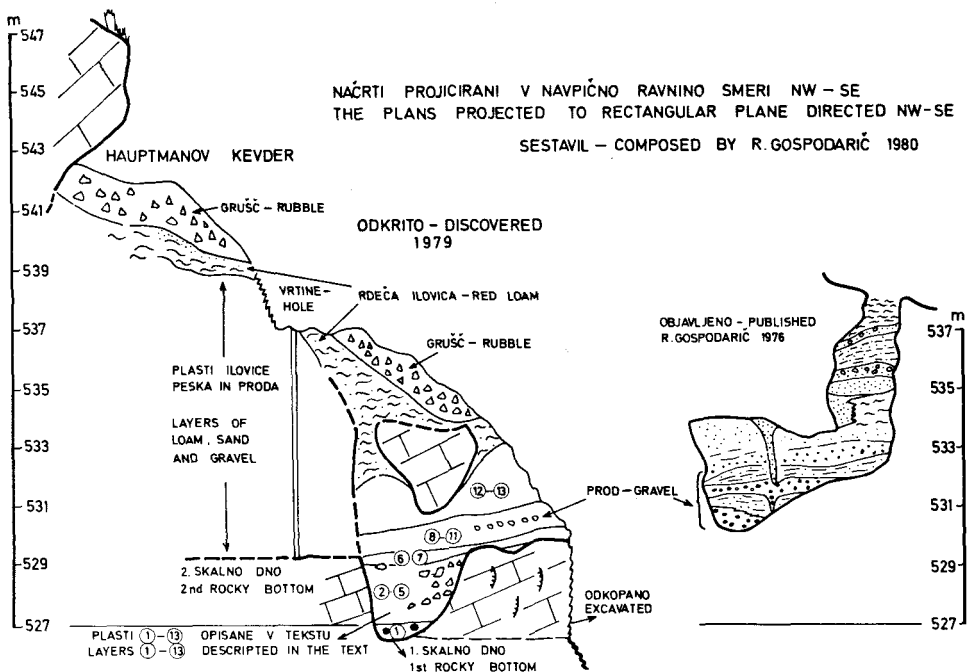
SIGA V SEDIMENTIH NANOVO ODKRITEGA PROFILA PRI POSTOJNSKI JAMI

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

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

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

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



Sl. 3. Zasuti ponorni rovi za hotelom Jama

Fig. 3. Buried Ponders behind the Hotel Jama

Opis plasti v profilu (sl. 4):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SIGE MED NAPLAVINAMI V KRIŽNI JAMI

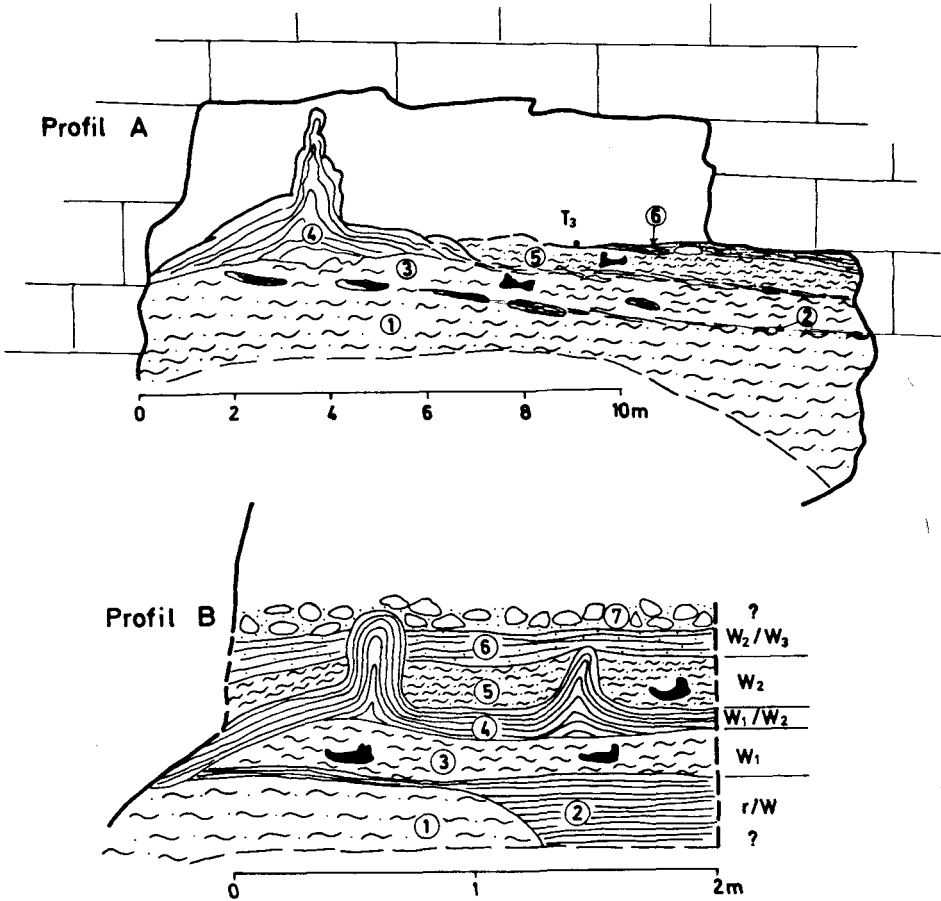
Na skalnem dnu in stenah glavnega rova Križne jame so na več mestih ohranjeni erozijski ostanki rdečkasto prozorne sige. Ker je ta siga bistveno drugačna kot pa siga vrh podornih gričev in med peščeno-ilovnatimi plastmi v suhih rovih, domnevamo, da je stratigrafsko najstarejša kolikor jih doslej tod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

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

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

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

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



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

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

SIGA V JAMI DIMNICE

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

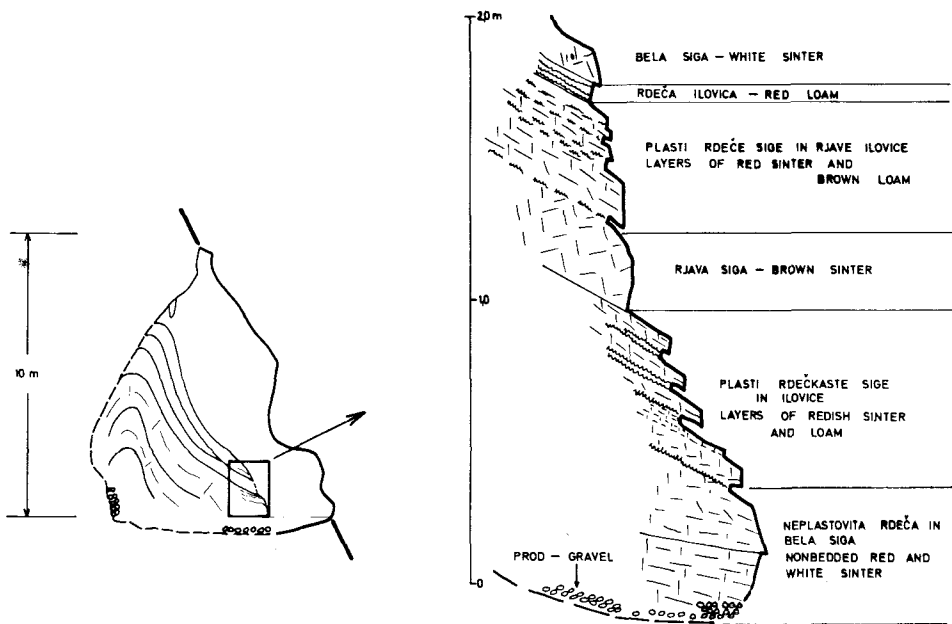
Na sliki 6 je prečni profil skalnega rova suhe etaže. V debelo skladovitem senonskem apnencu je viden erozijski rov trikotne oblike. Na eni steni so še ohranjene erozijske police in kotlice, na drugi steni pa poleg teh še ostanki sprijetega alohtonega proda. Skalno dno je domnevno pokrito z alohtonim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

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

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

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

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



Sl. 6. Dimnice, zgradba sigove kope

Fig. 6. Dimnice Cave, structure of sinter pattern

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

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

SKLEPI IN NADALJNI PROBLEMI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ZAHVALA

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

Summary

SINTER GENERATIONS IN CLASSICAL KARST OF SLOVENIA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

For done help I thank to all colleagues.

Literatura

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

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