

POTRESI V KRAŠKIH JAMAH

Stanka Šebela*

POVZETEK

V kraških jamah najdemo številne podrte in prevrnjene kapnike. Mnogo je primerov podornih dvoran, kjer zasledimo še sveže odlome apnenčevih blokov. Že več 10 let se vršijo raziskave o seizmičnih in paleoseizmičnih aktivnostih v kraških jamah v južni Franciji, Monaku, Bolgariji, Italiji, Belgiji, Portugalski, Nemčiji, Švici, Maroku, Turčiji, Kostariki in drugod. V slovenskih kraških jamah imamo dokaze o neotektonskih aktivnostih. Zadovoljivih dokazov o seizmičnih aktivnostih pa zaenkrat nismo mogli potrditi.

UVOD

Na podrte kapnike in njihovo problematiko je v vodniku po Postojnski jami prvi opozoril Hohenwart (1830). Vzroka za podiranje ni določil. Glavni vzroki za podiranje kapnikov so naslednji:

- nestabilnost peščenih ali ilovnatih tal v jami;
- odnašanje peščenih ali ilovnatih tal z vodnim tokom, faza erozije;
- podori (npr. oblikovanje udornic v bližini jamskih rovov) in grezi (npr. zaradi spodaj ležečega aktivnega rova);
- gravitacijske razbremenitve dolinskega dna;
- zmrzal (Forti, 1997);
- spremembe v prenikajoči vodi (primer padca diskastega stalaktita v Škocjanskih jamah, Kranjc, 1999);
- potresi (Bini et al., 1992);
- vpliv človeka (npr. lomljenje kapnikov v Matevževem rovu Postojnske jame);
- vpliv jamskih živali (npr. jamskih medvedov).

Za speleogenezo je izredno pomembno ugotavljanje starosti kraških jam in obdobj oblikovanja in razvoja jamskih rovov. Zato je pomembna tudi določitev obdobj in vzrokov podiranja kapnikov. V Sloveniji nam zaenkrat ni uspelo določiti površinskih pretrgov ob potresih. Veliko pa je drugotnih učinkov, kot so plazovi, poplave. Zato so kraške jame v Sloveniji primerno opazovališče tudi za možne potresne deformacije. Kapnike, še posebno cevke, lahko uporabljamo kot naravna nihala. Poleg podrtih kapnikov najdemo tudi stalagmite, nagnjene od vertikalne osi. Večina kapnikov ostane ob potresih nepoškodovana, zato ker so njihove naravne frekvence višje od velikosti seizmičnih frekvenc (0.1- 30 Hz). Le tanke in dolge cevke so lahko zlomljene (Lacave et al., 2001).

* IZRK ZRC SAZU, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija, sebel@zrc-sazu.si

DOSEDANJE RAZISKAVE O PODRTIH KAPNIKIH V SLOVENIJI

Razprave o morfologiji in sedimentih v Postojnski jami omenjajo, da so se podrli kapniki zaradi podorov stropovja, potresov in zaradi odplavljanja alohtonih sedimentov (Gospodarič, 1968). Isti avtor je v Postojnski jami (Rov za Veliko goro ali Čarobni vrt) ugotavljal smeri in stopnjo nagnjenosti razlomljenih kapnikov ter iskal dokaze bodisi za njihov nenadni podor bodisi za njihovo postopno podiranje. V Rovu za Veliko goro prekrivajo skalno dno naplavljene flišni sedimenti, sige različne starosti in podorni bloki. Med prevrnjenimi stalagmiti je tudi nekaj odlomljenih stalaktitov, ki se niso mogli poškodovati zaradi posedanja tal. Avtor sodi, da so padli s stropa skupaj s kosi kamnine, ko je prenikla agresivna voda razširila razpoke in s tem razrahljala vez med deli posameznih skladov.

Gospodarič (1968) tudi sklepa na poplavo Čarobnega vrta med nastajanjem atlantske sige in sige iz würmskih interstadialov ali würmskega interglaciala ter na posedanje tal pred odlaganjem atlantske sige.

Po Gospodariču (1968) ni nobenih znakov o potresih iz časov nastajanja kapnikov iz stare sige ali iz kasnejše dobe, ko se je odlagala atlantska siga. V usmerjenosti podrtih kapnikov iz Čarobnega rova ni nobenih zakonitosti.

Šibki potresni sunki so morda nastali ob podorih stropovja ali pri nastanku udornih koliševk, npr. Jeršanove doline. Vendar taki potresni sunki verjetno niso mogli prelomiti do 2 m debele stebre sige. Številni primeri dokazujejo, da so podrti kapniki posledica posedanja sekundarnih tal. Postojnsko jamo so zasipali flišni sedimenti skoraj v vsem pleistocenu (Gospodarič, 1968).

Speleogenetski razvoj jame in procesi uničenja so prvotni razlogi podiranja kapnikov. Sekundarni razlog so potresi, ki večkrat prizadenejo že deformirane kapnike. Gospodarič (1977) navaja stalagmite, datirane na 10.000 let BP, ki so bili najprej deformirani npr. zaradi posedanja tal, kasneje pa prevrnjeni oziroma zlomljeni zaradi potresov.

Ilovica je posredni povzročitelj posedanja jamskih tal in poškodb kapnikov v Pisanem rovu, pa tudi v drugih delih Postojnske jame. To je trajen in počasen proces in zato ne more biti v zvezi s potresi (Gospodarič, 1963).

Gams (2003, 138) nagnjenost stalagmitov v Zgornjem Tartarusu Postojnske jame razlaga s pogrezanjem naplavine iz klastičnih sedimentov.

Perko (1910) je menil, da je bil Zvrnjeni steber (Slika 1) v Stari jami v sistemu Postojnskih jam star 150.000 let, ko se je pred 67.000 leti prevrnil. Do teh podatkov je prišel po grobem izračunu odlaganja sige na starih svečnikih, žarnicah in bakreni žici.

Michler & Hribar (1959/60) ter Gams (1965) so prelomljene kapnike povezovali s podori jamskega stropovja in s posedanjem jamskih tal.

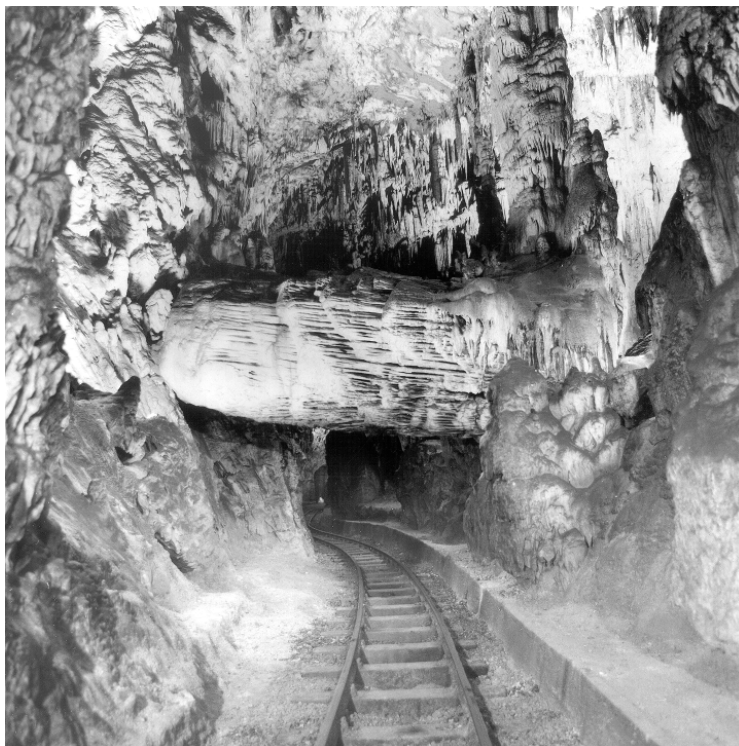
Brodar (1966) je domneval, da je porušena siga med klastičnimi sedimenti v vhodnih delih Postojnske jame posledica zmrzali.

Kranjc (1999) opisuje, kako je med 2. in 3. marcem 1999 s stropa Velike dvorane (Tiha jama, Škocjanske jame) padel stalaktit. Gre za disk ali »paleta«, ki je nastala na stropu 17 m visoko. Odpadla gmota je tehtala okrog 2500 kg. V Škocjanskih jamah se s stropa lomijo predvsem »aktivni« diskasti stalaktiti, na katere priteka sigotvorna voda. Kljub vsemu pa so ti dogodki razmeroma redki.

Mihevc (2001) je na podlagi U/Th analize določil, da je kapnik v Divaški jami rasel do pred 176 Ka (zrasel v mindel-riškem interglacialu). Potem pa se je v bazi odlomil. Vzrok odloma ne navaja.

Sigova skorja iz Jazbine v Rovnjah (starost 241 Ka) pa je bila krioturbatno premaknjena (Mihevc, 2001).

V primeru Snežne jame na Raduhi je siga v celotni jami (predvsem pa v vhodnih delih jame) poškodovana zaradi zmrzali. Tako so bile sige razlomljene in premaknjene s krioturbacijo (Bosak et al., 2002).



Slika 1 - Prevrnjeni steber v Postojnski jami

PRIMERI TEKTONSKIH PREMIOV V KRAŠKIH JAMAH

Iz nekaterih slovenskih kraških jam (Postojnska jama, Planinska jama, Lukenjska jama) je Gams (2002) izbral nekaj primerov tektonskih premikov, ko so rovi že obstajali. Za Lukenjsko jamo trdi, da so skladi premaknjeni. V svojem prispevku Gams (2002) upošteva tudi gravitacijske razbremenitve dolinskega dna, npr. ob oblikovanju kraških polj. To je povzročilo rahel dvig skladov in nastanek vzporednih, navzdol se odmikajočih razpok pod pobočjem.

Gospodarič (1964) je v umetnem rovu med Postojnsko in Črno jamo določil tektonske premike na flišnih peskih. V profilu so vidni peski, odloženi v valovitih plasteh. Iz petrografske analize obravnavanih peskov izhaja, da izvirajo iz flišnih peščenjakov in laporjev, saj so v frakcijah tudi zaobljeni kosi drobno zrnatega peščenjaka. Stik pasovitih in drugih peskov kaže na to, da so obstajali različni sedimentacijski pogoji.

S paleomagnetnimi analizami jamskih sedimentov smo določili njihovo starost na 780 Ka. Aktivnost prečnodinarske prelomne cone, ki te sedimente seka, je torej lahko le mlajša od starosti sedimentov (Sasowsky et al., 2003).

Dokaze o riss-würmskih tektonskih premikih na osnovi premaknjenih prečnih profilov omenjajo Maurin (1953) in Wojcik & Zwolinski (1959).

V jami Frassino (Lombardija, Italija) je freatični rov zamaknjen z reverznim prelomom ob plasteh, starost zamaknjenih kapnikov določena z U/Th analizami pa je >350.000 let (Bini et al., 1992).

Pri opisu raziskovanja Pološke jame opisuje Habič (1971), da so rovi v Presti izoblikovani v bližini stika dveh glavnih v različno smer nagnjenih prelomnih ploskev. Velika dvorana je izoblikovana ob strmi do 60° nagnjeni drsni ploskvi dinarske smeri. Podstrešje, ki poteka v generalni smeri N-S, je nastalo predvsem z izpiranjem zdrobljene kamnine ob prelomni ploskvi. Tudi rov Zgornja soteska v dinarski smeri je oblikovan ob navpičnem prelomu. Primerov o tektonsko zamaknjenih rovih Habič (1971) ne omenja.

Pološka jama (10.800 m rogov) leži približno 300 m južno od Ravenskega preloma, ki je bil aktiven ob potresu 12. aprila 1998. Po ustnem pričevanju jamarjev (Gabrovšek, 2003) so po potresu opazili le nekaj odpadlih blokov v vhodnih delih jame.

Hribinski podori so bili sicer ob potresu 12. aprila 1998 na področju Krnskega pogorja (podori iz vrha Lemeža, podori v okolici izvira Tolminke, podori na Krnu, Krnčici) izredno številni. Karta možnosti nastanka hribinskih podorov za celotno ozemlje Slovenije ob upoštevanju seizmične karte s povratno periodo 500 let, pokaže, da so najbolj ranljive za nastanek podorov karbonatne kamnine, ki gradijo naš alpski svet (Vidrih & Ribičič, 1999).

Tektonski premik naj bi z navpično končno steno prekinil Kamniško jamo (Urbanc, 1982). V Končni dvorani naletimo na prelomno ploskev, ki je dolga 30 m in visoka 4 m. Urbanc meni, da se je nadaljevanje Glavnega rova ob tem prelomu odmaknilo in ga bo potrebno iskati na drugi strani preloma. Glavni rov je še po svojem nastanku pretrpel izredno močno tektoniko.

V zvezi s tem je potrebno omeniti primer Predjame (Šebela, 1996), kjer je severna stena na začetku Vzhodnega rova omejena s prelomno ploskvijo generalne smeri V-Z. V tem primeru se je jamski rov oblikoval vzdolž prelomne ploskve, ki je bila aktivna še pred dokončnim oblikovanjem rova. Zanesljivih dokazov o aktivnosti preloma v obdobju, ko je rov že obstajal, ni. Večkrat gre lahko le za odpadanje blokov od prelomov in za umaknitev oziroma znižanje rova ob prelomu.

Čar et al. (2002) podajajo nekoliko samozavestno trditev o aktivni tektoniki ob severnem robu Cerknškega polja. Sistem Postojnske in Planinske jame vzporejajo s Križno jamo, razdaljo med njima, ki znaša 12 km, pa pripisujejo desnemu zniku ob Idrijskem prelomu.

PRIMERI SEIZMIČNIH AKTIVNOSTI V KRAŠKIH JAMAH

Med prvimi se je z razmerjem med kapniki in potresi na primeru jam Bing cave (Nemčija) in Han-sur-Lesse (Belgija) ukvarjal Becker (1929).

Postpischl et al. (1991) zagovarjajo, da so kraške jame odlično okolje za študij o tektonskih dogodkih, še posebno o paleoseizmoloških. Spremembe v rasti stalagmitov (odkloni od vertikalne osi) so lahko posledica lokalnih dejavnikov (premiki bloka, na katerem raste stalagmit) ali tektonskih dogodkov in potresov (v primeru, da se anomalija rasti kapnikov sistematično pojavlja v celotnem kraškem sistemu). Dokazi za potrese v kraških jamah se vidijo v spremembi odklona rasti v vertikalni osi ali v ostrih spremembah plasti odlaganja sige (npr. sprememba barve zaradi fizikalnih in kemičnih značilnosti prenikajoče vode).

V preglednici 1 so zbrani nekateri primeri seizmičnih aktivnosti v kraških okoljih.

Primerjavo spremembe in hitrosti rasti stalagmitov iz dveh kraških jam (Buco dei Buio in Spipola; Bologna, Severna Italija) so povezali z najmočnejšim potresom v Severni Italiji dne 3. januarja 1117. Epicentri niso bili oddaljeni več kot 15 km od raziskovane jame (Postpischl et al., 1991).

DRŽAVA	IME	POTRESI	LITERATURA
Belgija	jama Pere Noel (Han-sur-Lesse)		Quinif & Genty 1998
Francija	jama La grotte de Villars, Perigord		Quinif & Genty 1998
Francija	jama Grotte de Deux Gourdes, vzhodni Pireneji		Gilli 1986
Francija	jama Aven de la Portalerie, Causse du Larzac	določena 2 potresa v obdobju 36.800-4.500 let BP	Bruxelles et al. 1998
Švica	področje severno od jezera Thoune		Jeannin 1990
Švica	jami Battlerloch in Dieboldslochli	Baselski potres 1356 z intenziteto epicentra VII-VIII in makroseizmično magnitudo 6,2	Lemelle et al. 1999
Monaco	jama Observatoire		Gilli 1999 d
Turčija	jama Tilkiler		Gilli 1997
Bolgarija	jama Douhlata		Angelova et al. 2003 b
Bolgarija	jama Lepenitsa		Shanov et al. 2001
Portugalska	jama Zambujal	dokazi o 2-eh seizmičnih dogodkih	Crispim 1999
Romunija	jamski sistem Humpleu, pogorje Bihor	določena 2 tektonska dogodka v zadnjih 250.000 letih	Onac et al. 1998
Italija	jami Buco di Buio in Spipola, Bologna	deformacije vezane na potres 3.januarja 1117	Postpischl et al. 1991
Italija	jama Grotta Grande del Cervo	v zadnjih 350.000 letih sklepajo na 4 potrese, od katerih je zadnji iz leta 1456	Postpischl et al. 1991
Maroko	jama Win-Timdouine, gorovje High-Atlas		Belfoul et al. 2001 Angelova et al. 2003 a
ZDA	Sutherland Peak cave, Arizona		Gilli 1999 b
Kostarika			Gilli 1997
Nemčija	Bing cave		Becker 1929

Preglednica 1 - Primeri seizmičnih aktivnosti

V Južni Italiji so raziskovali jamo Grotta Grande del Cervo (blizu Pietrasecca). Analizirali so 25 vzorcev podrtih stalagmitov in opravili ^{14}C in U/Th metode za določanje starosti. Podrti kapniki kažejo določene smeri, ki kažejo na tektonsko aktivnost. Najmlajši kapniki v Grotta Grande del Cervo so glede na očitne morfološke spremembe pred njihovo rastjo in glede na metodo ^{14}C začeli rasti po decembrskem potresu leta 1456. V zadnjih 350.000 letih sklepajo na 4 močnejše potrese, od katerih je zadnji iz leta 1456. Ob zadnjem potresu naj bi se s podornimi bloki zaprl vhod v jamo, kar potrjujejo arheološke raziskave. Potresi niso podrli oziroma premaknili le kapnikov, ampak so povzročili tudi podore s stropa jame, premike oziroma zamike jamskih sten. Nekateri stalagmiti po potresu niso več rasli, ker so bili stalaktiti nad njimi premaknjeni. V nekaterih primerih se rast kapnikov ne zaustavi le zaradi podorov, ampak zaradi sprememb v pretoku penikajoče vode, iz katere raste stalagmit (Postpischl et al., 1991).

Quinif & Genty (1998) zagovarjata ustreznost metode deformiranih kapnikov za obdobje Holocena ter zgornjega in srednjega Pleistocena. Za potrese iz Holocena priporočata tudi študijo o letnih laminacijah kapnikov, ki pomaga pri določanju starosti. V vsakem primeru zagovarjata korelacijo dogodkov iz več različnih jam.

Z zdrsom ob leziki, ob kateri je oblikovan rov, lahko isti stalaktit napaja več stalagmitov (Quinif et al., 1994).

Datacije stalagmita iz Grotta Gigante v Italiji (Cucchi & Forti, 1989) so pokazale odstopanja od vertikale. Ta odstopanja ustrezajo starostim 25.000, 20.000 in 15.000-12.000 let BP in jih pripisujejo seizmičnemu delovanju.

Po potresu 18. februarja 1996 z magnitudo 5.2 (področje Saint-Paul-de-Fenouillet vzhodni Pireneji, Francija) so pregledali 8 kraških jam, ki so bile od epicentra oddaljene 2-10 km. Epicenter je bil na globini 5-10 km. Na tleh kraških jam so odkrili stalaktitne cevke, ki so padle s stropa zaradi potresa. Jama Barrenc du Paradet leži na tektonsko aktivnem prelomu. Prevladujoča smer padlih cevk je E-W, kar ustreza smeri seizmično aktivnega preloma in verjetno tudi smeri maksimalnega talnega pospeška. V jami najdemo tudi stare odpadle, danes zasigane, cevke, kar kaže na starejše potrese, npr. na potres iz leta

1922. Potrebno je poudariti, da se niso zlomile vse cevke, ampak le tiste s strukturnimi anomalijami (Gilli, 1999 a).

Potres 3. maja 1887 v Sonori (Mehika) z magnitudo 7.2 je verjetno vplival na kapnike, predvsem na cevke, v nekaj več kot 100 km oddaljeni jami Sutherland Peak (Arizona, ZDA) (Gilli, 1999 b).

Na primeru jame Ribière (Bouches-du-Rhône, Francija) je Gilli (1999 c) dokazal, da polomljeni kapniki niso samo posledica potresov, ampak je vzrok tudi posedanje jamskih sedimentov. Namesto jamskih sedimentov je možna zapolnitev jame tudi z ledom.

Polomljene cevke v jami Grotte de l'Observatoire (Monaco) pripisujejo potresu iz leta 1887 z magnitudo 6-6.5 (Gilli, 1999 d). Jama je razvita znotraj naravnega preloma na jugu in vertikalnega preloma na severu. Naslednjo plast, danes že zasiganih, polomljenih cevk pripisujejo potresu iz leta 1564.

Podor nad jamo Nimfite v Bolgariji leta 1928 pripisujejo seizmični aktivnosti (Angelova et al., 2003 a).

Na primeru študije preloma Cévennes (jug Centralnega masiva, Hérault, Francija) so Camus et al. (2001) datirali sigo v jami Garrel, ki jo seka prelom, ki naj bi bil po nekaterih študijah aktiven še v zgornjem Pleistocenu. Analize nepoškodovane sige so pokazale, da prelom ni več aktiven vsaj 466 ka.

Na belgijskem krasu so na področju med Hotton in Han-sur-Lesse zasledili dokaze o neznanih potresih (Delaby & Quinif, 2001). V jami Hotton so v tretjem - zgornjem nivoju zabeležili, da je od vseh cevk 23-52 % zlomljenih in prekrivajo tla jame na več mestih. Ta primer razlagajo kot posledico neznanega potresa z epicentrom v bližini jame. Verjetno najmočnejši potres v vzhodni Belgiji (Vervier, 18. september 1692) pa ni zapustil primernih dokazov deformacij v bližnji jami Surdents.

Gilli & Delange (2001) opisujeta aktivne premike ob naravnih prelomih, v katerih so razvite kraške jame (brezno Abel in brezno Calernaüm, Alpes-Maritimes, Francija). Dokazi so zamaknjeni rovi in pretrti in zlomljeni kapniki.

Po potresih na področju Apeninov (Italija) leta 1997 ($5.1 < ML > 5.8$) v kraških jamah na področju Monte Cucco in Frassassi Gorge (oddaljeni 30 km od epicentra) niso opazili večjih deformacij, morda nekaj manjših premikov podornih blokov. V jamah so pred potresom zaznali naraščanje koncentracije CO₂ in T vode, po potresu pa povišanje T in konduktivnosti v izvirih in prenikajoči vodi (Menichetti, 1998).

Jamarji poročajo o premikih od nekaj cm do 5,8 m (premik fosilnega rova ob vertikalnem prelomu) in o premiku 3,4 mm (merjeno s steklenimi ploščicami v 19 letih) vzdolž plasti po potresu v Benečiji (Italija) od leta 1976 do 1996 (Mocchiutti & Valent, 1998).

Žumer (1996) opisuje potres v jami Dimnice. Dne 22. maja 1995 sta se zvrstila dva močnejša potresa (jakosti 4,0 in 4,2 po Richterjevi lestvici, jakost med V. in VI. stopnjo MKS) z epicentrom nad Ilirsko Bistrico in žariščem okoli 18 km pod površjem. Potres jame ni poškodoval, čutili pa so zračni sunek z zamolklim donenjem in pljuskanje valov.

ZAKLJUČEK

Potresi so torej lahko le eden od možnih vzrokov podiranja kapnikov v kraških jamah. Največkrat je težko zanesljivo dokazati, da so za deformacije kapnikov krivi potresi. Najprej moramo izločiti vse druge možne vzroke podiranja in deformacij. Tako lahko deformiran kapniški steber kaže tektonske napetosti med stropom in dnom dvorane (Quinif & Genty, 1998). Zato je potrebno določiti starost deformacij na sigah in opraviti statistično analizo podatkov o več različnih jamah (Forti, 1997).

Ugotavljanje obdobja podiranja kapnikov pa ni zanimivo samo za ugotavljanje možnih potresov, ampak predvsem za določanje različnih speleogenetskih obdobji kraških jam. Starost najdaljše jame na svetu Mammoth cave v ZDA je ocenjena na 3,5 milijona let (Granger et al., 2001). Z metodo $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ so na podlagi analize alunita določili starost dvorane Big Room v Carlsbad Cavern (New Mexico, ZDA) 4,0-3,9 milijona let. Zgornji del Lechugilla cave je star 6,0-5,7 milijona let, starost treh drugih jam na področju Guadalupe Mountains (New Mexico, ZDA) pa je določena na 11,3-6,0 milijona let (Polyak et al., 1998). Potresi, ki so se vršili v obdobju nekaj milijonov let, so verjetno vplivali tudi na speleogenezo jam.

Tudi v Sloveniji so nekatere kraške jame stare nekaj milijonov let (Bosak et al., 1998).

Z U/Th-dacijami so bila določena 3 obdobja odlaganja sige v podorni dvorani Veliki gori v Postojnski jami. Starost sige, ki prekriva podorne bloke na pobočju dvorane, je 37 ± 7 Ka, starost sige, ki prekriva grušč na vrhu podorne dvorane, pa 47 ± 7 Ka. Najmlajšo fazo odlaganja (12 ± 5 Ka in 6 ± 4 Ka) predstavlja siva kristalasta siga, ki se pojavlja kot skorja ali kot stalagmiti (Mihevc, 2002). Ta najmlajša siga prekriva podorne bloke, kar kaže na nizko intenziteto podorov v recentnem obdobju. Podori so povezani s hladnejšo klimo, odlaganje sige pa s toplejšo (Mihevc, 2002).

Na primeru magnetostratigrafske analize sige iz Snežne jame na Raduhi so določili starost sige na 1,8-3,6 Ma (oziroma 3,0-5,0 Ma). Snežna jama je bila dvignjena na današnjo višino (1500-1600 m, današnja n.m.v. reke Savinje v dolini je 580 m) z mlajšimi (plioleistocenskimi) tektonskimi dviganji Alpskega loka (Bosak et al., 2002).

Na podlagi paleomagnetnih analiz jamskih sedimentov sklepamo tudi na tektonske rotacije. Tako Pruner et al. (2003) opisujejo rotacijo za 36° med zgornjo in spodnjo sekvenco vzorčevanega profila (484 cm) v Račiški pečini (starost večja od 0,78 Ma, verjetno večja od 1,77 Ma).

Rotacija profila sedimentov v Postojnski jami starosti 780 Ka je bila določena na 43° v nasprotni smeri urinega kazalca. Tudi tu naj bi šlo za tektonsko rotacijo (Sasowsky et al., 2003).

Glede na potresno aktivnost v Sloveniji bi lahko pričakovali, da so se tudi v kraških jamah ohranili dokazi za neotektonsko aktivnost.

Po ustnem pričevanju (Mihevc, 2003) naj bi bila neotektonika v smislu zamaknjenih rogov opazna v Logaški jami in Jami v Lozi. Po Otoničarju (2003, ustno pričevanje) pa so rovi premaknjeni v Pološki jami in v Vrhniški jami. Gabrovšek (ustno pričevanje, 2003) omenja, da je šel po potresu leta 1998 v Pološko jamo, kjer je le do približno 30 m od vhoda v notranjost videl odpadle sveže bloke apnenca.

Raziskava je bila v opravljena v okviru programa Raziskovanje krasa, ki ga financira Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport RS in v okviru projekta COST 625 (3-D monitoring of active tectonic structures).

SEZNAM LITERATURE

- Angelova, D., Belfoul, M.A., Bouzid, S., Filahi, M. & Faik, F., 2003 a: Paleoseismic phenomena in karst terrains in Bulgaria and Marocco.- *Acta carsologica* 31/1, 101-120, Ljubljana.
- Angelova, D., Belfoul, M.A., Bouzid, S. & Faik, F., 2003 b: Karst and cave systems in Bosnek region (Vitosha mountain, Bulgaria) and in Win-Timdouine (High Atlas mountain, Marocco).- 11th international karstological school, Karst Terminology, Guide booklet of the excursions and abstracts of lecture or poster presentation, July 2003, Postojna, p.47.
- Becker, H.K., 1929: Höhle und Erdbeben: Mitt. Über Höhlen-u.Karstf. no. 1-4, p. 130-133.
- Belfoul, M.A., Qurtobi, M. & Faik, F., 2001: Impact de la structuration atlasique sur l'architecture interne de la grotte de Win-Timdouine (Haut-Atlas occidental marocain).- RIVIERA 2000,

- Tectonique active et géomorphologie, Villefranche-sur-Mer, Revue d'Analyse Spatial-No. Spécial 2001, 47-50, Nice.
- Bini, A., Quinif, Y., Sules, O. & Uggeri, A., 1992: Les mouvements tectoniques récents dans les grottes du Mont Campo dei Fiori (Lombardie, Italie).- *Karstologia* 19, 1, 23-30.
- Bosak, P., Pruner, P. & Zupan Hajna, N., 1998: Palaeomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia.- *Acta carsologica SAZU*, XXVII/2, 151-179, Ljubljana.
- Bosak, P., Hercman, H., Mihevc, A. & Pruner, P., 2002: High-resolution magnetostratigraphy of speleothems from Snežna jama, Kamnik-Savinja Alps, Slovenia.- *Acta carsologica* 31/3, 15-32, Ljubljana.
- Brodar, S. 1966: Pleistocenski sedimenti in paleolitska najdišča v Postojnski jami.- *Acta carsologica* 4, 55-139, Ljubljana.
- Bruxelles, L., Guendon, J.L. & Quinif, Y., 1998: Indices de la paléosismicité des grands Causses dans les cavités karstiques: l'exemple de l'aven de la portalerie (Izard, Aveyron).- *SpeleoChronos hors-série*, Livre des contributions au colloque "Karst & Tectonics", Han-sur-Lesse, 9-12 mars 1998, 19-22, Mons.
- Crispim, J. A., 1999: Seismotectonic versus man made-induced morphological changes in a cave on the Arrábida chain (Portugal).- *Geodinamica Acta*, vol 12, 3-4, Elsevier, 135-142, Paris.
- Cucchi, F. & Forti, P., 1989: The first absolute datation of a speleothem from Trieste Karst.- *Acta carsologica* 18, 53-64, Ljubljana.
- Camus, H., Seranne, M. & Quinif, Y., 2001: Activité tectoniques récente enregistrée par les spéléothèmes: un contre exemple sur la faille des Cévennes (sud du Massif Central, Hérault, France).- *RIVIERA 2000*, Tectonique active et géomorphologie, Villefranche-sur-Mer, Revue d'Analyse Spatial-No. Spécial 2001, 53-54, Nice.
- Čar, J., Šušteršič, F. & Vrabc, M. 2002: Geomorfologija in aktivna tektonika ob severnem robu Cerkniškega polja.-1.slovenski geološki kongres, Črna na Koroškem, 9-11.oktober 2002, Knjiga povzetkov, 17, Ljubljana.
- Delaby, S. & Quinif, Y., 2001: Palaeoseismic investigation in Belgian caves.- *RIVIERA 2000*, Tectonique active et géomorphologie, Villefranche-sur-Mer, Revue d'Analyse Spatial-No. Spécial 2001, 67-71, Nice.
- Forti, P., 1997: Speleothems and Earthquakes.- 284-285, In: Hill, C. & Forti, P., *Cave Minerals of the World*. Second edition, 463 p., NSS, Huntsville.
- Gams, I. 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskimi, Planinskimi in Cerkniškimi poljem.- *Geogr. Vestnik* 37, 60-101, Ljubljana.
- Gams, I., 2002: O krušenju, premikanju skalnih blokov in tektonskih dislokacijah v jamah v Sloveniji.- *Naše jame* 44, 14-24, Ljubljana.
- Gams, I., 2003: *Kras v Sloveniji v prostoru in času*.- Založba ZRC, 516 pp., Ljubljana.
- Gilli, E., 1986: Néotectonique dans les massifs karstiques. Un exemple dans les Préalpes de Nice: la Grotte des Deux Gordes.- *Karstologia* 8, 51-52, Bull F.F.S., Lyon.
- Gilli, E., 1997: Enregistrement de mouvements récents par l'endokarst.- *Archéologie et Sismicité*, Édition APDACA, 133-156.
- Gilli, E., 1999 a: Research on the February 18, 1996 earthquake in the caves of Saint-Paul-de-Fenouillet area, (eastern Pyrenees, France).- *Geodinamica Acta* 12, 3-4, 143-158, Paris.
- Gilli, E., 1999 b: Evidence of palaeoseismicity in the caves of Arizona and New Mexico (USA).- *Surface Geosciences*, C.R. Acad. Sci. Sciences de la terre et des planets, 329, 31-37, Paris.
- Gilli, E., 1999 c: Breaking of speleothems by creeping of a karstic filling. The example of the Ribière cave (Bouches-du-Rhône).- *Surface Geosciences*, C.R. Acad. Sci. Sciences de la terre et des planets, 329, 807-813, Paris.
- Gilli, E., 1999 d: Evidence of palaeoseismicity in a flowstone of the Observatoire cave (Monaco).- *Geodinamica Acta* 12, 3-4, 159-168, Paris.
- Gilli, E. & Delange, P. 2001: Utilisation des spéléothèmes comme indicateurs de néotectonique ou de paléosismicité.- *RIVIERA 2000*, Tectonique active et géomorphologie, Villefranche-sur-Mer, Revue d'Analyse Spatial-No. Spécial 2001, 79-90, Nice.
- Gospodarič, R., 1963: K poznavanju Postojnske jame-Pisani rov.- *Naše jame* 4 (1962), 9-16, Ljubljana.

- Gospodarič, R., 1964: Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postojnski jami.- Naše jame 5 (1963), 5-11, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1968: Podrti kapniki v Postojnski jami.- Naše jame 9 (1-2), 15-31, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1977: The collapse of speleothems in the Postojna cave system.- Proceedings of the 7th international speleological congress Sheffield 1977, Hawthornes of Nottingham Limited, 444 p., England.
- Granger, D.E., Fabel, D. & Palmer, A.N., 2001: Pliocene-Pleistocene incision of the Green River, Kentucky, determined from radioactive decay of cosmogenic ²⁶Al and ¹⁰Be in Mammoth Cave sediments.- Geological Society of America Bulletin, vol. 113, no. 7, 825-836.
- Habič, P., 1971: Pološka jama-najgloblja v Jugoslaviji.- Naše jame 12 (1970), 23-34, Ljubljana.
- Hohenwart, F.J.G., 1830: Wegweiser für die Wanderer in der berühmten Adelsberger- und Kronprinz Ferdinands-Grotte bey Adelsberg in Krain, herausgegeben von Franz Grafen von Hohenwart. Als Erklärung der von Herrn Aloys Schaffenrath, k.k. Kreis-Ingenieur in Adelsberg gezeichneten Ansichten dieser Grotte.- I. Helf, 1-16, Wien.
- Jeannin, P.-Y., 1990: Neotectonique dans le karst du Nord du Lac de Thoune (Suisse).- Karstologia 15, 41-54, Lyon.
- Kranjc, A., 1999: O odpadanju sige (primer odpadlega stalaktita v Škocjanskih jamah).-Acta Carsologica SAZU 28/1, 201-214, Ljubljana.
- Lacave, C., Koller, M. & Levret A., 2001: Measurement of natural frequencies and damping of speleothems.- RIVIERA 2000, Tectonique active et géomorphologie, Villefranche-sur-Mer, Revue d'Analyse Spatial-No. Spécial 2001, 99-104, Nice.
- Lemeille F., Cushing, M., Carbon, D., Grellet, B., Bitterli, T., Flehoc, C. & Innocent, C., 1999: Co-seismic ruptures and deformations recorded by speleothems in the epicentral zone of the Basel earthquake.- Geodinamica Acta 12, 3-4, Elsevier, 179-191, Paris.
- Quinif, Y., Genty D. & Maire, R., 1994: Les spéléothèmes: un performant pour les études paléoclimatiques.- Bull. Soc. Géol. France, t. 165, no. 6, 603-612, Paris.
- Quinif, Y., & Genty, D., 1998: Sedimentary recording and dating of sismo-tectonic events by the speleothems.- Spéléochronos no 9, 27-32, Mons, Belgique.
- Maurin, V., 1953: Über jüngste Bewegungen im Grazer Paläozoikum.- Verh. D. Geol. BD., H. 4, Wien.
- Menichetti, M., 1998: Central Italy earthquakes of autumn 1997 and the underground karst features of the area.- Speleochronos hors-série, Livre des contributions au colloque "Karst & Tectonics", Han-sur-Lesse, 9-12 mars 1998, 121 p., Mons.
- Michler, I. & Hribar, F., 1959/60: Sistem Postojnskih jam.- Proteus 22, 8, Ljubljana.
- Mihevc, A. 2001: Speleogeneza Divaškega krasa.- Založba ZRC 27, 180 pp., Ljubljana.
- Mihevc, A. 2002: U/Th datation of the collapse processes on Velika gora.- Programme and guide booklet for the excursions, Evolution of karst from prekarst to cessation, September 17-21, 2002, 14-15, Postojna.
- Mocchiutti, A. & Valent, M., 1998: Evidences morphologiques de mouvements tectoniques récents dans les grottes du Friuli (Nord Est Italie), avec référence particulière aux mouvements postérieurs au tremblement de terre de 1976.- Speleochronos hors-série, Livre des contributions au colloque "Karst & Tectonics", Han-sur-Lesse, 9-12 mars 1998, 123-125, Mons.
- Onac, B.P., Papiu, F., Aanei, M., Bujor, O., Irimie, D. & Filotie, O., 1998: Neotectonic features in the Humpleu cave system (Bihor Mountains, Romania).- Speleochronos hors-série, Livre des contributions au colloque "Karst & Tectonics", Han-sur-Lesse, 9-12 mars 1998, 135-136, Mons.
- Perko, I.A., 1910: Die Adelsberger Grotte in Wort und Bild. Adelsberg.
- Polyak, V.J., McIntosh, W.C., Güven, N. & Provencio, P., 1998: Age and Origin of Carlsbad Cavern and Related Caves from ⁴⁰Ar/³⁹Ar of Alunite.- Science, vol. 279, 1919-1921.
- Postpischl, D., Agostini, S., Forti, P. & Quinif, Y., 1991: Palaeoseismicity from karst sediments: the »Grotta del Cervo« cave case study (central Italy).- In: Stucchi, M., Postpischl, D. & Slejko, D., (Editors), Investigation of Historical Earthquakes in Europe. Tectonophysics, 193 (1991), 33-44, Amsterdam.
- Pruner, P., Bosak, P., Mihevc, A., Kadlec, J., Man, O. & Schnabl, P., 2003: Preliminary report on palaeomagnetic research on Račiška pečina cave, SW Slovenia.- 11th international karstological

- school, Karst Terminology, Guide booklet of the excursions and abstracts of lecture or poster presentation, July 2003, Postojna, 35-37.
- Sasowsky, I.D., Šebela, S. & Harbert, W., 2003: Concurrent tectonism and aquifer evolution >100,000 years recorded in cave sediments, Dinaric karst, Slovenia.- *Environmental Geology* 44, 8-13.
- Shanov, S., Kourtev K., Kostov, K., Nikolov, G., Boykova, A. & Benderev, A., 2001: Palaeoseismological traces in the Lepenitsa Cave, Velingrad district, South Bulgaria.- *Tectonique active et géomorphologie, Riviera 2000, Villefranche-sur-Mer 18-22 oct. 2000, Revue d'Analyse Spatial N° spécial - 2001, 151-154, Nice.*
- Šebela, S., 1996: The influence of tectonic zones on cross section formations in the Predjama cave, Slovenia.- *Kras i speleologia*, 8 (XVII), 72-76, Uniwersytet Slaski, Katowice.
- Urbanc, J., 1982: Kamniška jama.- *Naše jame* 23/24 (1981/1982), 25-34, Ljubljana.
- Vidrih, R. & Ribičič, M., 1999: Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12.aprila 1998 in Evropska makroseizmična lestvica (EMS-98).- *Geologija* 41 (1998), 365-410, Ljubljana.
- Wojcik Z. & Zwolinski, S., 1959: Młode przesunięcia tektoniczne w jaskiniach tatrzańskich.- *Acta Geol. Pol.*, vol. IX, Warszawa.
- Žumer, J. 1996: Potres v Dimnicah.- *Naše jame* 38 (1997), 152-154. Ljubljana.