

ACTA CARSOLOGICA	31/2	7	139-175	LJUBLJANA 2002
------------------	------	---	---------	----------------

COBISS: 1.01

**OCENA VLAGE V MLAJŠEPLEISTOCENSKEM
KRAŠKEM OKOLJU
PALEOKLIMA IN PALEOMIKROOKOLJE V
JAMI DIVJE BABE I, SLOVENIJA**

**ASSESSING HUMIDITY IN AN UPPER PLEISTOCENE
KARST ENVIRONMENT
PALAEOCLIMATES AND PALAEOMICROENVIRONMENTS AT
THE CAVE DIVJE BABE I, SLOVENIA**

**IVAN TURK¹ & DRAGOMIR SKABERNE² &
BONNIE A.B. BLACKWELL³ & JANEZ DIRJEC⁴**

Posvečamo spominu prof. Franca Osoleta

Dedicated to the memory of Prof. Franc Osole

¹ Inštitut za arheologijo Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU, Gosposka 13, SI-1000 LJUBLJANA

² Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 LJUBLJANA

³ MA lab: Department of Chemistry, Williams College, WILLIAMSTOWN, MA, 01267, USA

⁴ Inštitut za arheologijo Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU, Gosposka 13, SI-1000 LJUBLJANA

Prejeto / received: 8. 8. 2002

Izvleček

UDK: 551.583:551.791(497.4)

Ivan Turk & Dragomir Skaberne & Bonnie A.B. Blackwell & Janez Dirjec: Ocena vlage v mlajše-pleistocenskem kraškem okolju: Paleoklima in paleomikrookolje v jami Divje babe I, Slovenija

V članku je prikazan nov sedimentološki-klimatski model za razlago avtohtonih klastičnih sedimentov v mlajšepleistocenskem najdišču Divje babe I v Sloveniji. Analizirani sedimenti pripadajo kisikovi izotopski stopnji 1, 3 in 5 (OIS 1, OIS 3, OIS 5). Poudarek analize je na padavinah, ki smo jih razložili na podlagi količine avtigenih strukturnih agregatov v sedimentih. Ugotovitve smo podprli s kvantitativno analizo reliefno korodiranih klastov, ki pomenijo korozijo jamskega svoda, in izjedkanih kosti, ki pomenijo korozijo v jamskih tleh. Raziskali smo tudi odnos med klimo in jamskim medvedom ter neandertalcem in klimo, in sicer na podlagi množičnih fosilnih ostankov ter najdb artefaktov. Vse analize smo naredili na podlagi trodimenzi-onalnega vzorčenja, tj. v horizontalni in vertikalni smeri. Vzorčili smo 65 profilov na površini 65 m². Vsak profil je imel 35 arbitrarnih stratigrafskih enot (reznjev) s podatki o agregatih, izjedkanih kosteh, fosilnih ostankih in artefaktih. Pri razlagi sedimentnih karakteristik, ki nakazujejo klimatske parametre, smo dosledno upoštevali holocenske standarde za najdišče. Ugotovili smo, da je bila klima v OIS 3 hladnejša in bolj vlažna kot v OIS 1 in OIS 5. Na klimatsko spremembo v OIS 3 so se z večjim obiskom jame odzvali ljudje in živali, vendar ne hkrati. Sprememba klime se je na mikrolokaciji jame domnevno pokazala predvsem v podaljšanem trajanju snežne odeje.

Ključne besede: jama Divje Babe I, Slovenija, mlajši pleistocen, OIS 3, OIS 5, klimatska razlaga na podlagi sedimentov, paleovlaga, paleotemperature, mikrookolje, neandertalec, jamski medved.

Abstract

UDC: 551.583:551.791(497.4)

Ivan Turk & Dragomir Skaberne & Bonnie A. B. Blackwell & Janez Dirjec: Assessing Humidity in an Upper Pleistocene Karst Environment: Palaeoclimates and Palaeomicroenvironments at the cave Divje babe I, Slovenia

The article presents a new sedimentary-climatic model for explaining autochthonous clastic sediment in the Upper Pleistocene site, Divje babe I, Slovenia. The sediment analysed here was deposited during Oxygen Isotope Stages 1, 3 and 5 (OIS, OIS 3, OIS 5). The stress is on precipitation, which we explained on the basis of the quantity of authigenic structural aggregates in the sediment. We supported the results with quantitative analysis of clasts with etched surface, which represent corrosion of the cave ceiling, and etched bones, which represent corrosion on the cave ground. We also analysed the relation between climate and cave bears, and Neanderthals and climate, on the basis of mass fossil remains and finds of artefacts. All analyses were made on the basis of three-dimensional sampling, i.e., in horizontal and vertical directions. We sampled 65 profiles over an area of 65 m². Each profile had 35 arbitrary stratigraphic units (splits) with data on aggregates, etched bones, fossil remains and artefacts. In explaining the sediment characteristics that point to climatic parameters, we consistently took into account the Holocene standards for the site. We found that the climate in OIS 3 was colder and damper than in OIS 1 and OIS 5. People and animals responded to the climatic changes in OIS 3 with more visits to the cave, but not at the same time. The climatic change was presumably reflected in the microlocation of the cave mainly by the longer duration of snow cover.

Key words: Divje babe I cave, Slovenia, Upper Pleistocene, OIS 3, OIS 5, palaeoclimatic sedimentary analyses, moisture, temperature, micro-environment, Neanderthals, cave bears.

UVOD

Ocene vlage (humidnosti) za klimo v mlajšem pleistocenu običajno temeljijo na transformiranih rezultatih pelodnih analiz v limničnih sedimentih (Guiot 1990; Guiot et al. 1993; Allen et al. 1999). Obstajajo še drugi viri informacij za takšne ocene, npr. mali sesalci, sedimenti, toda te ocene nimajo nikoli tolikšne ločljivosti kot ocene na podlagi najbolj popolnih pelodnih profilov.

Za jamsko mikrookolje takšnih ocen doslej ni bilo, ali pa so bile zelo splošne, saj so slonele na nepovezanih podatkih, delno zaradi posebnosti v mikrookolju, ki vplivajo na potek sedimentacije in na preobrazbo sedimentov, delno zaradi samega izbora klimatskih parametrov (Laville 1975; Laville et al. 1980). Vendar lahko jamsko mikrookolje, podobno kot katero koli drugo mikrookolje, povežemo z mikroklimo, ker obstaja medsebojna odvisnost med mikrookoljem, mikroklimo in atmosfersko klimo.

V mlajšepleistocenskem najdišču Divje babe I z bogatimi paleontološkimi in skromnejšimi paleolitskimi najdbami smo imeli možnost v profilu (ne pa tudi v času, zaradi sedimentacijskih vrzeli) po karakteristikah sedimentov povezano spremljati spremembe vlage oziroma padavin v obdobju med ca. 120 ka in ca. 35 ka (Turk et al. 2001). Pomembno je, da smo lahko hkrati s 'paleovlago' na neodvisnih podatkih proučili tudi 'paleotemperaturo' (op. c.). Ker je najdišče izjemno dobro datirano, saj razpolaga z več kot 70 različnih radiometričnih podatkov in ker vsebuje stratificirane ostanke relativno velikih količin peloda, oglja in malih sesalcev (Šerčelj & Culiberg 1991; Culiberg & Šerčelj 1997; Toškan 2001; 2002), ga potencialno lahko povežemo s katerim koli referenčnim najdiščem iz obdobja mlajšega pleistocena (prim. Turk et al. 2001). Poleg tega lahko navzkrižno preverimo sklepe analiz posameznih sklopov podatkov o najdišču in poskušamo oceniti, kako sta količina podzemne vode - tj. vsa infiltrirana padavinska voda in temperatura vplivali na življenjske pogoje v bližnji in daljni okolici najdišča.

Naša analiza odpira nove možnosti v proučevanju in razlagi kompleksnih jamskih sedimentov in najdb ter lahko omogoči boljše poznavanje nekdanjega okolja, v katerem je bila poleg temperature najpomembnejši dejavnik v o d a.

NAJDIŠČE, SEDANJA MIKROKLIMA IN PREDVIDENE POSLEDICE ZARADI GLOBALNE OHLADITVE V PLEISTOCENU

Najdišče Divje babe I v dolini Idrijce v zahodni Sloveniji leži na nadmorski višini 450 m pod robom Šebreljske planote (600 m - 700 m n. v.), ki je del predalpskega hribovja v najbolj jugovzhodnem delu Alp. Nekoliko južneje se razprostirajo najsevernejši obronki Dinarskega gorstva.

Glede na temperaturo spada širša okolica najdišča danes v območje submediteranske klime (Ogrin 1998, 111). Submediteranski je tudi padavinski režim, za katerega je značilen vrhunec padavin v jesenskem času (predvsem novembra). Na podlagi razmerja med padavinami (povprečno 1800 mm^{-leto}, Zupančič 1998, 99) in evapotranspiracijo (povprečno 572 mm^{-leto}) ima širša okolica najdišča zelo vlažno klimo, ki je danes značilna za alpsko in dinarsko višavje v tem delu Evrope. Na jugu najdišče meji na področje polsušne klime v zaledju Tržaškega zaliva, ki prehaja v področje sušne (mediteranske) klime priobalnega pasu Jadranskega morja (Gams 1998, 34 in naprej). Vsi našteti klimatski režimi se zvrstijo na razdalji komaj 50 km in pri največji višinski razliki 1500 m

na Trnovskem gozdu. Klimatski gradient je najbolj očiten v trajanju snežne odeje (Gams 1998, 33; Ovsenik-Jeglič 2000, zemljevid), zato lahko tu pričakujemo največje spremembe, če bi se znižala današnja povprečna temperatura. Trajanje snežne odeje bi se v takem primeru občutno podaljšalo. To bi neposredno vplivalo na sezonski odtok podzemne vode. Domnevno bi poleg jesenskega maksimuma, ki je posledica padavin, nastal še spomladanski maksimum, ki bi bil posledica taljenja snežne odeje. Ta odeja bi zaradi svojih izolacijskih lastnosti ublažila učinek, ki bi ga imelo znižanje zimske temperature na temperaturo tal (površja).

Divje babe I so približno 45 m dolga in 15 m široka horizontalna jama. Jamski rov, ki je danes več kot 12 m na debelo zapolnjen s skoraj izključno avtohtonimi klastičnimi sedimenti, ki so se odložili pretežno v obdobju OIS 5 in OIS 3 (Oxygen Isotopic Stage), se je izoblikoval v dolomitu (Turk et al. 1989, 164 in dalje). Geneza jame ni raziskana. Glede na potencialno debelino sedimentov (več kot 13 m in manj kot 50 m) bi lahko sklepali, da je jama relativno stara.

Rezultati hidrogeoloških raziskav (J. Čar in J. Janež 2002, ustno sporočilo) kažejo na to, da jama danes ni hidrološko povezana z zaledjem (planoto), zato se večina padavin, ki odtečejo v podzemlje z omejene in specifične površine nad jamo, pretoči vanjo navpično. Domnevamo, da je bilo tako tudi v mlajšem pleistocenu.

Meritev podzemnega dotoka vode v samem najdišču (33 meritev v celem letu 2000 in pozimi leta 2002 na tlorisni površini 91 m²) je pokazala, da na podzemni dotok odpade približno 35 % (760 litrov ^{-m²}) vse padavinske vode (2176 litrov ^{-m²} po podatkih bližnje padavinske postaje Na Stanu). Odočni deficit znaša torej 65 %, če je dotok v jami enak podzemnemu odtoku. To je splošna ocena, ki temelji na povprečju meritev dotoka v jami (1 liter ^{-m²} je priteknel v povprečno 11 urah, 34 minutah in 38 sekundah ali 0,024 mililitra ^{-m²/s}). Meritve so zajele zelo majhne dotoke po dolgotrajni suši (minimum 0,022 litra ^{-m²/h}) in zelo velike dotoke po obilnih padavinah (maksimum 1,236 litra ^{-m²/h}) ter nekatere vmesne vrednosti na površini, kjer je trenutno največji dotok vode. Evapotranspiracija (odtočni deficit), ocenjena na podlagi 30-letnega lokalnega povprečja padavin in temperatur (Cegnar 1998, 101; Zupančič 1998, 99), znaša 32 % (572 litrov ^{-l^{eto}}), kar je zelo blizu oceni potencialne evapotranspiracije za bližnjo Bovško kotlino (Verheyne et al. 1991, Table 1: Bovec). Delež vseh ostalih odtokov torej znaša 33 %. Zaradi strmega, pretežno travnatega, slemenastega pobočja nad jamo lahko pričakujemo relativno velik površinski in podpovršinski odtok, ki pa najbrž ne presega 33 %.

PREDMET IN CILJ RAZISKAVE

Glavni cilj raziskave je bil poiskati kazalce paleovlage v sedimentih Divjih bab I, jih kvantificirati in ugotoviti njihovo domnevno povezanost s spremembami paleoklime. Drugotni cilj so bili odnosi med klimo, mikroklimo in fosilnimi ter paleolitskimi ostanke. V te namene smo podrobno analizirali sedimente 23 subjektivno razmejenih plasti, ki jih tukaj ne bomo posebej opisovali, ker samo na podlagi opisov ni mogoče narediti zanesljivih sedimentoloških sklepov. Skupna debelina teh plasti je 9,6 m.

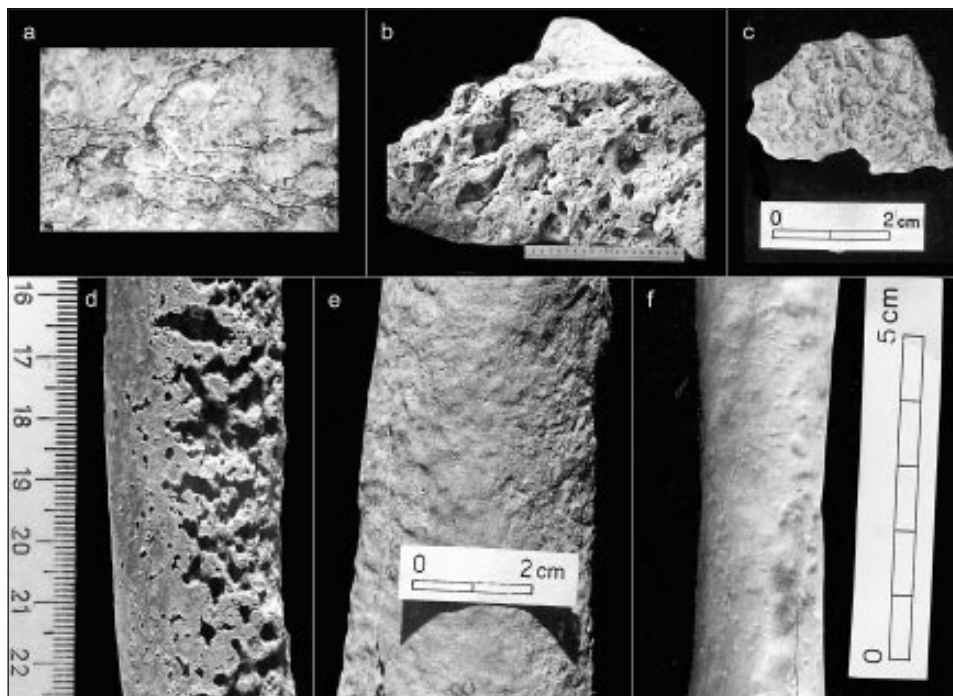
Kot povsod nastopa voda tudi v kraškem podzemlju v treh stanjih: plinskem, tekočem in trdnem. V mlajšepleistocenskih sedimentih Divjih bab I je ugotovljen obstoj vseh treh stanj (faz) vode:

1. Vodni hlapi, ki pridejo v ozračje zaradi evapotranspiracije, so se kondenzirali na jamskem

stropu in stenah in jih sčasoma reliefno korodirali (Slabe 1995). Zaradi delovanja zmrzali so reliefno korodirane površine odpadle in se pomešale med sedimente (sl. 1 a-c).

2. Utekočinjena podzemna voda, katere dotok je neposredno povezan s padavinami (to so potrdile tudi že omenjene meritve), je vplivala na nastanek strukturnih agregatov v jamskih tleh in na korozijsko jedkanje dolomitnih klastov in množičnih fosilnih ostankov, tj. kosti in zob jamskega medveda (sl. 1 d-f).
3. Občasno zaledenela podzemna voda je povzročila dokončno dezintegracijo jamskega stropa in sten, kongelifrakcijo v jamskih tleh (Turk et al. 2001), dezintegracijo ali konsolidacijo strukturnih agregatov, dvigovanje kosti in kamnov, gubanje sedimentov in stratigrafsko razvrščanje sedimentov v določenih plasteh na debele in drobne klaste (glej Williams & Smith 1989).

Vsi ti pojavi so opazni v večini mlajšepleistocenskih jamskih najdišč, kar je bilo tudi večkrat omenjeno. Zato sta naša zamisel, kaj proučiti, ki predstavlja samo dopolnilo že obstoječih ugotovitev, in metodologija, ki temelji na standardnih statističnih metodah, izvedljivi in preverljivi



Sl. 1: Primeri delovanja korozije v Divjih babah I. a) Korozija sedanjega jamskega stropa. b-c) Reliefno korodirani klasti, primeri pleistocenske korozije jamskega stropa. d-f) Korozijsko izjedkane kosti jamskega medveda. Foto: I. Lapajne, C. Narobe, I. Turk in M. Zaplatil.

Fig. 1: Examples of corrosion operating at Divje babe I. a) Corrosion (etching) of the present cave ceiling. b-c) Etched clasts, examples of Pleistocene corrosion on the cave ceiling. d-f) Etched cave bear bones. Photo: I. Lapajne, C. Narobe, I. Turk in M. Zaplatil.

tudi na drugih najdiščih iz tega obdobja s podobnim sedimentacijskim okoljem. Menimo, da bi bilo mogoče postopek z novimi raziskavami izboljšati in dobiti bolj zanesljive rezultate, ki bi imeli hkrati boljšo časovno ločljivost. To velja zlasti za nekatere potencialne klimatske parametre, ki nam jih je uspelo analizirati samo v enem, največ dveh profilih, vendar nepovezano zaradi omejenih možnosti formalno nepriznanega in zato ne posebej financiranega raziskovalnega projekta: 'Kronoklimatska analiza sedimentov v Divjih babah I'.

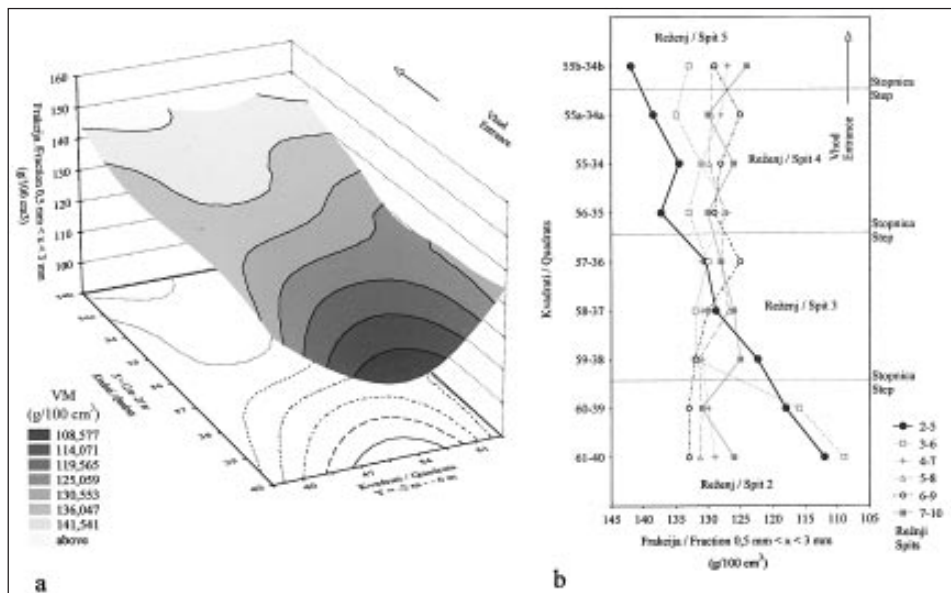
V nadaljevanju razprave se bomo posvetili predvsem strukturnim agregatom (glej Čirić 1986, 96 in dalje; Turk et al. 1995, sl. 1 in 3), ki smo jih povezano vzorčili v 64 profilih. Paleovlago, domnevno izraženo s količino agregatov, smo nadzirali z drugimi kazalci, predvsem z reliefno korodiranimi klasti in izjedkanimi kostmi. Reliefno korodirani klasti niso najbolj primeren kazalec paleovlage v profilu, ker lahko nastanejo tudi in predvsem zaradi korozije jamskega svoda (Turk et al. 2001). Bolj primeren kazalec so izjedkane (korodirane) kosti, in sicer zato, ker je jedkanje potekalo samo v sedimentu. Tretjo možnost za nadzor naše domneve, tokrat neodvisno od procesa, ki je povzročil nastanek agregatov, ponuja vsebina sedimentov - predvsem fosilni pelod in fosilni ostanki malih sesalcev. Žal, ti ostanki v profilu niso povezani, kar zmanjšuje njihov kronoklimatski potencial.

METODA

Zaradi posebnosti jamskega okolja, ki se lahko spreminja na izredno kratke razdalje, smo sedimente analizirali v trodimenzionalnem prostoru (vertikalno in horizontalno).

Strukturne agregate smo najprej proučili vizualno v celotni frakciji, večji od 0,5 mm, in sicer tako po kvadratih in izkopih kot v profilu. Nato smo jih kvantificirali na podlagi volumnske mase (VM) treh različnih frakcij (F): F ($x < 0,5$ mm), F ($0,5 \text{ mm} < x < 3$ mm) in F ($3 \text{ mm} < x < 10$ mm). V F ($3 \text{ mm} < x < 10$ mm) smo zrna tudi prešteli in izračunali procentni delež agregatov. Za podrobnejšo analizo smo nazadnje izbrali F ($0,5 \text{ mm} < x < 3$ mm), in sicer zato, ker ima najmanjši standardni odklon (SD) volumnske mase od mediane. Agregate te frakcije smo analizirali v profilu (36 nepovezanih vzorcev s po $320\text{-}2170 \text{ cm}^3$ F in 12 dodatnih povezanih vzorcev (sl. 3 a). Za lokacijo in osnovno dokumentacijo profilov glej Turk et al. 2001, sl. 1!) in trodimenzionalno po kvadratih, velikih 1×1 m, in horizontalnih režnjih (sedimentacijskih nivojih), debelih 0,12 m (1895 vzorcev s po 100 cm^3 F v skupno 64 profilih) (sl. 3 b). Pri analizi večjih površin smo sedimentacijske nivoje dobili z upoštevanjem nagiba plasti in z upoštevanjem drsečih režnjev od spodaj navzgor (sl. 3 b). Vzdolžno se vsaka plast zniža za $0,04 \text{ m}^{-1\text{m}}$, zaradi česar naredimo pri 12 centimetrskih režnjih na vsake 3 m stopnico (glej sl. 2 b). Stopničenje smo izvedli tako, da je dala analiza podatkov optimalen rezultat. Drseči režen je povprečje dveh režnjev.

Vsi vzorci neprebranega sedimenta so bili odvzeti trodimenzionalno, izprana je bila F ($0,5 \text{ mm} < x < 3$ mm), posušena in zračno suha menzurirana in stehtana. Napaka, nastala pri določanju VM znaša največ $\pm 0,05 \text{ g cm}^{-3}$. Standardno vrednost za VM smo določili na podlagi povprečja 11 vzorcev z nezasičenega holocenskega površja. Vzorci so bili odvzeti na enak način kot vsi trodimenzionalni vzorci. Standard, ki ima vrednost $1,09 \text{ g cm}^{-3}$, je bil določen na delu površine, ki je bila izhodišče za trodimenzionalno vzorčenje pleistocenskih sedimentov do vključno plasti 7. Na podlagi standarda smo ocenili odmike pleistocenskih vrednosti od holocenske vrednosti. Holocenski agregati, ki se razlikujejo od pleistocenskih samo v cementu, so nastali približno v

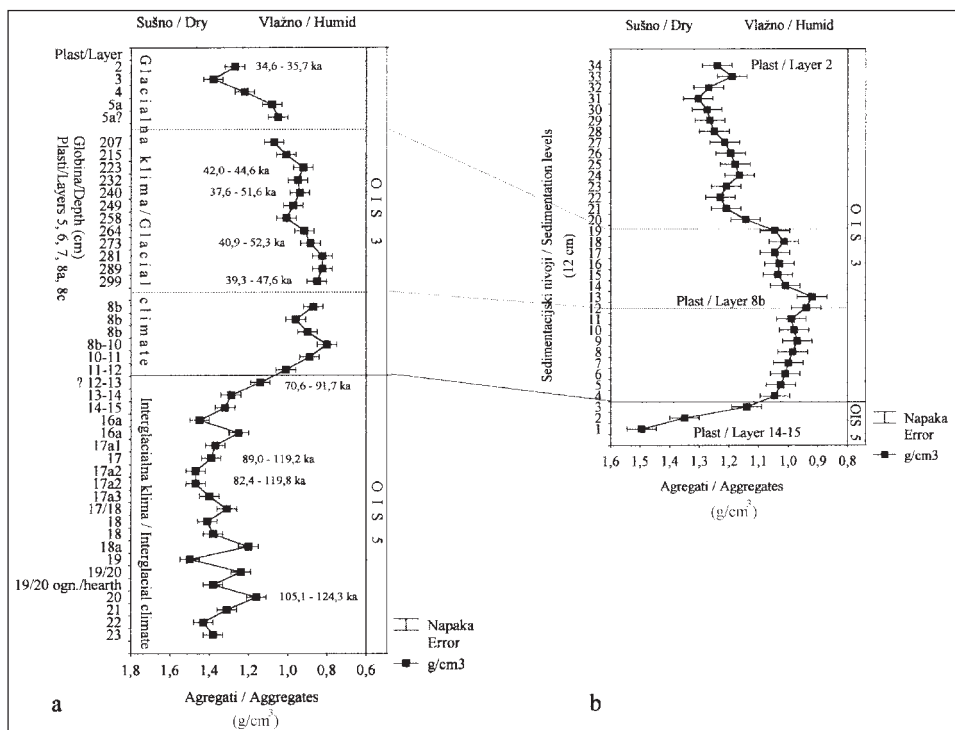


Sl. 2: Prostorska porazdelitev količine agregatov v Divjih babah I, podana z volumsko maso ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$) v frakciji $0,5 \text{ mm} < x < 3 \text{ mm}$. Izrazit gradient obstaja v sedimentacijskem nivoju plasti 4, ki obsega stopničasto razvrščene režnje 2-5 (relativna gl. 54-94 cm). a) Gradient v količini agregatov v 36 kvadratih in enem sedimentacijskem nivoju v plasti 4. b) Količina agregatov v prečnih nizih kvadratov in v različnih sedimentacijskih nivojih na podlagi srednjih vrednosti štirih prečnih kvadratov in enega izkopa. Glej gradient v plasti 4!

Fig. 2: Spatial distribution of aggregate frequency given with weight by volume ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$) in the $0.5 \text{ mm} < x < 3 \text{ mm}$ fraction at Divje babe I. An obvious gradient for the aggregate density only occurs in the sedimentation level of Layer 4, which step-like covers splits 2-5 (from 54 to 94 cm below datum) thus following the general dip of layers. a) Gradient for aggregate frequency in 36 quadrates and a single sedimentation level in Layer 4. b) Aggregate frequency in transverse series in various sedimentation levels each on the basis of mean values of four transverse quadrates and one split. Note gradient in Layer 4.

zadnjih 4 000 letih in največ v zadnjih 10 000 letih. Izmed 36 profilov po kvadratih in režnjih smo izbrali tipični profil na podlagi najmanjše vsote povprečkov kvadrata vseh odmikov vrednosti agregatov po režnjih in profilih od vsakega profila posebej. To pomeni, da smo režnje v vsakem kvadratu primerjali z režnji v vseh drugih kvadratih, kar je bilo 36 primerjav. Enak postopek smo uporabili tudi pri izbiri drugih tipičnih profilov.

Reliefno korodirane klaste (RKK) smo analizirali samo v profilu, in sicer na podlagi 36 nepovezanih vzorcev s po 62-253 klastov in dodatnih 12 povezanih vzorcev (sl. 5 b). Izračunali smo procentne deleže RKK v F ($40 \text{ mm} < x$) in standardno napako (SE).

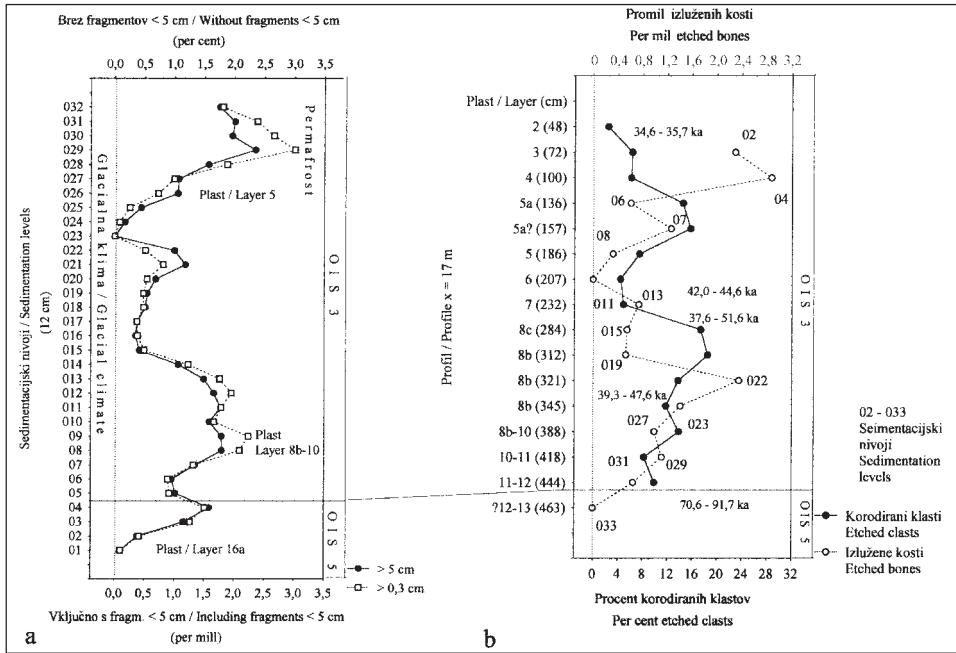


Sl. 3: Porazdelitev količine agregatov v sedimentih Divjih bab I, podane z volumsko maso (g^{-cm^3}), ki jo povezujemo s količino padavin. a) Datiran profil, sestavljen iz povezanih in nepovezanih podatkov v različnih predelih jame (glej Turk et al. 2001, sl. 1!). b) Povezana krivulja tipičnega profila v kvadratu 36, ki obsega plasti 2-15.

Fig. 3: Aggregate frequency in the sedimentary layers at Divje babe I. Relative soil moisture and precipitation can be estimated from aggregate frequency. a) A composite profile constructed from interrupted and uninterrupted profiles in various parts of the cave (see Turk et al. 2001, Fig. 1). The ages are derived from ^{14}C , $^{230}Th/^{234}U$, and ESR analyses. b) An uninterrupted typical profile in Quadrate 36 covering deposits from Layers 2 to 15.

Povprečni volumen klastov (PVK) smo analizirali samo v profilu, in sicer na podlagi 36 nepovezanih vzorcev s povprečno 25-1436 klastov na frakcijo brez dodatnih vzorcev (sl. 6 a, b). PVK smo izračunali iz povprečne mase klastov, ki smo jo dobili tako, da smo maso določene frakcije delili s številom dolomitnih klastov v frakciji. Povprečni volumen smo nato izračunali na podlagi specifične mase dolomita.

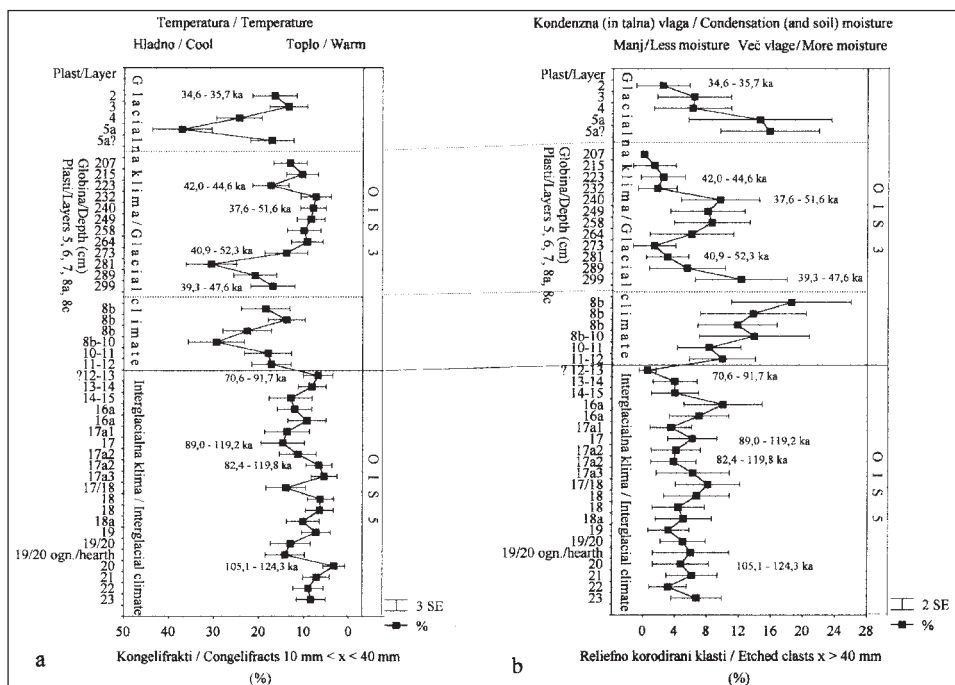
Izjedkane kosti (IK) smo analizirali samo po kvadratih, velikih 1x1 m, in horizontalnih režnjih (sedimentacijskih nivojih), debelih 0,12 m. Pri tem smo se poslužili 33 povezanih vzorcev s povprečno 12 004 celih in fragmentiranih kostnih ostankov, večjih od 3 mm, in povprečno 1193 celih in fragmentiranih kostnih ostankov, večjih od 50 mm. Ker so IK zelo redko posejane, smo



Sl. 4: Porazdelitev relativne količine izjedkanih kosti v zgornjem delu profila Divjih bab I. a) Izjedkane kosti prvič brez fragmentov ($3\text{ mm} < x < 50\text{ mm}$), drugič s fragmenti ($3\text{ mm} < x < 50\text{ mm}$) v drsečih sedimentacijskih nivojih, združenih kvadratov 13-32 in 34-40, ki tvorijo neprekinjeno krivuljo. Iz deležev izluženih kosti lahko sklepamo o talni vlagi. b) Približna stratigrafska korelacija med izluženimi kostmi v običajnih sedimentacijskih nivojih, združenih kvadratov 13-32 in 34-40 in med reliefno korodiranimi klasti v zgornjem delu datiranega sestavljenega profila (glej Turk et al. 2001, sl. 3 a). Starosti so cenjene na osnovi ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ in ESR analiz.

Fig. 4: The distribution of etched bones and etched clasts in the upper part of the sedimentary profile at Divje Babe I. a) Two groups of etched bones in the smoothed sedimentation levels representing an uninterrupted curve for joined Quadrates 13-32, 34-40. Relative soil moisture can be estimated from the distribution of etched bones. b) Approximate stratigraphic correlation between etched bones in not smoothed sedimentation levels from joined Quadrates 13-32, 34-40 and etched clasts in the $x < 40\text{ mm}$ sediment size fraction in the upper part of the dated composite profile (see Turk et al. 2001, Fig. 3 a). The ages are derived from ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, and ESR analyses.

jih izjemoma analizirali po povezanih sedimentacijskih nivojih na treh velikih površinah, ki jih sestavljajo združeni kvadrati. Objavljeni rezultati se nanašajo samo na eno površino, veliko 21 m^2 . Sedimentacijske nivoje smo določili z upoštevanjem nagiba plasti. Delež IK smo izračunali na dva načina. Prvič smo vključili v izračun poleg fragmentov F ($50\text{ mm} < x$) tudi vse fragmente F ($3\text{ mm} < x < 50\text{ mm}$), drugič pa le fragmente F ($50\text{ mm} < x$) (sl. 4 a). Standardna napaka (SE) je minimalna zaradi zelo velikega števila kostnih ostankov in majhnega števila IK, zato je ne navajamo.



Sl. 5: Porazdelitev relativne količine posedimentnih kongelifraktov (PSK) in reliefno korodiranih klastov (RKK) v datiranem profilu Divjih bab I, sestavljenem iz povezanih in nepovezanih podatkov v različnih predelih jame (glej Turk et al. 2001, sl. 1!). Starosti so cenjene na osnovi ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ in ESR analiz. a) Na podlagi količine PSK ocenjena krivulja spreminjanja temperature. b) Na podlagi zastopanosti RKK ocenjena krivulja kondenzne (in talne) vlage.

Fig. 5: Climatic indicators for the composite sedimentary profile constructed from interrupted and uninterrupted profiles in various parts of the cave (see Turk et al. 2001, Fig. 1). The ages are derived from ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, and ESR analyses. a) Using the distribution of post-sedimentary congelifracsts in the $10\text{ mm} < x < 40\text{ mm}$ sediment size fraction, a relative temperature profile can be inferred. b) Relative condensation (and soil) moisture profile can be estimated from the distribution of etched clasts in the $x < 40\text{ mm}$ sediment size fraction.

Število in masa kostnih ostankov, manjših od 10 mm, ki prevladujejo v vseh sedimentacijskih nivojih, sta v izraziti in statistično značilni korelaciji ($R = 0,956$, $p < 0,001$, $n = 36$). Zato je vseeno, kateri podatek analiziramo. Rezultati, dobljeni na podlagi enega ali drugega podatka, pa so primerljivi.

Zastopanost fosilnih ostankov jamskega medveda (FOJM) v profilu smo ugotovili na podlagi števila vseh ostankov zob in kosti v 36 nepovezanih in 12 dodatnih povezanih prostorninsko izenačenih vzorcih sedimentov (povprečno 18 litrov sedimenta), vzeti iz profila (sl. 7 a), in na podlagi mase vseh ostankov kosti v povezanih vzorcih tipičnega profila, izbranega izmed 21 kvadratov, velikih $1 \times 1\text{ m}$ s po 36 horizontalnimi režnji (34-35 sedimentacijskimi nivoji), debelimi 0,12 m (sl. 7 b). Iz profila smo pobrali več kot 95 % vseh ostankov, večjih od 3 mm, medtem ko

so bili ostanke kosti v kvadratih in režnjih pobrani samo približno 20 % zaradi velikega števila majhnih drobcev in časovne stiske. To dejstvo smo dosledno upoštevali pri analizi FOJM (glej sl. 4).

Izbrani parametri so preverjeno najboljši izmed vseh možnih parametrov za določanje vertikalne in horizontalne variabilnosti množičnih fosilnih ostankov v Divjih babah I.

GLAVNE ZNAČILNOSTI SEDIMENTOV

Poleg barve, ki smo jo uporabili kot osnovni kriterij pri določevanju plasti na terenu, so glavne značilnosti sedimentov še tekstura, narava klastov in cementacija (agregati, breče).

V barvi usedlin prevladujejo rjavkasti toni s svetlejšimi in temnejšimi odtenki. Osnovna barva dolomitne kamnine je v večini plasti bolj ali manj spremenjena zaradi posedimentacijskih procesov. Barvo sedimentov določajo predvsem prevleke (tanek sloj) in/ali obloge (debelejši sloj) iz sekundarnih Fe mineralov (hematit, goetit, lepidokrokrit) na klastih ter obarvani kalcitni in fosfatni cementi.

V vseh plasteh imajo sedimenti izrazito skeletno strukturo. Prevladujejo bloki in debelejši klasti. Približno 2/3 vseh odkopanih sedimentov vsebuje kar 50-99 % blokov in samo približno 1/3 sedimentov ima blokov manj kot 50 %.

Ker so strukturne in morfološke značilnosti klastov predmet te in prejšnjih objav (Turk et al. 2001), bomo omenili samo tiste značilnosti, o katerih se še ni in se ne bo posebej razpravljalo.

Klasti so v skoraj vseh plasteh bolj ali manj zaobljeni. Njihova površina je lahko gladka (zdrava), minimalno preperela ali hrapava (mokasta), tj. zelo preperela. V celotnem profilu je v plasti 5a in 5a? debeli grušč najbolj preperel. Takšne površine debelega grušča in blokov ima več plasti zgornjega in srednjega dela profila: 8b-10, 8b, 5a, 5a? in 4, in samo dve plasti v spodnjem delu profila, in sicer plast 17a₃ in 18. Vse naštetje plasti vsebujejo tudi popolnoma preperel ('fantomski') grušč, ki ga poznamo tudi v drugih mlajšpleistocenskih jamskih najdiščih. Vzroki za nastanek 'fantomskega' grušča, niso znani. Površina zelo zaobljenih klastov v plasti 8c in 10-12 je "zdrava", nedrobljiva.

Prevleke na klastih se pojavljajo v vseh plasteh, obloge pa samo v nekaterih. Največ oblog je v kompleksu plasti 8. Posebnost plasti 2, 5 in 8b-10 so glinene prevleke na drobnem grušču in pesku (Turk, Dirjec 1997, sl. 3.1: 2). Barvo oblog in prevlek smo določili na srednje zrnatem grušču, ker se je ta hitreje obarval kot osnova (Gale & Hoare 1991: 151). Za določanje barv smo uporabili 'Munsell Soil Color Charts'.

Barva prevlek v plasteh 2-5 je rdečkasto rumena (10YR 7/8 - *reddish yellow*). Barva prevlek in oblog v plasteh 6-8c je prašnato rdeča (10R 3/4 - *dusky red*). Barva prevlek v plasteh 10-20 je rjava (7.5YR 4/4 - *brown*). Barva oblog in prevlek v plasteh 21-23 je zelo temno sivo rjava (10YR 3/2 - *very dark grayish brown*).

Za grušč v plasti 2 (predvsem na površju) so značilne obloge iz mulja in sige. Ločene obloge iz mulja ali sige smo opazili le redko v plasteh 4, 6, 10 in 17a₂, ne pa skupaj kot v plasti 2.

Breče (prevladuje fosfatni cement) se pojavljajo v več plasteh (Turk, Bastiani 2000). Njihova barva je po plasteh naslednja: v plasti 8a je prašnato rdeča (10R 3/4 - *dusky red*), v plasti 10 je rdečkasto rjava (5YR 4/4 - *reddish brown*), v plasti 16 je breča brez osnove: prašnato rdeča (10R 3/4 - *dusky reddish*), breča z osnovo pa: temno rdečkasto rjava (2.5YR 3/4 - *dark reddish brown*),

v plasti 18a, 19 in 20 je rjava (7.5YR 4/4 - brown), v plasti 22 in 23 pa zelo temno sivo rjava (10YR 3/2 - very dark grayish brown). Enake barve kot breče so tudi posamezni večji strukturni agregati v plasteh 7, 8c, 8b, 8b-10, 13, 16a, 17, 18 in 19/20.

Agregati, ki so bili v dosedanjih analizah sedimentov običajno prezrti ali premalo upoštevani, so glavni predmet našega članka.

UGOTOVITVE RAZISKAV NEKATERIH ZNAČILNOSTI SEDIMENTOV IN NJIHOVA KRATKA RAZLAGA

Obstojni strukturni agregati v sedimentih Divjih bab I so sferoidne in poliedrične, izjemoma tudi listaste oblike. Po sestavi razlikujemo dve skupini agregatov. V prvi, najbolj številčni skupini, so anizotropni strukturni agregati sestavljeni iz pretežno mineralne avtohtone meljasto-prašnate komponente. V drugi, številčno manjši skupini, so izotropni agregati, v katerih prevladujejo transformirane snovi živalskega izvora (proteini, maščobe → organski P, bitumen?). V takšnih agregatih se pogosto pojavljajo odtisi vlaken - izjemoma tudi sama vlakna, ki smo jih interpretirali kot fosilne dlake jamskega medveda (Turk et al. 1995). Sestavine agregatov povezuje večinoma fosfatni cement, redkeje, in še to le anorganske (mineralne) komponente, tudi kalcitni cement.

Volumska masa (VM) frakcije F ($0,5 \text{ mm} < x < 3 \text{ mm}$), na podlagi katere smo ocenili količino strukturnih agregatov, se giblje od $0,82 \text{ g cm}^{-3}$ do $1,54 \text{ g cm}^{-3}$ ($N = 1895$). Najbolj pogosta vrednost je med $1,00$ in $1,01 \text{ g cm}^{-3}$ v plasti 8. Ta vrednost je skoraj enaka vrednosti holocenskega standarda za eno od mikrokolij, ki znaša $1,09 \text{ g cm}^{-3}$. Dolomit ima specifično maso (=VM) $2,85\text{-}2,95 \text{ g cm}^{-3}$.

Krivulje VM vseh treh analiziranih F, ki vsebujejo agregate, so si po plasteh med seboj dokaj podobne. Delež agregatov v F ($3 \text{ mm} < x < 10 \text{ mm}$) se giblje po plasteh od 4 % do 80 %, v drobnejših frakcijah pa so deleži agregatov še večji, tudi skoraj 100 %.

Količina agregatov na splošno narašča od jamskega vhoda v notranjost jame oziroma od ene površine do druge, če upoštevamo večje skupine kvadratov (15, 21 in 19 kvadratov) in režnjev, združenih v iste sedimentacijske nivoje. Gradient zastopanosti agregatov smo samo izjemoma ugotovili v posameznem sedimentacijskem nivoju (npr. v delu zgubanih plasti 2-4) na površini veliki 36 m^2 v osrednjem predelu jame (sl. 2 a, b). Sicer je za prostorsko porazdelitev agregatov v skoraj vseh sedimentacijskih nivojih značilna mozaična slika. Sodeč po enaki sliki v skoraj vodoravnih plasteh, lahko sklepamo, da je bila takšna tudi prvotna slika in da krio- in bioturbacija ter horizontalnost režnjev dejansko ne vpliva nanjo oziroma bistveno ne poslabša rezultata analize sedimentov.

Mozaična podoba je povezana z mozaično naravo jamskega mikrookolja. Ker se ponavlja pri vseh prostorsko analiziranih sedimentoloških parametrih, je to lahko tudi posledica nenatančnih prostorskih povezav med časovnimi horizonti in stratigrafskimi nivoji. Problem je tudi časovna ločljivost posameznih stratigrafskih nivojev, ki je pri debelih klastičnih sedimentih, kakršni so se odložili v Divjih babah I, redko kdaj manjša od 600 let.

Vendar se vse ugotovitve o razprostranjenosti agregatov dobro ujemajo z dotokom (kapljanjem in/ali curljanjem) oziroma odtokom podzemne vode v vodno neaktivnih vodoravnih podzemnih jamah. Kapljanje/curljanje je dolgoročno nepredvidljivo, kar zadeva prostor, in običajno močnejše v notranjosti jame kot pri njenem vhodu. Nasprotno dotoku oziroma odtoku podzemne vode pa je evaporacijski potencial večji pri jamskem vhodu kot v notranjosti jame. Oboje vpliva na talno

vlago, ki je zato večja v notranjosti jame kot v bližini vhoda in zunaj nje (prim. sl. 2).

Na podlagi 21 dokumentiranih profilov zastopanosti agregatov (VM g/cm³) smo določili tipični profil njihove zastopanosti, ki predstavlja površino, veliko 21 m², kar je ca. 5 % celotne tlorisne površine jame. Med posameznimi 21 profili lahko pojasnimo povprečno 62 % količinske variabilnosti agregatov. Povprečni determinacijski koeficient r^2 smo izračunali na podlagi 105 korelacijskih koeficientov. Ker je nepojasnjenih samo povprečno 38 % variacij med profili, je količinska variabilnost agregatov večja v vertikali kot v horizontali oziroma večja med plastmi kot znotraj njih.

Kar 62 % delež pojasnjene variacije količine agregatov med različnimi profili lahko povežemo predvsem s vplivom klime na sedimente, natančneje s vplivom padavin, ki se je kazal v nihanju dotoka oziroma odtoka podzemne vode. Globalna klima namreč daje vsemu enoten pečat. Če ne bi bilo drugih učinkov, bi bili vsi profili popolnoma enaki in bi bilo mogoče vso variacijo v vertikali razložiti s klimo.

V povezano vzorčenem tipičnem profilu je opazna določena cikličnost zastopanosti agregatov. V zgornjih plasteh, ki označujejo mlajši del OIS 3, je količina agregatov manjša, v plasteh, ki označujejo starejši del OIS 3, predvsem v plasti 8, je njihova količina večja, nato pa se v plasteh, starejših od plasti 13, ki označujejo obdobje OIS 5, njihova količina spet zmanjša (sl. 3 b). Podoben rezultat kot pri tipičnem profilu smo dobili tudi na podlagi vzorcev, vzeti neposredno iz profila, le da je tu časovna ločljivost manjša zaradi nepovezanega jemanja vzorcev (sl. 3 a).

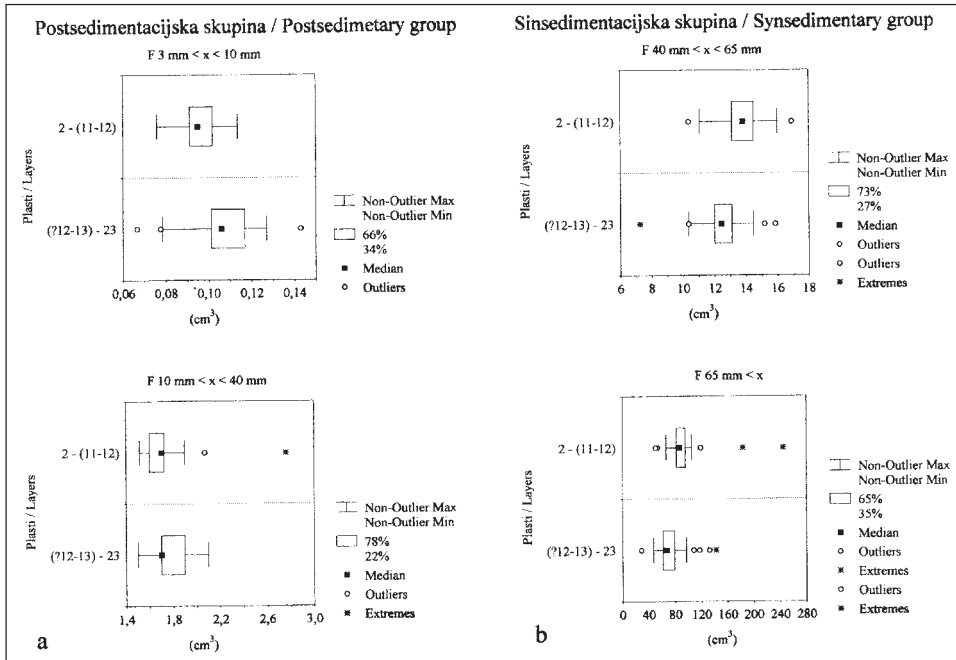
Analiza zastopanosti izjedkanih kosti (IK) v povezanih sedimentacijskih nivojih na površini, veliki 21 m² (sl. 4 a), potrjuje podatke in razlago porazdelitve količine agregatov. Stopnjo korozije in količino IK povežemo s količino vlage v tleh oziroma njenim spreminjanjem in s kemičnimi reakcijami. Vse to je bilo v mlajšem pleistocenu v Divjih babah I drugače kot v mlajšem holocenu (zadnjih 4 000 let). Med holocenskimi kostnimi ostanki, starimi največ 4000 let, namreč ni IK. Izrazit maksimum količine IK je obstajal v mlajšem delu OIS 3. Ustreznega maksimuma ni pri porazdelitvi agregatov, pač pa je v porazdelitvi reliefno korodiranih klastov (RKK) (sl. 4 b). Maksimum RKK razlagamo z nastankom in delovanjem kislin pri topljenju ledu, ki se je v OIS 2 nakopičil v tleh. Led je morda uničil tudi del starejših agregatov.

Sodeč po neobjavljenih podatkih izkopavanja M. Brodarja v letih 1980-1986 opazimo nedvoumni znak - kot je povečana količina agregatov in oblog, obarvanih s sekundarnimi železovimi oksidi - ki kaže na podobno povečanje padavin kot v OIS 3, ponovno v globini 10-12 m (plasti 24-26). Ali to poteka na enak način naprej, skladno z glacialno-interglacialnimi cikli, prav do potencialne izjemne globine 50 m?

Primerjava volumske mase z recentnim standardom za najdišče (1,09 g cm⁻³), ki odraža zastopanost agregatov, ki jo povežemo s količino padavin, razkrije, da je bilo v mlajšem delu OIS 3 (35 ka-45 ka) manj padavin kot v OIS 1 (holocen). V starejšem delu OIS 3 (45 ka-55 ka) je bilo padavin več, v OIS 5 pa spet manj kot v OIS 1.

Če podatke o paleopadavinah na podlagi agregatov, izjedkanih kosti in reliefno korodiranih klastov, primerjamo s podatki o paleotemperaturi na podlagi postsedimentnih kongelifraktov (PSK), ugotovimo, da se podatki smiselno dopolnjujejo.

Primerjava PSK iz profila (sl. 5 a) z recentnim standardom za najdišče, ki je 6,5 % ± 2,6 % (= 3 SE) oziroma 4,4 % ± 3,2 % (= 3 SE), pokaže, da je bilo v večjem delu OIS 3 hladneje kot v holocenu, v OIS 5 pa so bile temperature blizu holocenski vrednosti (za podrobnosti glej Turk et al. 2001!). Nižje temperature zraka v OIS 3 kot v OIS 1 in OIS 5 so povečale kongelifrakcijo v



Sl. 6: Mediana ter spodnji in zgornji procentni delež vrednosti povprečnega volumna (povprečne velikosti) zrn v OIS 3 (plasti 2 - (11-12) in OIS 5 (plasti (?12-13) - 23). Odstotek plasti v OIS 3 oziroma OIS 5, ki imajo različno povprečno velikost zrn, je razlika med zgornjim in spodnjim procentom v legendi posameznega grafikona. a) Drobnejše frakcije, ki so nastale pretežno postsedimentacijsko s prepevanjem na/v tleh. b) Debelejše frakcije, ki so nastale pretežno sinsedimentacijsko s prepevanjem jamskega svoda.

Fig. 6: Median and lower and upper percentage share values of average volume (size) of clasts (grains) in OIS 3 (Layers 2 - (11-12) and OIS 5 (Layers (?12-13) - 23). The relative share (%) of layers in OIS 3 or OIS 5, which have a different average size of grains, is the difference between the upper and lower percentage in the legend of individual graphs. a) Finer fractions which were created predominantly post-sedimentary with weathering on/in the ground. b) Coarser fractions which were created predominantly syndepositionally with weathering of the cave ceiling.

plasteh, datiranih v OIS 3 (v številu PSK se glede na mediano razlikuje 70 % vseh plasti v OIS 3 in OIS 5!). To se kaže tako v večjih masnih deležih ($\chi^2 = 299,95$, $p < 0,001$, $V = 0,15$, $N = 13430$) kot v večjih dimenzijah vseh vrst kongelifraktov v OIS 5 (sl. 6 a). Sicer pa je splošna podoba zrnivosti v jamskem okolju izredno zapletena zaradi prisotnosti dveh genetskih populacij klastov, tj. sinsedimentacijskih in postsedimentacijskih klastov.

Največji kongelifrakti obstajajo v plasteh 10-11 in 11-12. Njihov povprečni volumen je $2,45 \text{ cm}^3$. Povezujemo jih z maksimalnim sinsedimentacijskim delovanjem zmrzali, do katerega je prišlo v OIS 4. Ta izotopska stopnja v našem profilu žal ni zastopana z večjo količino sedimentov. Enako velja tudi za OIS 2.

Paleopadavine niso direktno povezane s paleotemperaturo, čeprav se občutno znižanje paleotemperature ujema z občutnim povečanjem paleopadavin (prim. sl. 5 a in 3 a). Nekaj podobnega se kaže pri reliefno korodiranih klastih (RKK), ki narastejo skoraj istočasno s strukturnimi agregati in postsedimentnimi kongelifrakti (PSK) (sl. 5 b). Kondenzacija vodne pare in RKK kot posledica tega procesa je bolj kot s padavinami povezana s temperaturo, natančneje s temperaturnimi razlikami med zunanjim in jamskim okoljem. Velika temperaturna nihanja, značilna za OIS 3, so pospešila kondenzno korozijo, kar se kaže v večjih deležih RKK, ki nastopajo v časovnem odmiku s povečanjem kondenzne vlage v primerih, ko gre za ostanke korodiranega jamskega svoda. V obdobjih hladnejše klime se je povečala tudi akumulacija sinsedimentacijskih klastov, ki jih najbolj zastopajo klasti z reliefno korozijo. Zato sta krivulji RKK in PSK na splošno precej podobni, medtem ko med obema parametroma ni velike korelacije: $R = 0,427$, $p = 0,004$ (Turk et al. 2001, sl. 4: a, d).

Primerjava zastopanosti RKK z recentnim standardom za najdišče (4 %) razkrije podobne razmere za kondenzacijo vodne pare v OIS 1 in OIS 5, v OIS 3 pa je bila kondenzna vlaga bistveno večja kot v OIS 1. Vzrok za povečanje so bile, kot rečeno, nižje temperature in njihova večja nihanja (prim. sl. 5 a).

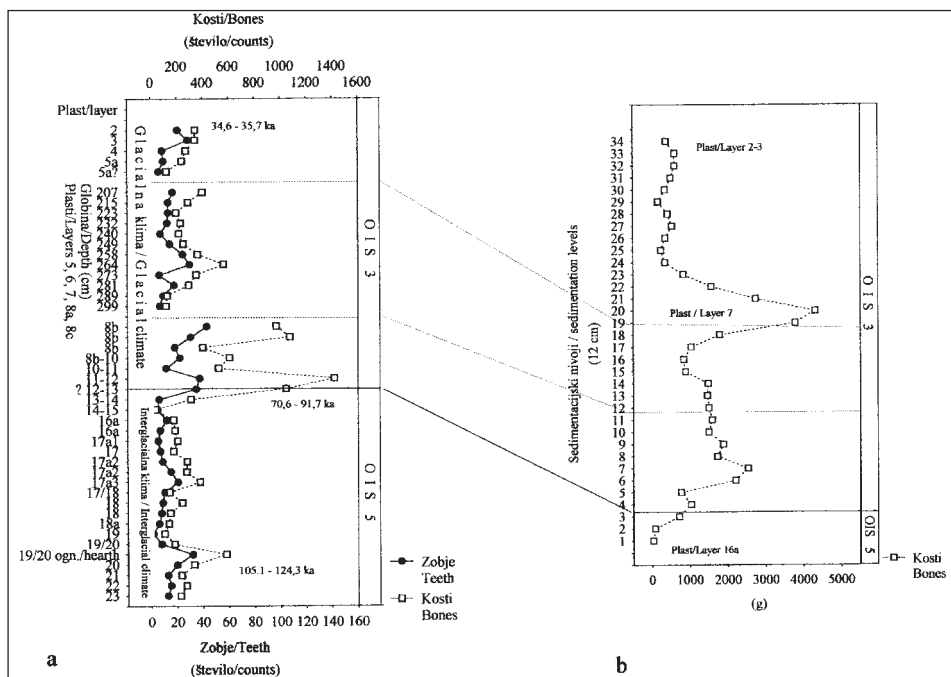
Rezultati morfološke analize dolomitnih klastov se dobro skladajo z drugimi rezultati granulometrične analize, če razdelimo klaste v dve genetski skupini:

1. Frakciji blokov, $F (65 \text{ mm} < x)$, in debelega grušča, $F (40 \text{ mm} < x < 65 \text{ mm})$, ki sta nastali sinsedimentacijsko, pretežno z razpadanjem jamskega svoda.
2. Frakcije, manjše od srednjega grušča, $F (x < 40 \text{ mm})$, ki so nastale postsedimentacijsko, pretežno z razpadanjem blokov in debelega grušča na ali v jamskih tleh, ter z zgodnjo diagenozo, pri kateri so nastali agregati.

Glede na razlike median (in/ali pripadajočih spodnjih in zgornjih procentov, ki imajo namenoma tolikšen razpon, da vsebuje različne velikosti klastov) pri srednjem in drobnem grušču v zgornjem (OIS 3) in spodnjem delu profila (OIS 5), kjer prevladujejo povprečno večji klasti (sl. 6 a), sklepamo, da je bilo v tem obdobju (OIS 3) postsedimentacijsko preperevanje večje kot v obdobju OIS 5. Nasprotno velja za bloke in debeli grušč, pri katerih je mediana velikosti večja v zgornjem delu profila (OIS 3) kot v spodnjem (OIS 5) (sl. 6 b), kar nas vodi do sklepanja, da je bilo sinsedimentacijsko preperevanje v obdobju OIS 3 večje kot v obdobju OIS 5.

Pomembno je, da se v zgornjem delu profila zmanjšujeta tako masa kot povprečna velikost drobnega in srednjega grušča ob hkratnem povečanju mase melja in peska, vključno s strukturnimi agregati. To dokazuje, da sta v obdobju OIS 3 hitreje napredovala tako preperevanje kot diageneza.

Če izločimo skrajne vrednosti ('outlayers' in 'extremes'), vidimo da se pri različnih frakcijah povprečne velikosti klastov razlikujejo samo v 30-56 % vseh analiziranih plasti, ki pripadajo bodisi OIS 3 bodisi OIS 5. V ostalih plasteh, ki obsegajo 70-44 % vseh analiziranih plasti, se povprečne velikosti klastov pri različnih frakcijah ne razlikujejo. To je lahko posledica različnih vzrokov, med katerimi menimo, da je na prvem mestu spet klima. V obdobju OIS 3 ta ni bila enotna, temveč so jo sestavljale hladne in tople faze, medtem ko je bila v OIS 5 pretežno topla (prim. Turk et al. 2001, sl. 9). Drugi upoštevanja vreden vzrok je ta, da so s preperevanjem jamskega svoda v posebnih razmerah, poleg velikih klastov, lahko nastali tudi majhni klasti. Zato je iluzorno pričakovati, da se bodo vsi elementi sedimentacijsko-klimatskega modela popolnoma ujemali s stvarnostjo. Ujemanje je trenutno najboljše pri agregatih, ki jim sledijo oblike klastov.



Sl. 7: Krivulja zastopanosti fosilnih ostankov jamskega medveda > 3 mm v Divjih babah I. a) Datirana krivulja številčnosti vseh fosilnih ostankov, sestavljena iz povezanih in nepovezanih podatkov v različnih predelih jame (glej Turk et al. 2001, sl. 1!), standardiziranih na enak volumen sedimenta. Starosti so cenjene na osnovi ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ in ESR analiz. b) Povezana krivulja mase fosilnih kosti, standardizirane na enak volumen sedimenta v drsečih sedimentacijskih nivojih tipičnega profila v kvadratu 25, ki obsega plasti 2-16a.

Fig. 7: The distribution of fossil cave bear (*Ursus spelaeus*) remains > 3 mm at Divje babe I. a) The total number of all fossil remains normalized to sediment volume in the composite sedimentary profile constructed from interrupted and uninterrupted profiles in various parts of the cave at Divje babe I (see Turk et al. 2001, Fig. 1). The ages are derived from ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, and ESR analyses. b) The total weight of fossil bones normalized to sediment volume in the smoothed sedimentation levels representing an uninterrupted typical curve for Quadrata 25 which covers deposits from Layers 2 to 16a.

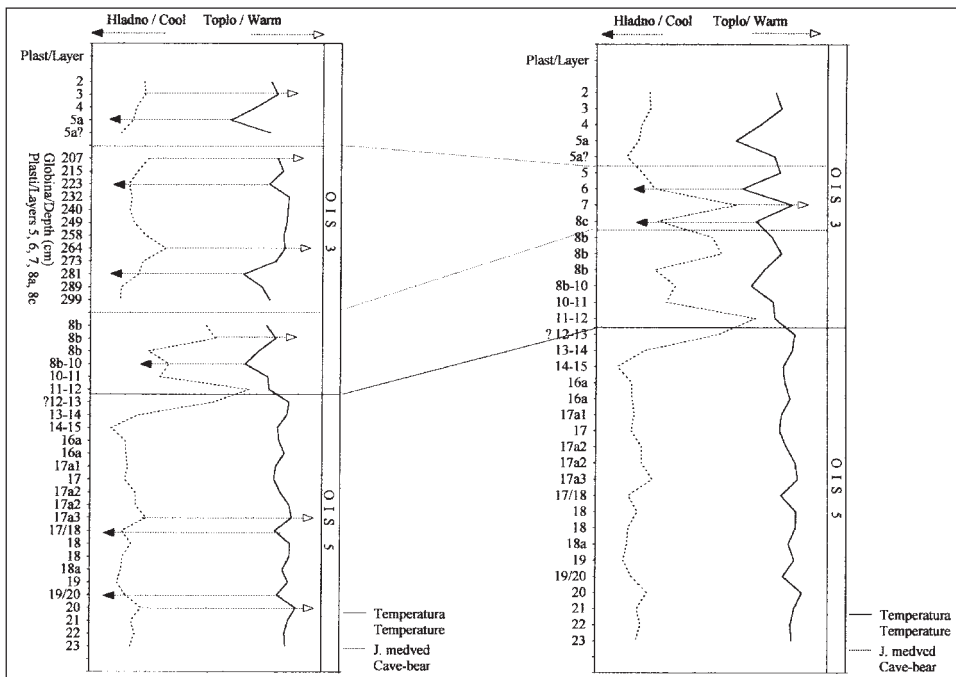
Na koncu si lahko postavimo vprašanje, kako so domnevne klimatske spremembe vplivale na obiskovalce (in naseljence) v jami: neandertalca in jamskega medveda.

Fosilne ostanke jamskega medveda (FOJM) v stratigrafskem nizu lahko razložimo s pogostnostjo (frekvenco) obiskov jame-brloga. Pri tem smo si pomagali tako s tipičnim kot običajnim sestavljenim profilom. Med 21 različno lociranimi profili z množičnimi FOJM lahko pojasnimo samo povprečno 25 % variacij v količini fosilnih ostankov. To je več kot 2-krat manj kot pri agregatih. Povprečni determinacijski koeficient r^2 smo tudi tokrat izračunali na podlagi 105 korelacijskih koeficientov. Težje razložljivih je povprečno 75 % nepojasnjenih variacij.

Povežemo jih lahko z ključnimi vplivi najrazličnejših tafonomskih dejavnikov. Drugače povedano, variabilnost količine FOJM je večja v lateralni kot vertikalni smeri oziroma večja v plasteh kot med plastmi. Podobno verjetno velja za paleolitske najdbe.

Jamski medved je obiskoval jamo zelo pogosto v starejšem delu OIS 3 (sl. 7 a; prim. tudi Turk, Dirjec 1989, t. 1 in sl. 4 za vhodni del jame, ki ga tukaj ne obravnavamo), kar lahko razložimo delno z zaostrovanjem klime in delno s številčnejšo živo populacijo. Zastoj v sedimentaciji na meji OIS 5 in OIS 3 ni ali je (?) bistveno vplival na povečano akumulacijo ostankov (sl. 7 a, b). Pač pa je obseg tanatocenoze nedvomno vplival na količino fosfatnih agregatov. Ugotavljanje korelacije med agregati in FOJM je zapleteno zaradi posrednega in nelinearnega odnosa. Med količino FOJM in (fosfatnimi) agregati ni opaziti večje stratigraske zakasnitve (prim. sl. 3 a in 7 a).

Na podlagi narave razpoložljivih podatkov in zaradi majhne časovne ločljivosti geološkega zapisa ne moremo podrobneje razložiti odnosa jamski medved - klima. Vsekakor je število obiskov jame nihalo z izredno veliko amplitudo. V OIS 5 in mlajšem delu OIS 3 so bili obiski redki toda

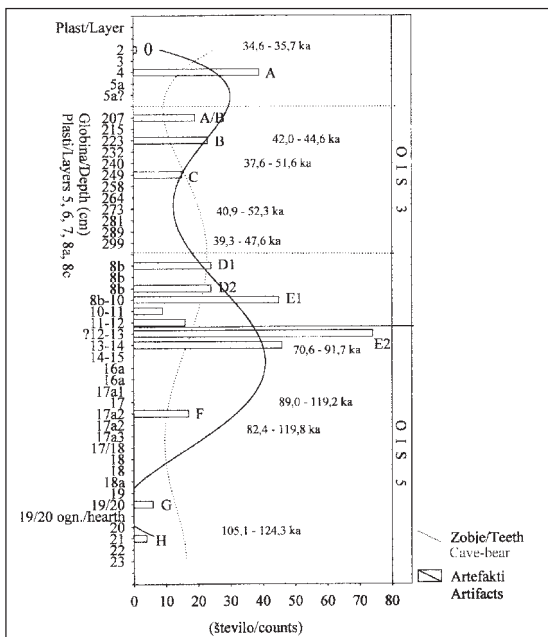


Sl. 8: Temperaturna krivulja na podlagi deležev posedimentnih kongelifraktov in krivulja zastopanosti fosilnih ostankov jamskega medveda v istem profilu, sestavljenem iz povezanih in nepovezanih podatkov v različnih predelih jame (glej Turk et al. 2001, sl. 1!).

Fig. 8: Temperature curve on the basis of shares of post-sedimentary congelifracsts and curve of representation of fossil remains of cave bear in the same composite sedimentary profile constructed from interrupted and uninterrupted profiles in various parts of the cave (see Turk et al. 2001, Fig. 1).

stalni, v starejšem delu OIS 3 pa zelo pogosti, vendar nestalni. Nestalnost bi lahko razložili z nestabilno klimo ali s spremenljivimi pogoji v jami-brlogu, npr. z občasnimi močnim zamakanjem, občasnimi permafrostom, ki je spremenil jamo v ledenico, občasnimi motnjami, zaradi navzočnosti ljudi ipd. Velik obisk bi lahko smiselno razložili z znižanjem temperature, vendar to ni mogoče, ker sta si krivulji ostankov jamskega medveda in paleotemperature preveč podobni (sl. 8). Zato menimo, da so dinamiko populacije jamskega medveda v Divjih babah I uravnavali tudi drugi, neklimatski dejavniki.

Nekoliko drugačno podobo ponujajo paleolitske najdbe, ki smo jih poskusili sinhronizirati z vzorci iz profila (sl. 9). Večina najdb iz stopnje OIS 5 in starejše stopnje OIS 3 je iz vhodnega dela, večina najdb iz mlajše OIS 3 pa iz osrednjega dela jame. Gostoto najdb lahko enačimo s pogostnostjo in trajanjem obiskov, številčnostjo obiskovalcev oziroma navzočnostjo neandertalcev na širšem območju jame. Največja gostota najdb je v vrhnjem delu OIS 5 in v OIS 3. Zastoj v sedimentaciji na meji OIS 5 in OIS 3 je lahko bistveno vplival na akumulacijo najdb. Vse kaže, da so ljudje jamo uporabljali predvsem med poslabšanjem klime na prehodu v OIS 4 in nekoliko manj v bolj mrzlih obdobjih v OIS 3 (prim. sl. 5a in 9). V toplejših klimatskih fazah jama za ljudi ni bila tako zanimiva. V najbolj vlažnem obdobju OIS 3 je bila jama enako obiskana kot v preostalem delu OIS 3.



Sl. 9: Številčna zastopanost paleolitskih artefaktov, večjih od 10 mm v musterjenskih horizontih A-H, prilagojena datiranemu sedimentološkemu profilu, sestavljenem iz povezanih in nepovezanih podatkov v različnih predelih jame (glej Turk et al. 2001, sl. 1!). Starosti so cenjene na osnovi ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ in ESR analiz. Dodani sta krivulji, ki najbolj ustrezata porazdelitvi vseh artefaktov in vseh najdb zob jamskega medveda, večjih od 3 mm (glej sl. 7 a). Število artefaktov ni standardizirano na enak volumen sedimenta.

Fig. 9: The distribution of Palaeolithic finds larger than 10 mm in the Mousterian archaeological horizons A-H at Divje Babe I correlated to dated composite sedimentary profile constructed from interrupted and uninterrupted profiles in various parts of the cave (see Turk et al. 2001, Fig. 1). The ages are derived from ^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, and ESR analyses. The smoothed curves for all Palaeolithic finds and the distribution of cave bear teeth larger than 3 mm are shown (see Fig. 7 a). The artefact data have not been normalized to account for differences in sedimentary volume in each archaeological horizon.

Kakšna je bila interakcija med paleolitskimi obiskovalci jame in jamskim medvedom, ni mogoče sklepati na podlagi tukaj zbranih podatkov. Največjo oviro pomeni premajhna časovna ločljivost geološko-paleontološkega in geološko-arheološkega zapisa. Težave povzročata tudi časovno povezovanje obeh zapisov zaradi različne gostote najdb. Zato smo prisiljeni iskati kompromisne rešitve med zelo natančnimi podatki iz profila, ki pa niso zanesljivi v statističnem smislu in manj natančnimi prostorsko razporejenimi podatki, pri katerih lahko ocenimo tudi njihovo zanesljivost. Precej zanesljiv pa je sklep: iz hladnejše in manj stabilne klime v OIS 3 se je ohranilo več paleolitskih ostankov (vključno z ognjišči) in več ostankov jamskega medveda, kar potrjuje, da se je povečalo zanimanje za jamo-brlog oziroma jamo-pribežališče. Zanimivo je tudi to, da je iz pogostnosti obeh vrst najdb očitno, da se najmanj trije vrhunci obiskov jamskega medveda časovno ne ujemajo z najmanj dvema vrhuncema obiskov neandertalca (sl. 9). To nakazuje možnost vsaj občasnega tekmovalnega odnosa med raznovrstnimi uporabniki jame, neandertalcem in jamskim medvedom. Ugotovitev bi bilo treba v bodoče preveriti na podlagi bolj zanesljive neposredne povezanosti med najdenimi artefakti in fosilnimi ostanki jamskega medveda v sedimentacijskih nivojih, ki obsegajo dovolj veliko površino, da so v njih zajeti tudi redki najdeni artefakti.

V vseh profilih manjkajo zaradi sedimentacijske prekinitve sedimenti stopenj OIS 2 in OIS 4. Sedimentacijske hiate za OIS 2 in OIS 4 poznamo tudi iz drugih jamskih najdišč, predvsem v Alpah (Campy & Chaline 1993; Bintz et al. 1997). V obeh glacialnih vrhuncih, ki sta drugod datirana v OIS 2 in OIS 4, se je v Divjih babah I oblikoval permafrost, ki je bil vsaj v OIS 2 zaradi senčne lege in močno zmanjšanega jamskega vhoda brez aktivne plasti. Takšna oblika permafrosta je lahko konzervirala prejšnje stanje s tem, da se je jama spremenila v ledenico, kar je začasno odvrnilo vse njene prejšnje uporabnike. Zato ni nastal noben izrazitejši palimpsest v vseh večjih hiatih, dokazljivih z radiometričnimi datumi in analizo reliefno korodiranih klastov (Turk et al. 2001).

RAZPRAVA

To bomo omejili na strukturne agregate in na domnevno povezavo med njimi in padavinami. Za razlago agregatov na podlagi postavljene domneve je ključnega pomena istodobnost nastanka klastičnih sedimentov, agregatov in vplivov paleoklime. Vsaka časovna zakasnitev nastanka strukturnih agregatov za sedimentacijo, ki bi bila bistveno večja od razmika med dvema sedimentacijskima dogodkoma, bi omajala praktično vrednost naše klimatske razlage. Najmanjši ocenjeni razmik med dvema sedimentacijskima dogodkoma (sedimentacijskima nivojema debeline 12 cm) v Divjih babah I je približno 600 let, in sicer v plasti 8. Zaradi sedimentacijskih vrzeli se ta razmik v raziskanem delu profila podvoji. Vse spremembe sedimentov so torej nastale v intervalih, ki so bili dolgi najmanj 600 do 1200 let. Takšna je tudi največja ločljivost geološkega zapisa. Vendar vemo, da časovni intervali niso bili enako dolgi (Turk et al. 2001, tab. 2). V posameznih primerih so bili lahko bistveno daljši ali krajši.

Sedimenti v Divjih babah I so pretežno, morda celo popolnoma avtohtoni. Nastali so s kršenjem jamskega stropa in sten ter so bili postsedimentacijsko deloma spremenjeni. Večina teh sprememb (jedkanje-raztapljanje, kongelifrakcija, cementacija; nastajanje fosfatnih in kalcitnih agregatov in breč) je nastala na površini jamskih sedimentov oziroma na jamskih tleh in v nekaj zgornjih centimetrih, morda tudi decimetrih odloženega sedimenta, večinoma pred odložitvijo naslednje debelejšje plasti. Zato so bili v tem času sedimenti izpostavljeni delovanju zunanjega

jamskega okolja. To je s spremembo fizikalnih parametrov, tj. temperature in vlage (vode) ter z biološko aktivnostjo, tj. prisotnostjo jamskega medveda in drugih organizmov, vključno z neandertalcem, vplivalo na sestavo sedimentov, saj je povzročilo primes organskih snovi ter nastanek fizikalno-kemičnih parametrov, ki so povratno vplivali na fizikalne in kemične spremembe jamskega sedimenta.

Posamezni primeri v Divjih babah I, kot so agregati z odtisi dlak, agregati v ohranjenih cementiranih ali samo steptanih hodnih površinah, agregati v žgani površini ognjiščne kotanje, dokazujejo, da je zgornja domneva o spreminjanju površinskega dela sedimenta pravilna.

Sprememba temperature, predvsem v njenem nizkem območju, okoli ledišča vode, ki je značilna za mrzla obdobja pleistocenske klime, je povezana z delovanjem zmrzali in močnejšo kongelifrakcijo (Turk et al. 2001).

Sprememba količine vode v jami pa je vplivala na kemično stabilnost oziroma nestabilnost posameznih komponent sedimenta ter deloma na njihovo migracijo. Ker v jamskih sedimentih nismo našli sledov delovanja aktivnega vodnega toka, je največja količina vode v jami pritekala navpično s površja skozi strop, preostanek pa predstavlja kondenzna vlaga, ki je skupaj z vlažnim zrakom prihajala skozi spremenljivo vhodno odprtino. Prisotnost vode je s spremembami temperature vplivala na jamsko mikrookolje, za katerega so značilne drugačne svetlobne, temperaturne in vodne razmere od tistih, ki obstajajo na prostem. Kljub temu so se spremembe atmosferske klime kazale tudi v jamski mikroklimi in posredno v sedimentih. Če so bile spremembe sedimenta dovolj velike in razpoznavne, jih lahko uporabimo za razlago posameznih klimatskih parametrov. Interpretacijo povezav posameznih parametrov sedimentov, ki jih predstavljajo kongelifrakti, agregati, reliefno korodirani klasti in kosti, velikost klastov, količina kosti, zob in artefaktov, z nekaterimi klimatskimi parametri, kot so temperatura, količina padavin, vlaga, smo deloma že podali v prejšnjem poglavju (glej tudi Turk et al. 2001!). En največjih problemov pa je razlaga okoliščin, v katerih so nastali agregati. Na tem mestu se bomo tega vprašanja le deloma dotaknili.

Jamska tla so običajno enovita. V Divjih babah I bi jih lahko primerjali z litosolom in regosolom. Vendar so v sedimentih Divjih bab I opazni vsi procesi, ki so sicer značilni za bolj razčlenjena tla: redukcija in oksidacija, eluvijacija (spiranje) in iluvijacija (akumulacija) in cementacija s katero je povezano nastajanje strukturnih agregatov.

Fosfatni in kalcitni agregati so avtogene tvorbe, ki so v Divjih babah I nastale večinoma na dva načina, ki sta povzročala izločanje fosfatnega in kalcitnega cementa, ali z njuno kombinacijo:

1. Fizikalno-kemične spremembe so vplivale na izločanje posameznih cementov iz ionskih in koloidnih organskih in mineralnih raztopin, predvsem zaradi spremembe temperature in/ali izsušitve sedimenta tal, ki se je nasičil z vodo.
2. Izločanje teh snovi pri zamrzovanju in odtaljevanju sedimenta tal, ki ni bil nasičen z vodo.

Vsi ti procesi: izsuševanje, temperaturne spremembe in zmrzovanje ter odtaljevanje, ki so v Divjih babah I dokazljivi tudi z drugimi spremembami v sedimentih, se dogajajo tik pod površjem (Čirić 1986).

Razen tega je voda spirala in ponovno odlagala različne snovi, predvsem Ca- in Mg-karbonat. Akumulacijski ali iluvijalni horizont ni v takih primerih prav globoko, navadno nekaj 10 cm pod površjem.

V izjemnih primerih se je lahko cement izločil tudi iz talne vode, ki se je kapilarno dvignila in izhlapela. Tako bi se npr. lahko izločil CaCO_3 v obliki drobnih zrn in kongrecij v plasti 17/18 (glej Čirić. 1986, 241). Ta proces lahko poteka tudi v večji globini.

Za nastanek fosfatnih agregatov je poleg primarnih fizikalno-kemičnih razmer, ki so odvisne od količine in sestave vodnih raztopin, pomemben predvsem izvor fosforja (P). Ta je poleg kalcita (Ca) glavna komponenta fosfatnega cementa večine strukturnih agregatov in breč v Divjih babah I. P izvira skoraj izključno iz živalskih ostankov. To potrjujejo vsebnosti P, ki so v plasteh, bogatih s fosilnimi ostanki jamskega medveda, zelo povečane (do 28 % P_2O_5 ali do 12,5 % P), tako da dosega ali celo presega količino P v fosilnih in svežih kosteh (Turk et al. 1988). V prsti, ki nastaja na prostem, je samo 0,01-0,1 % P_2O_5 (Čirić 1986, 146).

V talni raztopini je največ P, če je pH vrednost 6-7. Pri višjih vrednostih pH se zmanjšuje topnost Ca-fosfata, pri nižjih vrednostih pH pa nastajajo težko topni Al- in Fe-fosfati. Prosti P ioni prehajajo relativno hitro iz raztopin v težko topne kristale kalcijevega fosfata. Težko se razkrajajo tudi organske fosfatne spojine. Fosforna kislina ima slabo migracijsko sposobnost, ker se hitro adsorbira (Čirić 1986, 146 s).

V izrazito bazičnih plasteh Divjih bab I (pH 7,88-8,55; Turk et al. 1988, 110), v katerih je bazičnost posledica kemične reakcije Mg in Ca z vodo, je (bilo) zelo malo možnosti za migracije fosfatov, ki so v bazičnem okolju obstojni, medtem ko se v kislem okolju njihova topnost poveča. Vrednost pH so lahko začasno znižale predvsem organske spojine v obliki (para)humatov, ki jih je voda lahko prinašala s površja, če so bila nad jamo tla z izrazitim humusnim horizontom (A horizont), ali pa so to povzročili obilni organski ostanki v jami. V vsakem primeru pa je bila za nastanek fosfatnih in drugih agregatov potrebna večja količina vode, kot jo danes vsebujejo sedimenti Divjih bab I. Pri normalni vlagi agregati sicer lahko nastanejo, če obstajajo ustrezne okoliščine, vendar so manj obstojni oziroma neobstojni. Njihovo obstojnost lahko poveča večkratno zamrzovanje in odtaljevanje sedimentov (tal), ki pa ne smejo biti popolnoma nasičeni z vodo (Čirić 1986, 99; Williams & Smith 1989, 140). V primeru popolne nasičenosti z vodo pomeni zamrznitev sedimenta razpad strukturnih agregatov, tudi obstojnejših (op. c.). Zato bi se lahko v takšnih razmerah spremenila zastopanost agregatov, kar bi vplivalo na klimatsko interpretacijo na podlagi količine agregatov. Zakaj so agregati razpadli, če so, je mogoče ugotoviti samo v zgubanih plasteh 2-5, če je bil vzrok za gubanje pritisk večje mase ledu v sedimentih.

Pri nastajanju strukturnih agregatov se postavlja tudi vprašanje vertikalne mobilnosti posameznih komponent sestava cementov v agregatih in brečah ter časa njihovega nastanka. Določena vertikalna mobilnost sestavnih komponent cementov je nedvomno obstajala, vendar njene globine in obsega ne moremo zanesljivo določiti, menimo pa, da tako globina kot obseg migracije, glede na poznana dejstva, nista bila velika.

Časovno so agregati nastali po odložitvi sedimenta in organskih ostankov, ki jih je prispeval predvsem jamski medved. Količina ostankov jamskega medveda se je tudi med nastajanjem agregatov v določenem horizontu verjetno relativno hitreje povečevala kot količina novega mineralnega dela sedimenta. Nastajanje agregatov v določenem horizontu se je, kot kažejo posamezni primeri, končalo ali zelo upočasnilo po odložitvi večje debeline novih sedimentov. Iz pedologije je znano, da povzroča odlaganje sedimentov na že oblikovana tla, v našem primeru na diagenetsko spremenjeno jamsko površinsko plast, 'fosilizacijo tal'. Če je na novo sedimentirana plast tanka, polagoma nastanejo kompleksna tla. V našem primeru je to kompleksno diagenetsko spremenjena površinska plast, ki je v spodnjem delu ohranila prvotne lastnosti, v zgornjem delu

pa so se zgodile določene spremembe (glej Čirić 1986). Tip »fosilnih« ali »kompleksnih tal« je verjetno najbolj pogost tip jamskih tal v sedimentih Divjih bab I, pa tudi v drugih jamskih okoljih, kjer je neenakomerna sedimentacija močnejša kakor erozija.

Med količino fosfatnih agregatov in fosilnih ostankov je opazna precejšnja sinhronost, vendar se postavlja vprašanje, kdaj in koliko so ostanki jamskega medveda vplivali na agregate kot domnevni klimatski indikator.

Med agregati in množičnimi fosilnimi ostanki kot potencialnim virom fosfatnih cementov v agregatih je pojasnenih nekoliko manj kot 50 % variacij. Ostalih 50 % variacij je povezanih z različnimi drugimi vplivi, predvsem s paleo- in mikroklimo, natančneje s količino padavin in od njih odvisnega dotoka vode v jamo.

Pogostnost obiskov jamskega medveda v jami je poenostavljeno povedano odvisna od številčnosti žive populacije in mikroklimo v jamskem brlogu. Na številčnost populacije, ki je živela v okolici Divjih bab I, je zaradi vegeterjanskega načina prehranjevanja (Nelson et al. 1998; Šercelj & Culiberg 1991) vplivala razpoložljiva rastlinska hrana, torej vegetacija. Tip vegetacije pa je bil neposredno odvisen od klime. Več vlage je nedvomno pomenilo več hrane in posledično večjo populacijo jamskega medveda. Hkrati je večja vlaga poslabšala bivalne razmere v jami. Če so padavine in/ali temperatura močno nihale, je to vplivalo na pogostnost obiskov jamskih medvedov (in ljudi) v jami kljub stabilni živi populaciji. Vse naštetu se dobro ujema s podobo porazdelitve fosilnih ostankov jamskega medveda v obdobju OIS 3.

Posebno vprašanje pomeni prostorska variabilnost agregatov. Ta je v lateralni smeri manjša kot v vertikalni. Večinski del vertikalnih variacij lahko domnevno pripišemo vplivom klime oziroma padavin. Padavine so neposredno vplivale na količino podzemne vode, od katere je bil odvisen nastanek agregatov. Določen vpliv na dotok podzemne vode je lahko imela tudi spremenjena topografija nad jamo, predvsem nagib pobočij, od katerega je odvisen površinski in podpovršinski odtok. Vendar so takšne spremembe v tako kratkem času malo verjetne. Poleg tega so nepovratne in se zato ne skladajo s cikličnim spreminjanjem količine agregatov. Pač pa je na nihanje dotoka podzemne vode lahko močno vplivala vegetacija nad jamo in njeni ciklusi, predvsem prisotnost in odsotnost gozda. Gozd iglavcev, ki je večkrat dokazan s fosilnim pelodom (Šercelj & Culiberg 1991), je lahko tudi za polovico zmanjšal infiltracijo padavin (Čirić 1986, 123-125). Brez posledic za diagenozo jamskih sedimentov ni ostala niti občasna neporaščenost in erodiranost terena nad jamo. V takšnih razmerah ni mogla, kljub izdatni vlagi, nastajati siga, ki je tudi pomemben klimatski kazalec (Kempe & Rosendahl 1999).

Od skupno 34 sedimentacijskih nivojev je izražen gradient zastopanosti agregatov samo v dveh nivojih. Povsem nepričakovan je izjemen in izrazit gradient agregatov v krioturbatno nagubanem horizontu plasti 2-4 (sl. 2 a-b). Podoben gradient, vendar v obratni smeri, smo ugotovili samo še v plasti 5. Kako sta oba nivoja z gradientom nastala, ni popolnoma jasno. Možne so različne razlage, vendar jih ne bomo navajali. Gradient agregatov v zgubanih plasteh nas opozarja na dejstvo, da strukturni agregati nastajajo in tudi propadajo, odvisno od razmer v makro- in mikrookolju, vendar kontinuiteta nastajanja strukturnih agregatov ni splošno pravilo, kot na primer pri manj obstojnih agregatih (Čirić 1986, 101).

Fosfatnih agregatov ne moremo neposredno povezovati s kalcitnimi agregati, ki se od fosfatnih agregatov razlikujejo tudi po volumski masi (VM), in raznimi brečami. Kalcitni agregati so v Divjih babah I sorazmerno redki in omejeni predvsem na delno nezasičeno površinsko plast 2 in 1, ki sta datirani v OIS 3 in OIS 1 ter na plast 17/18 (prim. VM v sl. 3 a), ki je datirana v OIS 5

(Turk et al. 2001). V nekaterih primerih so agregati sicer pomemben sestavni del breč, v večini primerov pa med seboj niso povezani in nastopajo kot strukturni delci. S povezavo (cementacijo) agregatov in klastov ali samo klastov so nastale breče. Breče se v profilu pojavljajo zgolj sporadično, v prostoru pa samo izjemoma strnjeno (Turk & Bastiani 2000). Zato so manj zanesljive za sklepanje o paleoklimi kakor strukturni agregati.

Lokalno (nestrnjeno) pojavljanje breč v posameznih plasteh lahko razložimo z večjim pretokom (dotokom) vode na določenih mestih v jami.

Pomembno je tudi vprašanje, kako in koliko je na vse analizirane karakteristike sedimentov, ki nakazujejo določene klimatske parametre vplival paleolitski človek. Njegov vpliv se da neposredno opaziti vsaj v dveh primerih:

1. Pri povprečnem volumnu klastov (PVK) v debelejših frakcijah.
2. Pri fosilnih ostankih jamskega medveda (FOJM).

Pri jemanju vzorcev iz profila smo v plasti 19/20 naključno našli (dislocirane?) ostanke ognjišča. Podrobna analiza, ki je zajela tudi ognjiščne sedimente, je pokazala, da so v ognjišču klasti debelejših frakcij povprečno bistveno manjši (bloki 29 cm³, grušč 1,9 cm³) kot v krovlini in talnini (bloki 73 in 97 cm³, grušč 2,9 in 2,6 cm³). V ognjiščni plasti je bilo tudi bistveno več FOJM kot v krovlini in talnini (sl. 7 a). Oboje bi lahko razložili z delovanjem človeka, npr. z odstranjevanjem večjih kamnov iz ognjiščnega prostora in s kopičenjem ostankov jamskega medveda zaradi določene/ih dejavnosti. Ker v ognjiščni plasti ni zaznati lokalnega porasta ostrorobih klastov, ki bi bili podobni posedimentnim kongelifraktom (sl. 5 a), ni prišlo do zmanjšanja PVK zaradi termičnih obremenitev z ognjem, kar bi bilo tudi mogoče. Pred dokončno odločitvijo za predlagano razlago sprememb v PVK in akumulaciji FOJM bi morali vse te vidike preučiti tudi v drugih ognjiščih, vendar to v našem najdišču ni več mogoče v celoti storiti.

Rezultat, ki se nanaša na klimo v starejšem delu OIS 3 v profilu Divjih bab I, se dobro ujema z rezultati transformiranih podatkov pelodnih raziskav v nekaterih ključnih pelodnih profilih v pasu današnje zmerne klime. Okoli 50 ka je bilo namreč marsikod ugotovljeno zelo vlažno obdobje (Guiot et al. 1989; Allen et al. 1999), kar se kaže tudi v nekaterih jamskih sedimentih (Miskovsky 1974, 372; Laville et al. 1986). Na področju Slovenije bi temu obdobju najbolje ustrezal bivši interstadial WI/II, za katerega so v jamskih sedimentih značilne izdatnejše primesi ilovic. Te ilovice (alotone) so bile sprane v jame (prim. Osole 1986, 8) in najbrž spadajo v fazo ali faze (würma) z močno povečanimi padavinami, ne pa v izključno toplo klimo, v kateri bi po nekaterih razlagah tudi te ilovice (avtohtone) nastale (prim. Brodar 1959; 2001). Izvor teh ilovic sta pri nas kalkokambisol in jerovica (»terra rossa«), tj. tla, ki so nastala na apnencu oziroma dolomitu in ki vsebujejo tudi kasnejše eolske primesi (Čirić 1986, 210 in naprej). Ker sta apnenec in dolomit slabo topna in ker vsebujeta manj kot 1 % netopnih ostankov, so takšna tla, ki nastajajo s počasno akumulacijo gline - z argiloakumulacijo namesto z običajno argilosintezo - in rubifikacijo, zelo stara; njihovi sedimenti (ilovice) pa so lahko prišli v jame predvsem s spiranjem. V sedimentih Divjih bab I ilovic ni, vsaj ne v večjih količinah. Ni jih pa zato, ker z raztapljanjem dolomita v jamskih sedimentih v tako kratkem času ni mogla nastati glina in ker nad jamo zaradi erozije niso mogla nastati kambična in druga kompleksnejša tla, iz katerih bi se lahko izpirala glina v kraško podzemlje. Imamo pa spremenjena ilovnata tla ponekod na pobočju pod jamo in verjetno tudi drugod v bližnji okolici.

SKLEPI

V vseh profilih, v katerih smo analizirali različne parametre sedimentov, fosilnih ostankov in artefaktov, je jasna meja med OIS 5 in OIS 3, ki jo lahko smiselno povežemo s spremembo klime. Ta je neposredno vplivala na to, kako so jamo uporabljale živali in kako ljudje.

Klima v OIS 3 (»interpleniglacial«) je bila nedvomno vlažnejša od klime v OIS 1 (holocen) in OIS 5 (»zgodnji glacial«). Sodeč samo po zastopanosti breč, ki jih je največ v OIS 1 in OIS 5, bi lahko sklepali tudi drugače, vendar manj zanesljivo.

Povečano vlago v OIS 3 lahko razložimo s podaljšanim trajanjem snežne odeje, in sicer ob hkratni sezonski prerazporeditvi padavin. Če vzamemo za izhodišče sedanji gradient, se je lahko zaradi zniževanja temperature, trajanje snežne odeje podaljšalo do 10-krat (Gams 1998; Ovsenik-Jeglič 2000). Če bi hkrati izginil iglasti gozd nad jamo, bi se vlaga v tleh povečala še za dodatnih 50 % (Čirič 1986, 122 in naprej). S podaljšanjem trajanja snežne odeje bi se podaljšala tudi hibernacija pri jamskem medvedu in s tem povečala možnost za smrt v brlogu. Seveda je to samo del razlage, s katero lahko pojasnimo povečano kopičenje fosilnih ostankov. Preostali del razlage je bolj ali manj odvisen od ugibanja.

Spremembe v temperaturi, značilne za pleistocen, so najbrž na širšem območju najdišča hitro povzročile prehod iz enega klimatskega območja v drugega: iz submediteranske v celinsko klimo, ki je danes značilna za osrednjo in vzhodno Slovenijo, iz submediteranskega padavinskega režima v celinskega, iz zelo vlažne v manj vlažno klimo. Hkrati so nastale zaradi vpliva klime le manjše spremembe v okolju, ki so primerljive z razlikami v sedanjih okoljih, značilnimi za različne predele Slovenije. Tako npr. niso gozdovi v OIS 3 v okolici Divjih bab I nikoli povsem izginili, v ekološko zelo občutljivi mikrofavni pa se živalske vrste niso zamenjale, tako kot se je to zgodilo severno od Alp (Šerclj & Culiberg 1991; Toškan 2002).

Trajanje snežne odeje je najbrž glavni dejavnik, ki je neposredno vplival na odlaganje in diagenozo sedimentov v Divjih babah I. Pri tem mislimo na vlago v širšem pomenu besede, povezano s temperaturo. Zato lahko pričakujemo v hladnejši klimi bistveno več podzemne vode spomladi, ko se topi sneg, kot v toplejši klimi, podobni današnji. Nižje temperature so s podaljšanim trajanjem snežne odeje vplivale na sezonsko prerazporeditev dotoka in odtoka podzemne vode v jami. Ta je bil največji v tistem delu leta, ko je še vedno možno zmrzovanje, ki je zaradi krajših zmrzovalno-odmrzovalnih ciklusov (dan/noč) zelo učinkovit dejavnik nastajanja in spreminjanja jamskih sedimentov.

Sklepanja o paleoklimi na podlagi povezanih sedimentoloških podatkov so skladna s sklepanji o paleoklimi na podlagi nepovezanih palinoloških, antrakoloških in mikromamaloških podatkov, pridobljenih v najdišču (prim. Šerclj & Culiberg 1991; Toškan 2001, 2002). Vzročna zveza med klimo in različnimi potencialnimi klimatskimi parametri v sedimentih Divjih babah I je tako bolj ali manj dokazana. Bodoče raziskave bodo zvezo potrdile ali morda ovrgle z novimi dokazi, npr. z analizo kisikovih izotopov v fosilnih kosteh in zobeh, analizo magnetne susceptibilnosti sedimentov in z uporabo drugih metod, ki jih naša raziskovalna skupina trenutno ni mogla uporabiti zaradi različnih razlogov.

ZAHVALE

Ključne radiometrične podatke so nam brezplačno preskrbeli Erle Nelson, Teh-Lung Ku in Bonnie A.B. Blackwell, za kar se jim iskreno zahvaljujemo. Hvaležni smo Jožetu Čaru za hidrološke podatke in Borisu Zupančiču za podatke padavinske postaje Na Stanu. Prvi avtor prispevka se posebej zahvaljujem vsem soavtorjem kot tudi Jožetu Čaru za koristne pripombe na osnutek teksta, Marjanu Dolganu za jezikovni pregled in stilne popravke slovenskega besedila, Dragu Valohu in Mateji Belak za pomoč pri pripravi slikovnega gradiva in Martinu Cregeenu za potrpežljivost pri prevajanju in popravljanju prevoda. Hvaležen sem Upravi ZRC SAZU in Inštitutu za arheologijo, ki sta mi v letih 1990-2002 s postopno nabavo ustrezne opreme (žičnica, elektrifikacija najdišča, terenski laboratorij, računalnik, programska oprema) zagotovila kvalitetnejše terensko in kabinetsko delo in ves ta čas tako ali drugače podpirala moje in mojih sodelavcev raziskave v Divjih babah I. Da je dolgoletno prizadevanje obrodilo sad, imajo zaslugo tudi številni, večkrat omenjeni sponzorji v Sloveniji.

LITERATURA / REFERENCES

- Allen, J. R. M., U. Brandt, A. Brauer, H.-W. Hubberten, B. Huntley, J. Keller, J. F. W. Nagendank, N. R. Nowaczyk, H. Oberhänsli, W. A. Watts, S. Wulf & B. Zolitschka, 1999: Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period. - *Nature*, 400, 740-743, London.
- Bintz, P., J.-J. Delannoy, H.-G. Naton, M. Cartonnet & T. Tillet 1997, Environnements karstiques dans les Alpes du Nord et le Jura méridional: spéléogénèse, sédimentation, climats et archéologie. - *Quaternaire* 8, 197-212, Paris.
- Brodar, M., 1959: Mokriška jama, nova visokoalpska aurignaška postaja v Jugoslaviji. Mokriška jama, station nouvelle aurignacienne de Hautes-Alpes en Yougoslavie. - *Razprave 4. razreda SAZU* 5, 417-469, Ljubljana.
- Brodar, M., 2001: Notwendige Erklärungen zur Crvena stijena. - *Quartär*, 51-52, 55-80, Saarbrücken.
- Campy, M. & J. Chaline, 1993: Missing records and depositional breaks in French Late Pleistocene cave sediments. - *Quaternary Research* 40, 318-331, New York.
- Cegnar, T., 1998: Temperatura zraka. - V: *Geografski atlas Slovenije. Država v prostoru in času.* - Državna založba Slovenije, 100-103, Ljubljana.
- Culiberg, M. & A. Šerclj, 1997: Paleobotanične raziskave v jami Divje babe I. Palaeobotanic research of the Divje babe I cave. - V: Turk, I. (ed.) *Moustérienska "koščena piščal" in druge najdbe iz Divjih bab I v Slovenij. Mousterian "bone flute" and other finds from Divje babe I cave site in Slovenia*, Opera Inštituti Archaeologici Sloveniae 2. - Založba ZRC, 73-83, Ljubljana.
- Čirić, M., 1986: *Pedologija*. - Svjetlost, str. 312, Sarajevo.
- Gale, S. J. & P. G. Hoare, 1991: *Quaternary Sediments. Petrographic Methods for the Study of Unlithified Rocks*. - Halsted Press, str. 323, New York.
- Gams, I., 1998: *Geografske značilnosti Slovenije*. - Mladinska knjiga, str. 183, Ljubljana.
- Guiot, R., 1990: Methodology of the last climatic cycle reconstruction in France from pollen data. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 80, 49-69, Amsterdam.

- Guiot, J., J. L. Beaulieu, R. Cheddadi, F. David, P. Ponel & M. Reille, 1993: The climate in Western Europe during the last Glacial-Interglacial cycle derived from pollen and insect remains. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 103, 73-93, Amsterdam.
- Guiot, J., A. Pons, J. L. de Beaulieu & M. Reille, 1989: A 140,000-year continental climate reconstruction from two European pollen records. - *Nature* 338, 309-313, London.
- Kempe, S. & W. Rosendahl, 1999: Speläotheme als pleistozäne Klimaarchive in Mitteleuropa. - *Mitt. Verb. Dt. Höhlen- u. Karstforsch.* 45, 100-101, München.
- Laville, H., 1975: *Climatologie et chronologie du Paléolithique en Périgord: étude sédimentologique de dépôts en grottes et sous abris*, Études quaternaire 4. - Université de Provence, str. 422, Marseille.
- Laville, H., J.-P. Raynal & J.-P. Texier, 1986: Le dernier interglaciaire et le cycle climatique wurmien dans le Sud-Ouest et le Massif Central français. - *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire* 1-2, 35-46, Paris.
- Laville, H., J. Ph. Rigaud & J. Sackett, 1980: *Rock Shelters of the Perigord. Geological stratigraphy and Archeological succession*, Studies in Archeology. - Academic Press, str. 371, New York.
- Miskovsky, J.-C., 1974: *Le Quaternaire du Midi méditerranéen. Stratigraphie et paléoclimatologie d'après l'étude sédimentologique du remplissage des grottes et abris sous roche (Ligurie, Provence, Languedoc méditerranéen, Roussillon, Catalogne)*, Études quaternaire 3. - Editions du Laboratoire de paleontologie humaine et de préhistoire, str. 331, Marseille.
- Nelson, D. E., A. Angerbjörn, K. Lidén & I. Turk, 1998: Stable isotopes and the metabolism of European cave bear. - *Oecologia*, 116, 177-181, Berlin.
- Ogrin, D., 1998: Podnebje. - V: *Geografski atlas Slovenije. Država v prostoru in času*. - Državna založba Slovenije, 110-111, Ljubljana.
- Osole, F., 1986: Würmski jamski sedimenti Slovenije. Die Würmer Höhlensedimente in Slowenien. - *Por. razisk. pal. neol. eneol. Slov.* 14, 7-10, Ljubljana.
- Ovsenik-Jeglič, T. (Ur.), 2000: *Klimatografija Slovenije. Število dni s snežno odejo 1961 - 1999*. - Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, str. 390, Ljubljana.
- Slabe, T., 1995: *Cave Rocky Relief and its Speleogenetical Significance*. - Znanstvenoraziskovalni center SAZU, str. 128, Ljubljana.
- Šercelj, A. & M. Culiberg, 1991: Palinološke in antrakotomske raziskave sedimentov iz paleolitske postaje Divje babe I. Palynological and anthracotomical investigations of sediments from the Divje babe I palaeolithic site. - *Razprave 4. razreda SAZU* 32, 129-152, Ljubljana.
- Toškan, B., 2001: The small mammals (*Mammalia: Insectivora, Chiroptera, Rodentia*) from cave Divje babe I (Slovenia) and the paleoenvironmental changes during the Late Pleistocene. - 7th International Cave bear Symposium Trieste, 1-10, Trieste.
- Toškan, B., 2002: *Dinamika v združbi malih sesalcev (Insectivora, Chiroptera, Rodentia) in vrstni obrat južno od alpske poledenitve v mlajšem pleistocenu in starejšem holocenu. Magistrsko delo (tipkopis)*. - Univerza v Ljubljani, str. 150, Ljubljana.
- Turk, I. & G. Bastiani, 2000: The Interpleniglacial record in the palaeolithic site of Divje babe I (Slovenia), Some of the more important results of the 1980-1999 excavations. - V: P. Biagi (ed.), *Studi sul paleolitico, mesolitico e neolitico del Bacino dell' Adriatico in ricordo*

- di Antonio M. Radmilli, Società per la Preistoria e Protostoria della regione Friuli-Venezia Giulia. Quaderno 8. - Edizioni Svevo, 221-244, Trieste.*
- Turk, I., F. Cimerman, J. Dirjec, S. Polak & J. Majdič, 1995: 45 000 let stare fosilne dlake jamskega medveda iz najdišča Divje babe I v Sloveniji. Fossilised cave bear hairs from 45,000 years ago found at Divje babe-I in Slovenia. - *Arheološki vestnik*, 46, 39 - 51, Ljubljana.
- Turk, I. & J. Dirjec, 1988-1989: Divje babe I - Poskus uporabe statistične analize množičnih živalskih ostankov v paleolitski arheologiji. I. Določljivi skeletni ostanki jamskega medveda. - *Arheološki vestnik* 39-40, 61-94, Ljubljana.
- Turk, I. & J. Dirjec, 1997: Analiza usedlin. Analysis of sediments. - V: Turk, I. (ed.) *Moustérienska "koščena piščal" in druge najdbe iz Divjih bab I v Slovenij. Mousterian "bone flute" and other finds from Divje babe I cave site in Slovenia*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 2. - Založba ZRC, 41-49, Ljubljana.
- Turk, I., J. Dirjec, D. Strmole, A. Kranjc & J. Čar, 1989: Stratigraphy of Divje babe I. Results of excavations 1980-1986. Stratigrafija Divjih bab I. Rezultati izkopavanj 1980-1986. - *Razprave 4. razreda SAZU* 30, 5, 161-207, Ljubljana.
- Turk, I., J. Kogovšek, A. Kranjc & J. Dirjec, 1988: Fosfati in tanatomasa v sedimentih iz jame Divje babe I. Phosphates and tanatomass in the sediments from the cave Divje babe I. - *Acta carsologica* 17, 6, 107 - 127, Ljubljana.
- Turk I., D. Skaberne, B. A. B. Blackwell & J. Dirjec, 2001: Morfometrična in kronostratigrafska analiza ter paleoklimatska razlaga jamskih sedimentov v Divjih babah I, Slovenija. Morphometric and chronostratigraphic sedimentary analyses and paleoclimatic interpretations for the profile at Divje babe I, Slovenija. - *Arheološki vestnik*, 52, 221-247, Ljubljana.
- Verhey, W., T. Prus & F. Lobnik, 1991: Growing period characteristics and their impact on soils, cropping pattern and natural vegetation in Slovenia. - *Pedologie* 41, 163-185, Ghent.
- Williams, P. J. & M. W. Smith, 1989: *The Frozen Earth. Fundamentals of Geocryology*. - Cambridge University Press, str. 306, Cambridge.
- Zupančič, B., 1998: Padavine. - V: *Geografski atlas Slovenije. Država v prostoru in času*. - Državna založba Slovenije, 98-99, Ljubljana.

**ASSESSING HUMIDITY IN AN UPPER PLEISTOCENE
KARST ENVIRONMENT
PALAEOCLIMATES AND PALAEOMICROENVIRONMENTS AT
THE CAVE DIVJE BABE I, SLOVENIA**

INTRODUCTION

The Upper Pleistocene site at Divje babe I, Slovenia, has yielded a rich palaeontological and a more modest Palaeolithic artefact collection. It also contains a long stratigraphic sequence spanning the period from approximately 120 to 35 ka, although some sedimentary gaps do occur (Turk *et al.*, 2001). This stratigraphic section afforded the opportunity to monitor changes in palaeohumidity or palaeoprecipitation during this period simultaneously with independent palaeotemperature data (Turk *et al.*, 2001). Since the site is exceptionally well dated, and since stratified remains contain relatively large quantities of pollen, charcoal and small mammals (Šercelj & Culiberg, 1991; 1997; Toškan, 2001; 2002), it can potentially be correlated with other reference sites from the Upper Pleistocene (see Turk *et al.*, 2001). Moreover, we can cross-check the conclusions of analyses of individual groups of data on the site and attempt to assess how the quantities of groundwater, i.e., all infiltrated precipitation, and temperature affected life in the near vicinity and more distant environment of the site.

**SITE, THE PRESENT MICROCLIMATE AND ENVISAGED EFFECTS OF
GLOBAL COOLING IN THE PLEISOCENE**

The Divje babe I site in the Idrija valley in western Slovenia lies at an altitude of 450 m, beneath the edge of the Šebrelje Plateau (600-700 m.a.s.l.), which is part of the foothills in the most south-easterly part of the Alps. Slightly further to the south extend the most northerly flanks of the Dinaric Mountains.

Today, the region around the site is located within the submediterranean climate zone. A characteristic peak in precipitation occurs in autumn (above all November). With a mean annual precipitation of 1800 mm/yr and only 572 mm/yr evapotranspiration, the region experiences a humid climate, typical of the Alpine and Dinaric elevations in this part of Europe. To the south, the region abuts the hinterland around the Gulf of Trieste, which has a semi-dry submediterranean climate that becomes drier (typical mediterranean climate) closer to the Adriatic Sea. These climatic regimes are within a distance of barely 50 kilometres and a maximum height difference of 1500 m (mountains between the Adriatic sea and the site). The climatic gradient is most expressed in the duration of the snow cover (Ovsenik-Jeglič 2000, map). The greatest change in snow cover would therefore occur if today's average temperatures were to fall. The duration of snow cover would be appreciably lengthened in the site region. This would directly influence the seasonal groundwater flow, producing a spike in groundwater flow during the spring due to the snow melt, in addition to the autumnal maximum due to precipitation. Because it insulates the ground well, the snow cover would counteract the effect of lower winter temperatures on the ground surface temperature.

Divje babe I is a horizontally developed cave approximately 45 m long and 15 m wide. The cave tunnel, which is today more than 12 m deep, and filled with almost exclusively autochthonous clastic sediment that was predominantly deposited in OIS (Oxygen Isotope Stage) 5 and OIS 3, was formed in dolomite (Turk *et al.*, 1989). The cave's origin has not been studied, but the potential thickness of the sediment, between 13 m and 50 m, suggests an old cave system.

Hydrological data (J. Čar & J. Janež, oral communication, 2002) indicate that today this cave is not hydrologically connected with the hinterland (plateau). So the majority of the precipitation that flows into the underground runs into the cave vertically from the specific catchment area just above the cave. The groundwater flow system was probably similar in the Upper Pleistocene.

Throughout 2000 and winter 2002, 33 groundwater flow measurements were collected from an area of 91 m² in Divje Babe I. Very small flows, as small as 0.022 L/m²/hr, were typical after long droughts, whereas very large flows, up to 1.236 L/m²/hr, occurred after abundant rainfall events. The average groundwater flow into the cave (0.024 mL/m²/s or 1 L/m² in 11 hours, 34 minutes, 38 seconds) yields an annual total of 757 L/m²/yr. On the plateau above, the precipitation during the same period amounted to 2176 L/m² (Na Stanu precipitation station data, 2000, 2002). Assuming that the groundwater flow into the cave is representative of that entering the catchment for the cave, 35% of the precipitation enters the groundwater system. From the 30 year local average precipitation and temperature, evapotranspiration should equal 32% (572 L/yr), which agrees well with the estimated potential evapotranspiration in the nearby Bovec Basin (Verheyne *et al.*, 1991, Table 1). Therefore, 33% should run off into surface streams. Due to the steep, predominantly grassy, ridged slopes above the cave, a relatively large surface runoff is to be expected, but it should not exceed 33%.

PURPOSE OF THE STUDY

This study aimed to find and quantify palaeohumidity indicators in the sediment at Divje babe I, and to ascertain the relationships among the regional climate, the cave's microclimate, and its fossil and Palaeolithic remains. Sediment from 23 arbitrarily determined layers representing a thickness of 9.6 m was therefore analysed in detail. The layers will not be individually described, because reaching reliable sedimentological conclusions merely on the basis of descriptions is impossible.

As elsewhere, water occurs in underground karst systems in vapour, liquid, and solid phases. The Upper Pleistocene sediment at Divje babe I recorded evidence of the presence of all three phases:

1. Water vapour, which entered the atmosphere from evapotranspiration, condensed on the cave ceiling and walls and etched their surfaces (Slabe, 1995). Repeated freezing and thawing cycles caused these etched surfaces to collapse onto, and mix with, the cave ground sediment (Fig. 1 a-c).
2. Liquid groundwater, produced initially by precipitation (see the measurements noted above), influenced the formation of structural aggregates or peds. Liquid water also corroded dolomite clasts and any fossil remains (*Ursus spelaeus* bones and teeth) exposed on the cave floor (Fig. 1 d-f).

3. Not only did occasional groundwater freezing and thawing cause the disintegration of the cave ceiling and walls, it produced conglifractions (frost-shattered rounded clasts) on/in the cave ground (Turk *et al.*, 2001), disintegrated or consolidated the sediment aggregates, cryoturbated the sediment and its fossils, and sorted the sedimentary particles by size within specific layers (cf. Williams & Smith 1989).

METHOD

Due to the extreme variability in a cave environment, we analysed the sediment for changes both vertically and horizontally.

First the structural aggregates in the sediment fraction larger than 0.5 mm were examined visually by quadrates and splits and by profiles. We then quantified them on the basis of the volumetric mass (VM) of three different fractions (F): F ($x < 0.5$ mm), F ($0.5 \text{ mm} < x < 3$ mm) and F ($3 \text{ mm} < x < 10$ mm). In F ($3 \text{ mm} < x < 10$ mm) we also counted the grains and calculated the percentage share of the aggregates. Finally, we focused on F ($0.5 \text{ mm} < x < 3$ mm) the VM of which has the smallest standard deviation (SD) from the median. We analysed the aggregates of this fraction in profile (36 disconnected samples with $320\text{--}2170 \text{ cm}^3$ F and 12 additional connected samples (Fig. 3). For the location and basic documentation of profiles (see Turk *et al.* 2001, Fig. 1) and three-dimensionally by quadrates of a size 1×1 m and horizontal splits (sedimentation levels), thickness 0.12 m (1895 samples each with 100 cm^3 F and a total of 64 profiles in 64 quadrates). We obtained sedimentation levels by taking into account the inclination of the layers (laterally each layer dropped by 0.04 m per metre which, at 12 centimetre splits, gives a step for each 3 metres) with analyses of larger areas and with a smoothing split (average of two splits) from below upwards (Fig. 3 b). We carried out the steps such that the analysis of data gave optimum results (see Fig. 2 b).

All samples of sediment were taken three dimensionally, F ($0.5 \text{ mm} < x < 3$ mm) was washed, dried and air dry measured and weighed. The error created in determining VM amount at most to $\pm 0.05 \text{ g cm}^{-3}$ (Fig. 3 b). The standard value for VM was determined on the basis of an average of 11 samples from the unconsolidated Holocene surface layer of the ground. Samples were taken in the same way as all three-dimensional samples. The standard, which has a VM value of 1.09 g cm^{-3} , was determined on the part of the surface which was the starting point for three-dimensional sampling of Pleistocene sediment up to and including Layer 7. On the basis of the standard, we estimated the deviation of Pleistocene values from Holocene values. Holocene aggregates, which differed from Pleistocene ones only in cement, were created at latest in the last 4,000 years and at earliest in the last 10,000 years. Among the 36 profiles by quadrates and splits, we selected a typical profile (Fig. 3 b) on the basis of the least sum of the square of all deviations of the value of aggregates by splits and profiles from each profile individually. We also used the same procedure in the selection of other typical profiles.

Etched clasts (EC) were only analysed in profile (36 disconnected samples each with 62-253 clasts and an additional 12 connected samples). We calculated the percentage shares of EC in F ($40 \text{ mm} < x$) and standard errors (SE) (Fig. 5 b).

We only analysed the average volume of clasts (AVC) in profile (36 disconnected samples each with 62-253 clasts per fraction without additional samples) (Fig. 6 a,b). We calculated AVC from the average weight of clasts, which we obtained by dividing the weight of a specific fraction

by the number of dolomite clasts in the fraction. We then calculated the average volume on the basis of the specific gravity of dolomite.

Etched bones (EB) were only analysed by quadrates, of a size 1 x 1 m and horizontal splits (sedimentation levels), thickness 0.12 m (33 connected samples with an average of 12004 of all bone remains greater than 3 mm and average of 1193 of all bone remains greater than 50 mm). Since EB were very rarely scattered, we exceptionally analysed them by bound sedimentation levels on three large areas represented by joined quadrates (published results refer only to one area, of a size of 21 m²) (Fig. 4 a). We determined sedimentation levels taking into account the inclination of the layers. We calculated the share of EB in two ways. In the first, we included in the calculation all fragments F (50 mm<x) and F (3 mm<x<50 mm), and in the other only fragments F (50 mm<x) (Fig. 4 a). The standard error (SE) is minimal because of the very large number of bone remains and small number of EB. We therefore do not state it. The number and weight of bone remains smaller than 10 mm, which predominate in all sedimentation levels, are in very strong and significant statistical correlation ($R = 0.956$, $p < 0.001$, $n = 36$). It therefore makes no difference which we analyse. The results on the basis of one or the other data are comparable.

The representation of fossil remains of cave bear (FRCB) in the profiles was found on the basis of the number of all remains of teeth and bones in 36 + 12 volumetrically normalized samples of sediment (average 18 litres of sediment) taken from profiles (Fig. 7 a) and on the basis of the weight of all remains of bones in the typical profile selected from among 21 quadrates of a size of 1 x 1 m, each with 36 horizontal splits (34 - 35 sedimentation levels) thickness 0.12 m (Fig. 7 b). We collected from the profiles more than 95% of all remains larger than 3 mm, while only approximately 20% of the remains of bones in quadrates and splits were collected because of the large number of small fragments and time pressure. We consistently took this fact into account in the analysis of FRCB (see Fig. 4). The selected parameters were verified as being the best among all possible parameters, including MNI, for determining vertical and horizontal variability of the mass fossil remains in Divje babe I.

MAIN CHARACTERISTICS OF THE SEDIMENT

In addition to colour, which we used as the main criteria in determining layers on the terrain, the main characteristics of the sediment are texture, nature of clasts and cementation (aggregates, breccia).

Brown tones predominate in the colour of sediment, with lighter and darker shades. The colour of dolomite rock particles is more or less altered in the majority of layers because of post-sedimentation processes. The colour of sediment is determined mainly by the coating (thin coat) and/or encrustation (thicker coat) of secondary Fe minerals (hematite, goethite, lepidocrocite) on the clasts and coloured calcite and phosphate cements.

In all layers, the sediment has an explicitly skeletal structure. Blocks and larger clasts predominate.

The structural and morphological characteristics of the clasts are the subject of this and previous publications (Turk et al. 2001). We will therefore only mention those characteristics that we have not yet discussed and will not in particular do so.

Clasts in almost all layers are more or less rounded. The surface of the rounded clasts can be smooth (healthy), minimally weathered or rough (floury), or very weathered. In the entire profile, the large sized rubble is most weathered in Layer 5a and 5a?. A number of layers of the upper and middle parts of the profile; 8b-10, 8b, 5a, 5a? and 4, but only two layers in the lower part of the profile, Layers 17a₃ and 18, have very weathered surfaces of the large rubble and blocks. All the enumerated layers also contain completely weathered ('phantom') rubble, which are also familiar in other Upper Pleistocene cave sites. The conditions required for the formation of 'phantom' rubble are not known. The surface of very rounded clasts in Layer 8c and 10-12 is 'healthy', unfragmentable.

Coatings on clasts appear in all layers, but encrustation only in some layers. The most encrustations are in the complex of Layer 8. A particularity of Layers 2, 5 and 8b-10 is clay coatings on small-sized rubble and sand (Turk & Dirjec 1997, Fig. 3.1:2). The colour of coatings and encrustations was determined according to 'Munsell Soil Colour Charts' on medium grains of rubble, since these are more quickly coloured than the matrix (Gale & Hoare 1991, 151). The colour of the coatings in Layers 2-5 is reddish yellow (10YR 7/8). The colour of the coatings and encrustations in Layers 6 - 8c is dusky red (10R 3/4). The colour of coatings in Layers 10-20 is brown (7.5 YR 4/4). The colour of the coatings and encrustations in Layers 21-23 is very dark grayish brown (10YR 3/2).

For rubble in Layer 2 (above all on the surface), encrustations from mud and secondary calcite are characteristic. We found such encrustations only rarely and only separately, from mud or calcite, in Layers 4, 6, 10 and 17a₂, and not together as in Layer 2.

Breccias (mostly with phosphate cement) appear in a number of layers (Turk & Bastiani 2000). The colour of breccia by layers is the following: Layer 8a dusky red (10 YR 3/4), Layer 10 reddish brown (5YR 4/4), Layer 16, breccia without matrix; dusky reddish 10R 3/4), breccia with matrix: dark reddish brown (2.5 YR 3/4), Layers 18a, 19 and 20 brown (7.5R 4/4), Layers 22 and 23 very dark grayish brown (10YR 3/2). Individual larger structural aggregates in Layers 7, 8c, 8b, 8b-10, 13, 16a, 17, 18 and 19/20 are also the same colour as the breccia.

Aggregates which have normally been ignored or too little taken into account in sedimentological analyses to date are the main theme of this article.

SEDIMENTOLOGICAL ANALYSIS RESULTS AND DISCUSSION

Existing structural aggregates in the sediment of Divje babe I are spheroid and polyhedral, exceptionally also leaf shaped (cf. Turk et al. 1995, Figs. 1 and 3). We distinguish two groups of aggregates in terms of composition. In the first, the most numerous group, there are anisotropic structural aggregates consisting of predominantly mineral autochthonous silty-dusty components. In the second, numerically weaker group, there are isotropic aggregates in which transformed substances of animal origin predominate (proteins, fats → organic P, bitumen?). In such aggregates there are often impressions of fibres - exceptionally also the fibres themselves - which we interpreted as fossil hairs of cave bear (Turk et al. 1995). A cement of the aggregates is mostly phosphate, rarely calcite.

Volumetric mass (VM) F (0.5 mm < x < 3 mm), on the basis of which we assessed the quantity of structural aggregates, ranged from 0.82 g cm⁻³ to 1.54 g cm⁻³ (N = 1895). The most frequent

value is between 1.00 and 1.01 g cm⁻³ in Layer 8. This value is almost the same value as the Holocene standard for one of the cave micro-environments, which is 1.09 g cm⁻³. The specific gravity (=VM) of dolomite is 2.85-2.95 g cm⁻³.

The curves of VM of all three analysed fractions (F) containing aggregates are fairly similar by layers. The proportion of aggregates in F (3 mm<x<10 mm) ranged by layers from 4% to 80%, and in finer fractions, the proportions of aggregates are even greater (even close to 100%).

The quantity of aggregates in general increases from the cave entrance to the interior of the cave or from one area to another, taking into account a larger groups of quadrates (15, 21 and 19 quadrates) and splits linked in the same sedimentation level. The same gradient of frequency of aggregates is also only exceptionally in an individual sedimentation level (e.g., in the folded Layers 2-4) on an area of 36 m² in the central part of the cave (Fig. 2 a, b). A mosaic picture is characteristic of the spatial disposition of aggregates in almost all sedimentation levels. Judging by the same picture in almost horizontal layers, it can be concluded that such was the original picture and that cryo- and bioturbation and the horizontality of splits does not actually influence it or does not essentially worsen the results of analysis.

The mosaic appearance is connected with the mosaic nature of the cave microclimate. Since it appears in all spatially analysed sedimentological parameters, it could also be the result of imprecise spatial links between time horizons and stratigraphic levels.

All findings on the diffusion of aggregates are in good agreement with the inflow (trickle) or outflow of groundwater in water non-active horizontal caves. Trickles are spatially unpredictable in the long term and normally stronger in the interior of a cave than at its entrance. In contrast to the inflow or outflow of groundwater, the evaporation potential is greater at a cave entrance than in the interior of a cave. Both influence the ground moisture, which is thus greater in the interior of a cave than in the vicinity of the entrance and outside it.

On the basis of 21 documented profiles, representing frequencies of aggregates (VM g/cm³) a typical profile of their representation was determined, which represents an area of 21 m² (ca. 5% of the total area of the cave). Among the 21 individual profiles, we can explain an average of 62% of the quantitative variability of the aggregates (we calculated the average determination coefficient r^2 on the basis of 105 correlation coefficients). Since only an average of 38% of the variations among profiles is unexplained, the amount of variability of aggregates is greater vertically than horizontally, or greater between layers than within them.

In an uninterruptedly sampled typical profile, a specific cyclic nature of the appearance of aggregates is observable. In the upper layers, which mark the later part of OIS 3, the amount of aggregates is smaller, in the layers which mark the earlier part of OIS 3, above all Layer 8, their quantity is greater, and then in layers older than Layer 13, which mark the period of OIS 5, their quantity again reduces (Fig. 3 b). We also got a similar result as with the typical profile on the basis of samples taken directly from the profile, except that the temporal resolution is smaller here because of disconnected sampling (Fig. 3 a).

Analysis of the appearance (frequency) of etched bones (EB) in connected sedimentation levels on an area of 21 m² (Fig. 4 a) confirms the data and explanations of the disposition of the amount of aggregates. We connect the stage of corrosion and amount of EB with the amount of moisture in the ground or changes in it, and with chemical processes. These were different in the Upper Pleistocene than in the Upper Holocene (last 4,000 years) in Divje babe I. Among Holocene bone remains of a maximum 4,000 years age, namely, there are no EB. There is a pronounced

maximum amount of EB in the later part of OIS 3. There is not a corresponding maximum in the distribution of aggregates, but there is in the distribution of etched clasts (EC) (Fig. 4 b). We explain the maximum EC with the occurrence of acids in the process of melting of ice that had accumulated in the ground in OIS 2. The ice may also have destroyed part of the aggregates.

Judging by unpublished data of the excavations of M. Brodar in 1980-1986 we detect indisputable signs, such as a concentration of typical aggregates, indicating similar increased precipitation as in OIS 3, again at a depth of 10-12 m (Layers 24-26); and thus cyclically onwards in accordance with glacial-interglacial cycles, right up to a potential depth of 50 m?

Comparison of volumetric mass from the profile (Fig. 3 a) with the recent standard VM for the site (1.09 g cm^{-3}) reveals that in the later part of OIS 3 (35 ka-45 ka) there was less precipitation than in OIS 1 (Holocene). In the earlier part of OIS 3 (45 ka-55 ka), there was more precipitation, and in OIS 5 again less than in OIS 1.

If we compare data on palaeoprecipitation on the basis of aggregates, etched bones and clasts, with data on palaeotemperature on the basis of post-sedimentary conglifractions (PSC), we find that the data are reasonably complementary.

If we compare PSC from the profile (Fig. 5 a) with the recent standard for the site, which is $6.5\% \pm 2.6\%$ ($= 3 \text{ SE}$) or $4.4\% \pm 3.2\%$ ($= 3 \text{ SE}$), we see that in the greater part of OIS 3 it was colder than in the Holocene, and in OIS 5 temperatures were close to the Holocene values (for details see Turk et al. 2001). The lower air temperatures in OIS 3 and OIS 5 increased congefraction in layers dated to OIS 3 (70% of all layers belonging to OIS 3 or OIS 5 have a different share of PSC in respect to median value). This is reflected in both larger shares by weight ($\chi^2 = 299.95$, $p < 0.001$, $V = 0.15$, $N = 13430$) and in the larger dimensions of all conglifractions in OIS 5 (Fig. 6 a). The largest conglifractions are in Layers 10-11 and 11-12 (average volume is 2.45 cm^3). We connect this with the maximum synsedimentary operation of freezing and thawing, which occurred in OIS 4. This isotope stage is unfortunately not represented in our profile with more abundant sediment. The same also applies for OIS 2.

Palaeoprecipitations are not directly connected with palaeotemperatures, although a significant reduction of palaeotemperature coincides with an appreciable increase of palaeoprecipitation (see Fig. 5 a and 3 a). Something similar appears with etched clasts (EC), which increase almost simultaneously with structural aggregates and post-sedimentary conglifractions - PSC (Fig. 5 b).

Condensation of water vapour, and EC as a result of this process, is connected more with temperature than with precipitation, more precisely with temperature differences between the outside and cave environment. Large temperature oscillations, characteristic of OIS 3, accelerate condensation corrosion, which is reflected in larger shares of EC, which appear in a time lag with increased condensation of vapour in cases of the remains of corroded cave ceiling. In periods of cooler climate, the accumulation of synsedimentary clasts also increased, the best represented by EC. The result is that curves of EC and PSC are fairly similar (Turk et al. 2001, Fig. 4 a, d) although there is no strong correlation between the two climatic parameters: $R = 0,427$, $p = 0,004$ (Turk et al. 2001, Fig. 4 a, d).

Comparison of the amount of EC with the recent standard for the site (4 %) reveals a similar relation for condensation of water vapour in OIS 1 and OIS 5, while condensation was essentially greater in OIS 3 than in OIS 1. The causes of the increase, as has been stated, were lower temperatures and larger temperature oscillations (see Fig. 5 a).

The question that can now be posed is how the presumed climatic changes affected the use of the cave by Neanderthal man and cave bear.

We can explain the fossil remains of cave bear (FRCB) in the stratigraphic series by the frequency of visits to the cave-lair. We are helped in this by both the typical and normal profiles. Among 21 differently located profiles with mass FRCB, we can explain only an average 25% of the variations in the quantity of fossil remains (we also calculated the average determination coefficient r^2 , this time on the basis of 105 correlation coefficients). This is almost twice as few as with aggregates. It is more difficult to explain the 75% unexplained variations. We can link them with random effects of very varied taphonomic factors. Put another way, the variability of the quantity of FRCB is greater in the lateral than vertical direction or greater within layers than between layers.

Cave bear visits to the cave increased greatly in the earlier part of OIS 3 (Fig. 7 a) (see Turk, Dirjec 1989, Table 1, Fig. 4 for the entrance part of the cave, which we do not deal with here) which we can connect partially with a worsening of the climate and partially with a more numerous living population. The gap in sedimentation on the boundary between OIS 5 and OIS 3 did not (or did?) essentially affect the increased accumulation of FRCB (Fig. 7 a, b). However, the extent of thanatocenosis undoubtedly influenced the amount of phosphate aggregates. Measuring the correlation between aggregates and FRCB is not an easy task due to the indirect and nonlinear relation between variables. There is no major stratigraphic lag between the quantity of FRCB cave bear fossil remains and (phosphate) aggregates (see Fig. 3 a and 7 a).

On the basis of the nature of the available data and because of the small time resolution of the geological record (in the best case 600-1200 years) we cannot explain in more detail the relation of cave bear-climate. Certainly visits to the cave oscillated with extremely large amplitude. In OIS 5 and the later part of OIS 3 visits were few and steady, but in the earlier part of OIS 3 there were a great many and irregular. The irregularity may have been connected with the unstable climate or with changing conditions in the cave-lair (e.g. with occasional strong wetting; occasional permafrost which changed the site into an ice cave; occasional disturbances because of the presence of people etc.). A large number of visits can reasonably be connected with lowering temperatures but the curve of the remains of cave bear and the curve of palaeotemperature are too similar for anything such (Fig. 8). We therefore believe that the dynamics of the population of cave bear in Divje babe I are governed by other, non-climatic factors.

Palaeolithic finds, which we attempted to synchronise with samples from the profile (Fig. 9), provide a slightly different picture. The majority of finds from OIS 5 and the earlier stage OIS 3 are in the entrance part, but the majority of finds from the later OIS 3 are from the central part of the cave. The density of finds can be equated with the frequency and duration of visits, the number of visitors or presence of Neanderthals in the wider area of the cave. The greatest density of finds is in the uppermost part of OIS 5 and in OIS 3. The gap in sedimentation on the boundary of OIS 5 and OIS 3 may have essentially influenced the accumulation of finds. Everything indicates that people used the cave mainly at the time of the worsening of the climate at the transition to OIS 4 and somewhat less in the colder periods of OIS 3 (see Fig. 5 a and 9). In warmer climatic phases, the cave was not so important for people. In the dampest period of OIS 3, the cave was equally visited as in other parts of OIS 3.

What sort of interaction there was between the Palaeolithic users of the cave and cave bear cannot be concluded on the basis of the data collected here. The major hindrance is represented

by too small a time resolution of geological-palaeontological and geological-archaeological records. We are therefore forced to seek a compromise solution between very precise data from the profile, but which are without an assessment of confidence in statistical terms, and less precise spatial disposition data for which we can also assess their confidence. One thing is fairly certain: in the colder and less stable climate of OIS 3 there are more Palaeolithic remains (including hearths) and more remains of cave bear. This indicates that interest in the cave as a lair and as a shelter increased. The general trend of both kinds of find is also of interest, which indicates that at least three peaks of visits of cave bear are temporally exclusive of at least two peaks of visits of Neanderthals (Fig. 9). This suggests the possibility of at least temporary competitive relations between the various kinds of users of the cave, Neanderthal man and cave bear.

In all profiles, because of a sedimentation break, there is a lack of sediment of stages OIS 2 and OIS 4. Sedimentation gaps for OIS 2 and OIS 4 are also known from other cave sites, mainly in the area of the Alps (Campy & Chaline 1993; Bintz et al. 1997). At both glacial peaks that are elsewhere dated to OIS 2 and OIS 4, permafrost formed in Divje babe I, which, at least in OIS 2, because of the shady position and greatly reduced cave entrance, was without an active layer. Such a form of permafrost could conserve the previous state so that the cave transformed into an ice cave, which temporarily discouraged all its previous users. There was not therefore a more explicit palimpsest in all major hiatuses provable by radiometric dates and analysis of etched clasts (Turk et al. 2001).

CONCLUSIONS

In all profiles in which we analysed various parameters of sediment, fossil remains and artefacts, a boundary between OIS 5 and OIS 3 is clearly expressed, which we can reasonably link with climate change. This directly influenced use of the cave for both animals and people.

The climate in OIS 3 ('Interpleniglacial') was undoubtedly damper than the climate in OIS 1 (Holocene) and OIS 5 ('Early Glacial'). Judging only by the appearance of breccia, which is greatest in OIS 1 and OIS 5, we could have concluded otherwise, but with less confidence.

The result referring to climate in the earlier part of OIS 3 agrees well with the results of transformed data of pollen researches in some key pollen profiles in the belt of today's moderate climate. Around 50 ka and prior to that, namely, a very damp period has also been established elsewhere in Europe (Guiot et al. 1989, 1993; Allen et al. 1999) which, as some signs show, is also reflected in cave sediment (Miskovsky 1974, 372; Laville 1986). In the area of Slovenia, this period would best correspond to the former Würm I/II Interstadial for which more abundant admixtures of clay are characteristic in cave sediment (Osole 1986).

Increased moisture in OIS 3 can be explained by the extended duration of snow cover, together with a simultaneous seasonal shift of precipitation. If we take the current gradient as a starting point, duration of snow cover may have increased up to 10-times because of the reduction of temperature (Ovsenik-Jeglič 2000). If, simultaneously, the coniferous forest above the cave had disappeared, ground moisture would have increased by an additional 50% (Čirić 1986, p. 122). With the extension of duration of snow cover, hibernation of cave bear would also have lengthened and death in the lair thus increased. This is, of course, only part of the past 'scenario' by which we can explain the increased accumulation of fossil remains. The other part is more or less unknown.

Changes in temperature characteristic of the Pleistocene could have quickly caused a transition from one climatic region to another in the wider vicinity of the site: sub-mediterranean to continental climate, which is today characteristic of central and eastern Slovenia, a sub-mediterranean precipitation regime to a continental one, from very damp to a less damp climate. Simultaneously, minor changes in the environment occurred under climatic influences, comparable with differences in the present environments characteristic of various parts of Slovenia. So, e.g., forests never completely disappeared in the vicinity of Divje babe I in OIS 3, and no turnover of species in ecologically very sensitive microfauna, characteristic of north of the Alps, occurred (Šercelj & Culiberg 1991; Toškan 2002).

Conclusions about the palaeoclimate on the basis of unbroken sedimentological data are in accordance with conclusions on palaeoclimate on the basis of interrupted palinological, anthracological and micromammalogical data obtained at the site (see Šercelj & Culiberg 1991; Toškan 2001, 2002). A causal connection between climate and different potential climatic parameters in the sediment of Divje babe I is thus more or less proved. Future research will confirm whether the connections will be overturned with new evidence (e.g., with analyses of oxygen isotopes in fossil bones and teeth, analysis of magnetic susceptibility of sediment and with the use of other currently unavailable methods).

ACKNOWLEDGEMENTS

We are extremely grateful to E. Nelson, T.L. Ku, and B.A.B. Blackwell, who kindly provided more than 70 independent dates without charge. We are sincerely grateful to B. Zupančič, Meteorological Office, ARSO, Ljubljana, who kindly provided data for the nearby precipitation station Na Stanu for 2000 and 2002.