

IGOR JELINIĆ – NADA HORVATINČIĆ – VLADO BOŽIĆ

LEDENA JAMA U LOMSKOJ DULIBI

Igor Jelinić
Speleološki odsjek, PD "Dubovac"
Strossmayerov trg 2
HR 47000 Karlovac

UDK: 551.44
Stručni članak
Ur.: 2001-09-20

Nada Horvatinčić
Institut "Ruder Bošković"
Bijenička cesta 54
HR 10000 Zagreb

Vlado Božić
Speleološki odsjek, PD "Željezničar"
Trnjanska 5b
HR 10000 Zagreb

Tijekom speleoloških istraživanja Ledene jame u Lomskoj dulibi na sjevernom Velebitu, koja su trajala od 1962. do 1998., izmjerena je dubina jame od 536 m. Iako jama morfološki izgleda jednostavna, istraživanja je otežavao snijeg i led na ulaznom dijelu jame, koji se u vrijeme istraživanja topio i odljepljivao od stijena pa je bio stalna prijetnja istraživačima. Kako debljina ledenog čepa iznosi oko 40 m, a kroz Lomsku dulibu nekada je tekao ledenjak, speleologe je to navelo na misao da taj led možda potječe još iz Ledenog doba. Zbog toga su uzeti uzorci leda, grana u ledu i sige sa stijene jame, radi određivanja njihove starosti. Rezultati mjerenja pokazali su da je led u jami star samo oko 450 godina, a da je siga stara čak oko 300. 000 godina. Ti iznenađujući rezultati upućuju na potrebu novih mjerenja u ovoj jami, ali radi usporedbe, i u drugim špiljama i jamama u Hrvatskoj.

Uvod

Kao i većina jama sjevernog Velebita, i ledena jama u Lomskoj dulibi morfološki je prilično jednostavna. No, ta je jednostavnost obrnuto proporcionalna brzini i jednostavnosti istraživanja, po čemu se razlikuje od ostalih dubljih

jama tog dijela Velebita. Imamo li u vidu da danas uigranoj tročlanoj skupini speleologa dostaju tri sata da siđu do dna, iznenađuje složenost i postupnost istraživanja ove jame. Pa ipak, upravo ta složenost čini priču o Ledenoj jami u Lomskoj dulibi zanimljivom.

Položaj jame

Lomska duliba je ledenjačka dolina između Velikog Rajinca na sjeveru i Hajdučkih kukova na jugu (proteže se u pravcu WNW-ESE). Na najnižem i najistočnijem dijelu ove, malo više od kilometar duge doline, nalazi se na nadmorskoj visini od 1235 m ulaz Ledene jame. Koordinate ulaza jesu: X = 4958,735 m, Y = 5502,525 m (Sl. 1).

Pristup jami

Od planinarskog doma na Zavižanu oko 7 km cestom u smjeru Krasnog (oko 1 km iza lugarnice u Velikom Lomu) do kraja Dulibe, stotinjak metara lijevo od ceste.



Sl. 1. Ulaz u Ledenu jamu gledan sa sjevera. (Foto: Zoran Gregurić, 1993.)

Morfologija jame

Iako je jama, kao što je i spomenuto, morfološki vrlo jednostavna, snježno-ledeni čep koji se nalazi između 50. i 90. metra dubine, čini je zanimljivom i specifičnom. Da nema čepa, ulazna bi vertikalna praktično iznosila 270 metara, no ovako je ulazni dio jame u stvari snježnica duboka pedesetak metara, tlocrtnih dimenzija 50 x 60 m. Čep se proteže do dubine od 90 m, a danas postoje već tri otvora kojima se može proći kroz njega. Topljenje leda koje je uvjetovalo stvaranje tih prolaza (prvi uočen 1993.), nastavlja se i dalje promjenjivim intenzitetom koji i te kako utječe na izgled dijela jame ispod čepa (80 - 220 m dubine). U tom su dijelu posljednjih godina primijećene velike promjene s obzirom na količinu leda koji pokriva stijene. Te promjene nagnale su nas 1995. da postavljamo potpuno novu liniju silaska, jer prijašnjim pravcem nije bilo moguće silaziti zbog leda. Tamo gdje su bili spitovi u čistoj stijeni, tada je nađen debeli sloj leda. Taj je dio jame, svakako, i najopasniji zbog stalnih odrona leda i kamenja uzrokovanih topljenjem. Tu se dogodila i do sada najteža nesreća u hrvatskoj speleologiji, kada je odron leda i kamenja teško ozlijedio Borisa Bukovčaka iz Karlovca.

Jama nas dalje vodi do velike dvorane (80 x 50 x 60 m) kroz čije dno, nagnuto u prosjeku oko 25%, prolazi metar duboka vododerina. Ona se očito nekad pretvara u korito potoka, što govori o povremenoj (ili nekadašnjoj) aktivnosti vode u tom speleološkom objektu. Nastavak jame kreće iz najnižeg dijela dvorane i nudi speleolozima naglu i očitu promjenu i u dimenzijama, i u temperaturi, koja se osjetno podiže zbog udaljavanja od ledenog sloja. Od dvorane pa do dna nižu se vertikale s manjim horizontalnim dijelovima, a na tri mjesta (-430, -439 i -473 m) nalaze se među vertikalama prilično uski prolazi. Najuži je na "starom dnu", na dubini od 472 metra, koji je ujedno i granica koja dijeli suši dio jame od onoga najmokrijeg na dnu. Posljednja vertikalna karakteristična je po pljusku koji se ne može izbjeći ni u najsušće doba godine. Na samom dnu nalazi se dvorana 10 x 5 m, tla pokrivena šljunkom kroz koji se cijedi sva pristigla voda. Na tom mjestu ne postoje nikakve perspektive za dalje istraživanje.

O imenu

Malo je speleoloških objekata koji su u speleološkoj literaturi u tako kratkom vremenu bili nazivani s toliko raznih imena.

Prvi su naziv jami dali članovi Speleološkog društva Hrvatske istražujući sjeverni Velebit 1962., i nazvali ju Jama u Velikom Lomu.

U vrijeme istraživanja Lukine jame (1993. i 1994.), kada i Ledena jama u Lomskoj dulibi postaje sve aktualnija, većina je speleologa naziva jednostavno Ledenica u Lomskoj dulibi. To i ne čudi s obzirom na to da je riječ o speleološkom objektu s karakteristikama ledenice, ali i u literaturi u to se vrijeme nalazi jedino naziv Ledenica u Lomskoj dulibi (*Velebiten, Hrvatski planinar, Speleolog*), s iznimkom *Speleo'zina*, čiji su se autori držali naziva Ledena jama u Lomskoj dulibi, budući da se pod tim nazivom pojavljuje još 1979. u članku B. Jalžića u časopisu *Speleolog*. Kako okolica jame nije nastanjena, nismo doznali nikakav lokalni naziv, pa smo prihvatili ovaj naziv koji prvi spominju članovi SO-a "Željezničar".

Istodobno, slovački speleolozi, koji su u jami istraživali 1992. i 1993., jamu nazivaju S. U. K. (kratica za *Speleoklub Univerzity Komensko*) ne znajući za postojeće hrvatske nazive. Poslije su upotrijebili i neobičnu kombinaciju – Ledenica S. U. K.

U kaotičnoj situaciji oko naziva ovoga prilično značajnog objekta, bilo je prijeko potrebno usklađivanje među speleolozima koje, čini se, ni do danas nije posve usklađeno, iako je uglavnom prihvaćen prvi naziv jame – Ledena jama u Lomskoj dulibi (u daljem tekstu Ledena jama).

Dubina jame

Podatci o dubini jame također su varirali. Evo uzroka takvoj situaciji.

Kada su slovački speleolozi 1993. kao prvi stigli do dna, odnosno dijela koji se tada uzimao za dno, izmjerili su dubinu od 432 m. Već sljedeće, 1994., godine i hrvatski speleolozi izrađuju nacrt jame, koji se bitno ne razlikuje od slovačkog, osim u jednom detalju koji jamu čini dubljom 19 m. Dubina iznosi 451 m. Godine 1996. Karlovčani uspijevaju proći još 63 metra dublje, što pribrojavaju spomenutoj brojci i dobivaju dubinu od 514 m. U ljetu 1997. Igor Jelinić, sumnjajući u valjanost ranijih mjerenja, ponovno topografski snima donji dio jame (ispod dvorane), te zahvaljujući svojoj "legendarnoj" pedantnosti i brzini, već nakon nepune tri godine sređuje nacrt i primjećuje pogrešku na istoj ovoj, već jednom korigiranoj vertikali. Jedna famozna (sporna) vertikala kod Slovaka (Šmida) iznosi 29, kod Jalžića 48, a kod Jelinića 67 metara. Nova dubina – 536 metara (Sl. 2).

Perspektive ili zašto izbjegavati Ledenu jamu

Iako je Ledena jama prilično detaljno istražena, postoje neke mogućnosti za pronalaženje novih dijelova paralelnih jama, i to isključivo u njezinu gornjem dijelu jer je taj dio zbog prostranosti i neosvijetljenosti na neki način nepoznat.

No, kako u nižim dijelovima praktično nema izgleda za napredovanje (nekoliko pokušaja penjanja potvrđuju tu teoriju), ne bi bilo mudro pretjerano izazivati sreću u tako opasnoj jami. Bučne lavine leda i kamenja kojima smo bili svjedoci već i prvih godina istraživanja, postale su sa širenjem otvora u ledenom čepu sve češće, što nam je potvrdila i piramida ledenih komadića opažena u dvorani pri posljednjem boravku 1997. Strahovita buka što smo je čuli istoga dana neposredno nakon izlaska kroz čep, navodi nas da se još jednom prisjetimo neugodnih iskustava, koja ne bismo rado ponavljali.

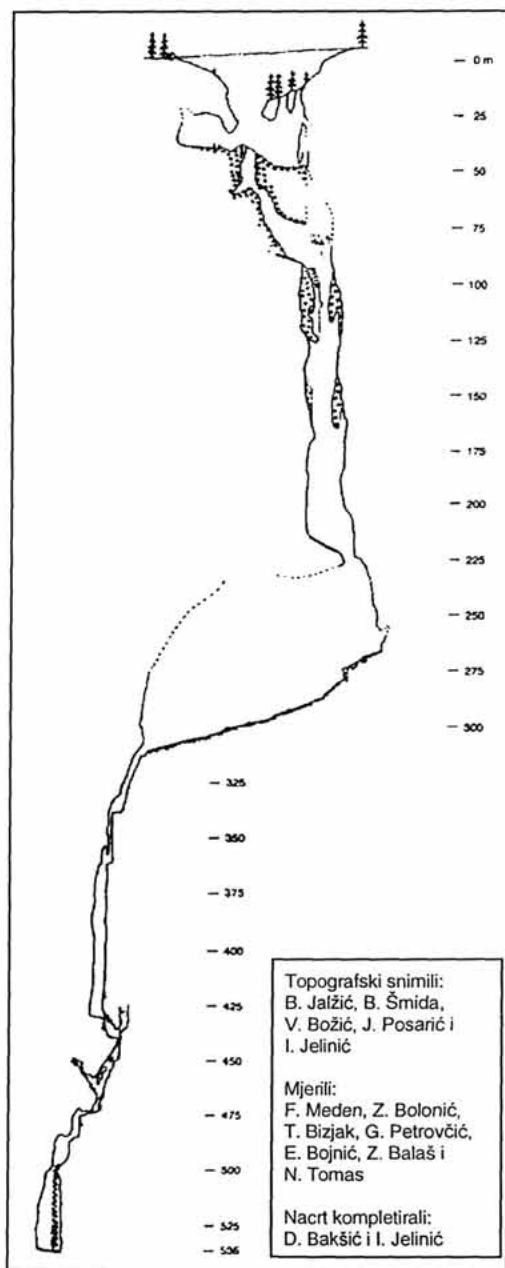
Ipak, nije li upravo znatiželja ono što nas vuče pod zemlju?

Kronologija istraživanja

Prema dostupnim podacima, prvi su jamu istraživali 1962. članovi Speleološkog društva Hrvatske za potrebe ondašnje JNA. Oni jamu topografski snimaju i nazivaju Jama u Velikom Lomu.

Početkom srpnja 1997. u jamu se spuštaju članovi SO "Željezničar" Z. Bolonoić, B. Jalžić i F. Meden. Ponovno izrađuju nacrt i fotografiraju u dijelu s ledom.

U okviru slovačke speleološke ekspedicije 1. 10. 1992. u jamu ulaze E. Kapucijan i B. Šmida do snijega na -50 m, a 6. 10. 1992. Z. Agh i E. Kapucijan silaze do 90 m.



Sl. 2. Nacrt Ledene jame u Lomskoj dulibi

Početak kolovoza 1993. u okviru ekspedicije "Lomska duliba 93", u jamu se spuštaju mnogi do snijega, zbog ogleđa i fotografiranja leda, a V. Božić i G. Petrović ponovno topografski snimaju taj dio i prolaze kroz čep do dubine od 80 m. Iza njih se G. Bratim i G. Jakelić spuštaju do ruba vertikale na 90 m.

Slovaci Z. Agh i M. Griflik 14. 9. 1993. silaze do 220 m, dan poslije L. Plučinsky i J. Šmoll do 450 m, a B. Šmida i E. Kreutz topografski snimaju do -430 m.

U jamu 18. 9. 1993. ulaze Z. Agh, M. Griflik, L. Plučinsky i B. Šmida te se zaustavljaju na suženju koje u tom trenutku proglašavaju dnom, no oni mjere -432 m. U povratku, na dubini od oko 200 m, zaustavljaju ekipu koja dolazi pripremiti bivak, koji ne će trebati (M. Meško, D. Kotlarčik i E. Kreutz).

U okviru ekspedicije "Lukina jama '94", za vrijeme koje mnogi ponovno posjećuju gornji dio jame, N. Božić, J. Ostojić i D. Troha 6. 8. 1994. spuštaju se do 440 m.

M. Kuhta silazi 9. 8. 1994. do iste dubine radi uzimanja geoloških uzoraka.

10. 8. 1994. ulaze I. Jelinić, D. Hamidović i S. Rešetar. Nesretnim slučajem D. Hamidović lomi gležanj, pa zajedno sa S. Rešetarom izlazi. Oba se odmah upućuju u Zagreb u bolnicu. I. Jelinić sam postavlja jamu do -473 m, a istodobno do kraja velike dvorane (-310 m) silaze V. Božić i A. Čop radi fotografiranja.

T. Bizjak, B. Jalžić, I. Mulić I. Radić i I. Zovko 11. 8. 1994. silaze do aktualnog dna i korigiraju slovački nacrt. Primjećuju pogriješku u mjerenju.

12. 8. 1994. do -310 m silaze M. Andreis, L. Hrust i Ž. Županić.

24. 9. 1994. I. Jelinić i J. Ostojić raspremaju jamu. Užad donjeg dijela jame ostavljaju u dvorani na -300 m. Ostatak izvlače, u čemu im u posljednjih stotinjak metara pomažu D. Lacković i V. Ungar, koji – ne znajući za prvu dvojicu – dolaze radi skupljanja geoloških uzoraka.

Radi pripreme za ekspediciju u Španjolsku 28. 5. 1995. u jamu ulaze članovi SO Dubovac, ali zbog jakog topljenja snijega prvog dana jamu opremaju samo do -200 m. Promjene koje su nastale zbog topljenja leda, sile ih da postavljaju potpuno novu liniju.

29. 5. 1995. do 310 silaze Z. Balaš, M. Barešić, N. Božić, B. Bukovčak, H. Cvitanović, T. Gorščak, M. Pavlović, D. Pavičić, P. Protić i M. Malković, do -430 m B. Bukovčak, a I. Jelinić i B. Šavor do -473 m, gdje bez većih uspjeha pokušavaju proširiti uski prolaz na dnu. Užad ostaje u jami.

Krajem lipnja 1995., radi skupljanja uzoraka leda, u jamu do dubine 90 metara ulaze nekoliko puta V. Božić, Č. Josipović, D. Lacković i M. Uroić.

8. i 9. 7. 1995. I. Jelinić rasprema jamu od -473 m do dvorane, odakle raspremaju B. Šavor i P. Protić.

18. 7. 1996. u okviru logora organiziranog radi daljeg napredovanja na dnu, u jamu prvi ulaze Z. Bačurin, Z. Balaš i I. Jelinić, te opremaju jamu do -300 m.

Z. Bačurin, Z. Balaš, B. Bukovčak, B. Kuka i P. Protić postavljaju bivak na -300 m, a I. Jelinić i B. Šavor opremaju jamu do dna, prokopavaju suženje, nakon čega B. Šavor prolazi i spušta se daljih desetak metara. Jama se nastavlja vertikalom od oko 50 m.

N. Bočić i B. Šavor opremaju 21. 7. 1996. jamu do dna, prvi doživljavaju razočaranje. Dno vertikale ujedno je i dno jame. Z. Balaš i I. Jelinić foto­grafski i topografski snimaju novi dio.

Z. Bačurin, B. Bukovčak i P. Protić 22. 7. 1996. raspremaju jamu od -536 do -300 m.

Z. Balaš, I. Jelinić, P. Protić i S. Rešetar 24. 7. 1996. silaze na -300 m zbog fotografiranja i raspreamanja. Na izlazu im pomažu Z. Bačurin i B. Bukovčak.

D. Basara Z. Ivasić, I. Jelinić i Ž. Ivasić 28. 6. 1997. penjanjem istražuju kanal kojim dolazi voda u glavni kanal na dubini od 465 m, ali nakon petnaestak metara zaustavlja ih prolaz u uski meandar. Do jutra svi izlaze.

Iz sportskih motiva 29. 6. 1997. u jamu ulaze B. Bukovčak i M. Fudurić. Silaze do 430 m i na povratku se događa jedna od najtežih nesreća u hrvatskoj speleologiji. Na dubini od oko 160 m odron kamenja i leda teško ranjava Bukovčaka, koji se u tom trenutku nalazio na užetu u previsnoj stijeni. M. Fudurić, prelazeći preko njega, izlazi i alarmira ostale, pa u tijeku akcije spašavanja u jamu ulaze Ž. Ivasić, I. Jelinić i B. Šavor do -150 m, a poslije i B. Kuka do -60 m.

I. Jelinić i N. Tomas 2. 8. 1997. raspreamaju jamu od -437 m do dvorane i taj dio ponovno topografski snimaju svjesni pogriješaka u prijašnjim mjerenjima. Od dvorane do izlaza raspreamaju D. Basara, D. Novosel i M. Pavlović.

Radi procjene širine otvora u ledu 6. 8. 1998. u jamu ulaze V. Božić, S. Herel, B. van Hooydonek i A. Vangeneugden. Primjećuju da se otvor proširio.

Ledeni čep

Pri istraživanju špilja i jama na području sjevernog Velebita zadnjih desetak godina, kada su istražene dvije najdublje jame u Hrvatskoj, u Hajdučkim i Rožanskim kukovima – Lukina jama (-1392 m) i Slovačka jama (-1301 m), dvije jame manje dubine – jama Patkov gušt (-553 m) i Ledena jama (-536 m), te još mnogo drugih jama, ustanovljeno je da se gotovo u svima, barem na ulaznim dijelovima, i usred ljeta nalazi mnogo snijega i leda. Što se tiče leda, posebno je zanimljiva Ledena jama u Lomskoj dulibi.

U prvim istraživanjima Ledene jame, u ljetu 1962. i 1977. ustanovljeno je da se neravno dno, promjera dvadesetak metara nalazi na dubini od 50 do 60 m i da je cijelo pokriveno debelom naslagom snijega i leda. Uz prevjesne stijene



Sl. 3. Polica u ledenom čepu na dubini od oko 80 m, lijepo vidljiva slojevitost leda

jame bile su se stvorile lijepe plavo-zelene sige. Petnaestak godina poslije, tj. u ljetu 1993., speleolozi su našli na sjevernoj strani jame, između kamene stijene jame i debelog sloja leda, otvor, gore promjera oko 3 metra, a desetak metara niže oko jedan metar, iz kojega je strujio topliji zrak. Spuštajući se dublje uz kamenu stijenu do dubine od oko 90 m, speleolozi su mogli pratiti u ledu mala proširenja i suženja, i dobro izraženu slojevitost ledenih naslaga. Takav slojeviti led počinje na dubini od oko 50 m i pruža se do dubine od 90 m. To je u stvari veliki ledeni čep promjera dvadesetak metara i dubok oko 40 m. Slojevi leda izvanredno se lijepo vide od samog vrha čepa, gdje je led još pokriven svježim snijegom, pa do samog dna čepa, koji leži na kamenom siparu (Sl. 3).

Saznanje o postojanju tako dubokog ledenog čepa pobudilo je razmišljanje o njegovoj starosti, jer da bi nastao, moralo je sigurno proći mnogo godina. Maštu je pobudila i spoznaja da je Lomskom dulibom nekada tekao ledenjak, poprečni presjek dulibe karakterističnog oblika to potvrđuje, pa je pretpostavljeno da led u jami možda potječe iz doba kada je ledenjak bio aktivan, tj. iz Ledenog doba, star možda desetak tisuća godina. Ta je pretpostavka zagolicala sve članove speleološkog logora, pa je odlučeno da se starost leda pokuša odrediti nekom znanstvenom metodom.

Uzimanje uzoraka

Članovi ekspedicije, koji su se spremali za nastavak istraživanja u Lukinoj jami i Ledenoj jami, uspostavili su kontakt s Institutom "Ruđer Bošković" u Zagrebu radi suradnje na ostvarenju te ideje. Od dr. Nade Horvatinčić dobivene su detaljne upute kako i gdje uzeti uzorke leda te kako ih čuvati i dopremiti u Zagreb. Posebno pripremljene plastične kutije dao je Institut, a speleolozi su se sami pobrinuli za pribor kojim će kopati uzorke (limena tava, sjekirica, cepin, svrdlo). U lipnju i srpnju 1995. uzeto je više uzoraka leda na raznim dubinama,

kao i uzorci nekoliko grana koje su izvirivale iz leda. Uzimanje uzoraka obavili su Damir Lacković i Čedo Josipović iz SO PDS "Velebit" zajedno s Vladom Božićem.

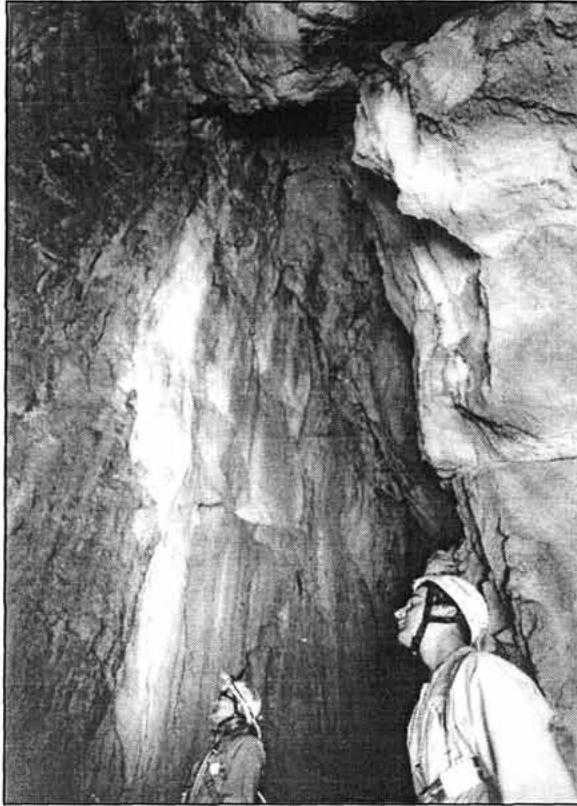
Uzimanje uzoraka bilo je osobito teško u gornjem dijelu jame, na dubini od 1 do 7 metara ispod gornjeg ruba čepa, jer je trebalo visjeti na užetu i kopati. Najprije je struganjem i kopanjem trebalo odstraniti 10-20 cm leda s okomite površine, a onda kopati dublje i taj iskopani led spremati u pripremljene plastične posude. Na većim dubinama to je bilo lakše jer se moglo stajati na ledenim policama.

Istodobno s uzimanjem uzoraka leda uzet je i uzorak sige s debeloga sigastog saljeva na zapadnom dijelu dvoranice koja se pruža prema sjeveru iz dvorane s ledom, na dubini od oko 50 m (Sl. 4). U toj dvoranici ima lijepih kalcitnih saljeva, a uvijek i lijepih ledenih ukrasa, osobito stalagmita, povremeno u malom jezeru u sredini dvoranice.

Metode mjerenja

Radioaktivni izotopi ^3H i ^{14}C kozmičkog su podrijetla i dolaze iz viših slojeva atmosfere, ^{14}C u obliku ugljičnog dioksida, a ^3H kao sastavni dio molekule vode putem oborina. Na taj način oba izotopa raspoređuju se u prirodi, odnosno sastavni su dio atmosfere, hidrosfere i biosfere. Prirodno nastajanje tih izotopa na zemlji uglavnom je konstantno, uz manje prirodne fluktuacije, te je poradi njihovog radioaktivnog raspada (beta radioaktivni raspad), uspostavljena ravnoteža, odnosno prirodna koncentracija ^3H i ^{14}C u atmosferi je konstantna. Ljudskom djelatnošću ta ravnoteža znatno je poremećena, posebno u razdoblju intenzivnih pokusa s termonuklearnim eksplozijama krajem pedesetih i početkom šezdesetih godina prošlog stoljeća. U tom razdoblju koncentracija tricija u atmosferi porasla je gotovo tisuću puta u odnosu na prirodnu razinu, dok je koncentracija radiougljika udvostručena. Od tog vremena koncentracija oba izotopa u atmosferi postupno pada i danas se nalazi vrlo blizu razine prirodne koncentracije.

Mjerenje tricija u oborinama, površinskim i podzemnim vodama, danas ima značajnu ulogu u hidrologiji, npr. za određivanje srednjeg vremena zadržavanja vode u podzemlju, brzine cirkulacije vode, utjecaja površinske vode na podzemne vode i dr. Radiougljik ^{14}C ima značajnu primjenu u arheologiji i paleontologiji za određivanje starosti nalaza, ali samo do 40.000 godina, zatim u hidrogeologiji pri određivanju starosti organskih sedimenata (treseta) i karbonatnih sedimenata (siga, sedre), te za određivanje vremena zadržavanja vode u podzemlju.



Sl. 4. Dvoranica na 60 m dubine u kojoj je sa stijene uzet uzorak sige za analizu starosti
(Foto: Josip Bistrović, 1995.)

Određivanje sadržaja stabilnih izotopa $^2\text{H}/^1\text{H}$ i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ u oborinama (u našem slučaju u ledu), te u površinskim i podzemnim vodama ima značajnu primjenu u klimatološkim i hidrogeološkim istraživanjima. Koncentracije navedenih izotopa, koji su sastavni dijelovi molekule vode, variraju u prirodnim uvjetima. Poradi temperaturnih promjena u prirodi dolazi do određene izotopne frakcinacije izotopa kisika i vodika u oborinama, pa tako sastav izotopa $^2\text{H}/^1\text{H}$ i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ u oborinama ovisi o geografskoj širini, godišnjim dobima, nadmorskoj visini, te o podrijetlu oborina tj. jesu li kontinentalnog ili morskog podrijetla. Na temelju sadržaja kisika $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ u starim ledenim naslagama određene su paleotemperaturne promjene, odnosno razdoblja ledenih i međuledenih doba u prošlosti.

Novija metoda $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, primijenjena za datiranje starosti sige, temelji se na mjerenju omjera koncentracije prirodnih radioaktivnih izotopa torija (^{230}Th) i

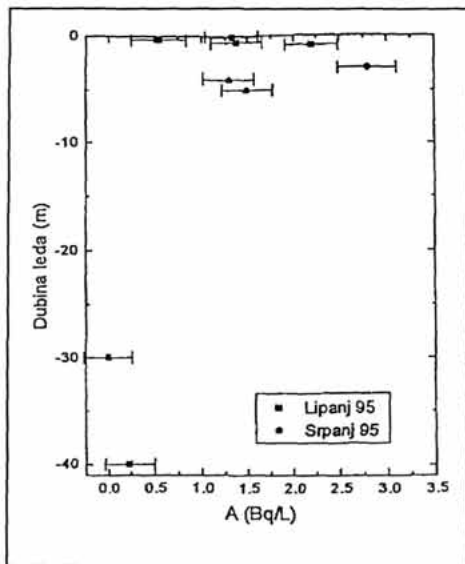
urana (^{234}U). Ti su izotopi sastavni dijelovi karbonatnih stijena. Poradi alfa radioaktivnog raspada ^{234}U nastaje izotop ^{230}Th , pa se na osnovi omjera aktivnosti ta dva izotopa može odrediti starost karbonatnog sedimenta, npr. sige, do 400.000 godina starosti.

Sve spomenute izotopne metode zahtijevaju vrlo složenu i osjetljivu mjernu opremu s obzirom na to da se radi o vrlo niskim koncentracijama pojedinih izotopa. Uzorci leda (vode), drva i sige određenim su kemijskim postupcima prevedeni na plin metan, a zatim se mjerenjem beta-aktivnost tih plinova u plinskim proporcionalnim brojačima određuje koncentracija ^3H , odnosno ^{14}C . Kod $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ metode datiranja iz uzorka sige kemijskim su postupkom separirani izotopi urana i torija, a mjerenjem njihove alfa-aktivnosti u alfa-komori s poluvodičkim detektorom određena je koncentracija tih izotopa. Obradom na elektronskom računaru dobivenih podataka određena je starost ^{14}C , odnosno $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ starost. Sadržaj stabilnih izotopa $^2\text{H}/^1\text{H}$ i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ u ledu određen je na masenom spektrometru.

Rezultati mjerenja starosti leda

Složene analize donesenog materijala, obavljene u Zagrebu i Ljubljani dale su speleolozima iznenađujuće, neočekivane rezultate.

Rezultati analize tricija u spomenutim uzorcima leda prikazani su na Dijagramu 1. Aktivnost površinskog uzorka leda od 1,3 Bq/L odgovara aktivnosti današnjih oborina na području Zagreba. Najveća aktivnost tricija zabilježena je na trećem metru od površine leda, 2,8 Bq/L, što kazuje da led na toj dubini potječe iz razdoblja 1960. do 1965., kada je aktivnost tricija u atmosferi, zbog termonuklearnih pokusa, bila znatno viša nego danas. Na žalost, uzorci između prvog i trećeg metra dubine nisu mjereni, pa je moguće da se najveća aktivnost tricija nalazi i u tom intervalu. Na osnovi izmjerenih aktivnosti tricija u uzorcima



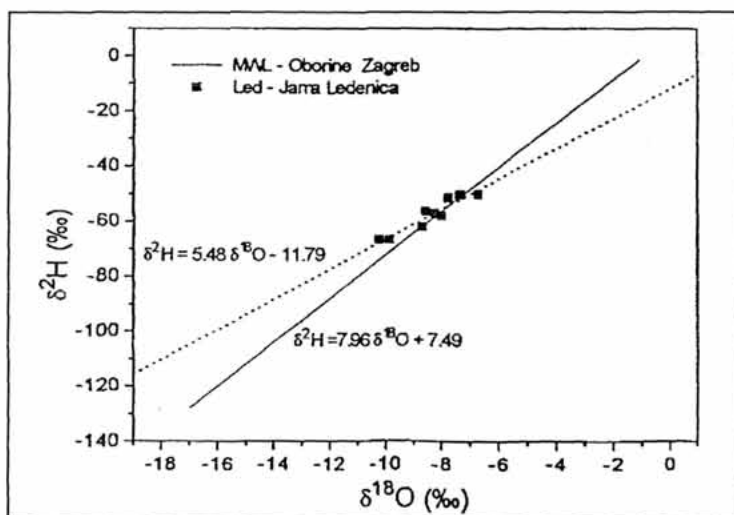
Dijagram 1: Raspodjela aktivnosti tricija u uzorcima leda prema dubini uzorkovanja od površine ledene naslage

leda i uz pretpostavku da je taloženje leda bilo jednolično tijekom svih godina nastajanja, vremensko razdoblje stvaranja naslage leda debljine 45 m u Ledenoj jami kreće se između 450 godina (računato s najvećom aktivnosti tricija na trećem metru dubine) i 670 godina (računato s najvećom aktivnosti tricija na drugom metru dubine).

Rezultati mjerenja stabilnih izotopa u uzorcima leda prikazani su na Dijagramu 2. Koncentracije izotopa $^2\text{H}/^1\text{H}$ i $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ određene su u odnosu na koncentraciju tih izotopa u standardnom uzorku, tzv. SMOW standardu, a izražavaju se u $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vrijednostima u promilima. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ kreću se između -6,74 i -10,25‰, a $\delta^2\text{H}$ između -50,3 i -67,9‰.

Izmjerene vrijednosti uspoređene su s linijom oborinske vode za Zagreb (Dijagram 2), puna linija, tzv. *Meteoric Water Line* (MWL), određene na bazi mjerenja mjesečnih oborina za razdoblje 1980. – 1995. ($r = 0,99$). Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ leda upućuju uglavnom na utjecaj kontinentalne klime, a određeni manjak deuterija u odnosu na MWL (negativni odsječak u jednadžbi pravca, crtkana linija) posljedica je visinskog efekta (1600 m. n. m.), odnosno upućuje na veću prisutnost oborina iz hladnijeg razdoblja (zime).

Ova analiza leda bilo je prvo iznenađenje, ili bolje rečeno razočaranje, jer je pokazala da led nije iz ledenog doba, što se željno očekivalo, već iz mnogo mlađeg razdoblja.



Dijagram 2: Usporedba izmjerenih vrijednosti stabilnih izotopa u uzorcima leda s linijom oborinske vode (MWL)

Relativno mala starost leda može se protumačiti i mogućim kontaminiranjem uzoraka leda vodom s površine, pa bi se možda idući put tome trebalo posvetiti više pozornosti, što znači uzorke uzimati iz veće dubine leda i mnogo pomnije njima rukovati. Ako su uzorci leda uzeti dobro, onda je stvaranje leda iz napadanog snijega počelo tek pred 450 – 670 godina, uzrokovano većim padalinama i većim zahlađenjem, što bi trebalo provjeriti drugim metodama.

Kolebanja klime na Velebitu ima i sada, što je vidljivo iz stanja leda u samo ovih tridesetak godina koliko su to primijetili speleolozi u Ledenoj jami. Od 1962. površina Ulazne dvorane na dubini od 50 do 60 m znatno se izmijenila. Prije tridesetak godina nije bilo prolaza u dublje dijelove jame, a sada postoji, i u ovih zadnjih 6 godina on se znatno proširio. Kako se otvor povećava sve više i više, smanjuje se i količina leda, što je možda posljedica globalnog zagrijavanja.

Ovako dubok (40 m) i slojevit komad leda, promjera dvadesetak metara, jedinstven je u Hrvatskoj, i bila bi prava šteta da ga znanstvenici ne iskoriste za daljnja proučavanja.

Rezultati mjerenja starosti drva u ledu

^{14}C datiranje dva uzorka drva, odnosno grane, nađene u sloju leda na dubini od 15 m (uzorak 1) i 40 m (uzorak 2) od površine ledene naslage, dalo je slične rezultate starosti, iako se očekivala razlika. Uz pretpostavku jednolične brzine taloženja leda starost ledene naslage, izračunata na osnovi ^{14}C starosti uzorka 1, iznosila bi oko 450 godina. Taj se rezultat dobro slaže s procjenom starosti leda baziranom na mjerenju tricija u ledu. Uzorak 2 pokazuje znatno manju starost od očekivane. Moguće objašnjenje za tako "mlad" uzorak jest da grana ne potječe iz razdoblja taloženja leda, već da je tu dospjela naknadno, kroz pukotinu nastalu između stijene i leda.

Rezultat mjerenja starosti sige

^{14}C datiranjem uzorka sige izvađene sa stijene na dubini od 60 m izmjerena je starost od 31.300 ± 3.600 godina. Dobivena ^{14}C starost je na granici ^{14}C metode datiranja, što znači da siga može biti mnogo starija. Stoga je isti uzorak datiran i $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ metodom. Izmjerena je starost od 301.000 ± 55.000 godina.

Ovo je veliko, ali ugodno iznenađenje. Treba podsjetiti da sustavna mjerenja starosti siga u Hrvatskoj još nisu provedena, i da do sada nisu bile primjenjivane sve nove metode određivanja starosti siga. Dosadašnja mjerenja starosti siga pokazala su da u Hrvatskoj nema siga starijih od stotinjak tisuća godina, oko tri puta manje od ove u Ledenoj jami. Ovaj podatak pokazuje

potrebu ponovnih mjerenja starosti siga u špiljama gdje su već mjerena, ali novim metodama, također i potrebu boljeg proučavanja siga u Ledenoj jami da se ustanovi ne radi li se možda o nekom fenomenu.

Tablica 1. Rezultati mjerenja starosti uzoraka grana i sige iz Ledene jame

Opis uzorka	Lab. broj	^{14}C starost (godina)	$^{230}\text{Th} / ^{234}\text{U}$ starost (godina)
Grana, -15 m od površine leda	Z-2562 (uzorak 1)	150 ± 100	
Grana, -40 m od površine leda	Z-2583 (uzorak 2)	140 ± 90	
Siga iz jame	Z-2584	31 300 ± 3 600	301 000 ± 55 000

Sve ove analize upozoravaju na nedovoljno poznavanje prirodnih procesa s kojima se speleolozi stalno susreću, a koje bi bilo vrijedno proučavati detaljnije. Volje i znanja ima, potrebno je osmisliti znanstvene programe proučavanja tih procesa i onda tražiti odgovarajuće institucije koje bi programe financirale i provodile. Speleolozi će u tome rado pomoći.

Literatura

- A. ATANASIĆ, Ozlijeđen istraživač, *Novi list* od 3. 7. 1997., Rijeka 1997.
- K. BAČURIN, Nesreća u jami Ledenici, *Karlovački tjednik* od 2. 7. 1997., Karlovac, 1997.
- K. BAČURIN, Akcija završila brže od očekivanog, *Karlovački tjednik* od 10. 7. 1997., Karlovac, 1997.
- Neven BOČIĆ, Nesreća u Ledenoj jami na Velebitu, *Speleo'zin*, 7, Karlovac, 1997, 39
- A. BOGNAR, S. FAIVRE, J. PAVELIĆ, Glacijacija sjevernog Velebita, *Senjski zbornik*, br. 18, Senj, 1991, 181-196.
- Vlado BOŽIĆ, Ledenica u Lomskoj dulibi, *Hrvatski planinar*, 3-4, Zagreb, 1994, 81-82.
- Vlado BOŽIĆ, Nezgode pri istraživanju Lukine jame na Velebitu 1994. godine (Padanje leda i puknuće noge u Ledenoj jami), *Hrvatski planinar*, 2, Zagreb, 1995, 47-48.
- Vlado BOŽIĆ, Još o prošlogodišnjoj nesreći u Ledenoj jami na Velebitu, *Hrvatski planinar*, 7-8, Zagreb, 1998, 222-225.
- G. BUJAN, Dvanaest sati visio sam na konopu u Ledenoj jami, *Dnevnik – list Riječke županije* od 1. 7. 1997, Rijeka, 1997.
- Nada HORVATINČIĆ, Izotopna mjerenja u ledu, jama Ledenica, *Velebit, Zbornik radova Trećeg simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja*, Zagreb, 1996, 297-301.

- Nada HORVATINČIĆ, Radiocarbon and tritium measurements in water samples and applications of isotopic analyses in hidrology, *Fizika*, 12, Zagreb, 1980, 201-218.
- Nada HORVATINČIĆ i Vlado BOŽIĆ, Ledena jama na Velebitu izazov znanstvenicima, *Speleolog*, 46/47, Zagreb, 1998-1999, 47-52.
- Nada HORVATINČIĆ, R. ČALIĆ, M. A. GEYH, Interglacial Growth of Tufa in Croatia, *Quaternary research*, 53, Zagreb, 2000, 185-195.
- I. J. Slovaci u Ledenoj jami, *Speleo'zin*, 3, Karlovac, 1994, 26-27.
- Branko JALŽIĆ, Pojava plavog leda u Ledenoj jami u Lomskoj dulibi na sjevernom Velebitu, *Speleolog*, Zagreb, 1978-1979, 52.
- Branko JALŽIĆ, Damir LACKOVIĆ, Branislav ŠMIDA, Lomska duliba '93, *Speleolog*, 40-41, Zagreb, 1994-1995, 5-16.
- Igor JELINIĆ, Karlovačka speleologija od 1982. do danas, *Speleo'zin*, 5, Karlovac, 1996, 22-24.
- Igor JELINIĆ, Detaljnije o nesreći u Ledenoj jami, *Speleo'zin* 8/9, Karlovac, 1998, 51-52.
- Igor JELINIĆ, Ledena jama u Lomskoj Dulibi, *Speleolog*, 46/47, Zagreb, 1998-1999, 17-22.
- KRAJCAR, I. BRONIĆ, N. HORVATINČIĆ, B. OBELIĆ, Two decades of environmental isotope records in Croatia, reconstruction of the past and prediction of the future levels, *Radiocarbon*, 40, Zagreb, 1998, 399-416.
- P. RADIĆ, Visio 11 sati nad ponorom, *Večernji list* od 2. 7. 1997., Zagreb, 1997.
- SDH, Jama u Velikom Lomu, *Speleološki objekti na karti 1*, 50 000, Senj 1, Zagreb
- Duško SRDOČ, Alica SLIEPČEVIĆ, B. BREYER, Datiranje arheoloških nalaza biološkog porijekla metodom ^{14}C , *Rad JAZU*, 349, Zagreb, 1971, 109-157.
- D. STOŠIĆ, Boris BUKOVČAK stradao od "kamene kiše", *Karlovački tjednik* od 3. 7. 1997., Karlovac, 1997.
- Branislav ŠMIDA, Ledenica u Lomskoj dulibi, *Speleolog*, Zagreb, 1992-1993, 9-12.
- Branislav ŠMIDA, Ledenica S. U. K. Velebit, *Slovačka Trnava*, 1999, 73-76.

DIE LEDENA JAMA (EISGRUBE) IN DER LOMSKA DULIBA

Zusammenfassung

Im Laufe späleologischer Untersuchungen in der Ledena Jama in der Lomska Duliba am nördlichen Velebit-Gebirge vom 1962 bis zum 1998 wurde die Tiefe der Grube ausgemessen, und man stellte fest, dass sie 536 m beträgt. Obwohl die Grube morphologisch sehr einfach aussieht, war es sehr schwer die Untersuchungen durchzuführen, da an dem Eintrittsteil der Grube viel Schnee und Eis gefunden wurde, die sich zur Zeit der Untersuchungen schmelzten und ablösten und waren für die Erforscher eine dauernde Gefahr.

Da die Dicke des Eispropfens ungefähr 40 m beträgt und durch die Lomska Duliba einst ein Eisblock lief, kamen die Erforscher auf den Gedanken, dass dieses Eis vielleicht aus der Glazialzeit stammen würde. Darum wurden Muster des Eises, der Äste im Eis und der Tropfsteine genommen um ihr Alter zu bestimmen. Die Resultate der Abmessungen zeigten, dass das Eis in der Grube nur 450 Jahre alt sei und dass der Tropfstein weithin 300.000 Jahre alt sei. Diese überraschenden Resultate weisen auf die Notwendigkeit hin neue Abmessungen in dieser Grube durchzuführen, aber – um des Vergleichens willen – auch in anderen Gruben und Höhlen Kroatiens.

LEDENA JAMA (THE ICE PIT) IN LOMSKA DULIBA

S u m m a r y

Lomska duliba is a glacier valley with WNW-ESE strike and is located between Veliki Rajinac to the north and Hajdučki kukovi to the south of Mt. Velebit. The entrance to Ledena jama (the Ice Pit) is situated on the most eastern part of this one kilometre long valley at the level of 1235 m above the sea.

Ledena jama, just as most pits located on the northern part of Velebit, has a rather simple morphology. Nevertheless, its simplicity is in inverse proportion with the speed and simplicity of exploration, which makes it very different in comparison with other deep pits in this part of Velebit. If we consider today, it takes three hours for a coordinated team of three speleologists to reach the pit bottom, the complexity and duration of its investigation in the past is surprising. The complexity of the performed investigation makes the story of Ledena jama in Lomska duliba much more interesting.

The initial investigations were performed by the members of the Croatian speleological society in 1962. Further investigations were continued in 1977, when a team of speleologists from SO "Željezničar" mapped the pit to the depth of -50 m. The floor of the pit was covered by a thick ice. Since the Croatian speleologists considered they had definitely reached pit's bottom, no further investigations were performed.

During the summer of 1992, a team of Slovakian speleologists visited the pit, found a hole in the ice and descended through it to the depth of -90 m. Since the pit extended further, the following years the investigations continued with the participation of both Slovak and Croatian speleologists. During 1993 and 1994 investigations were performed in combination with the investigators of Lukina jama (-1392 m). In the period between 1995 and 1997 further investigations were undertaken by the members of SO "Dubovac" from Karlovac. They completed the topographic map of the pit by widening the passage at 473 m and by reaching the bottom of the pit at the depth of -536 m.

On the 29th June 1997 during a sport tour of the pit occurred one of the most serious accidents in the Croatian speleology. At the depth of 160 m a landslide of rock and ice caused severe injuries (multiple fracture of various limbs and bones and also muscle ruptures) to B. Bukovčak, who was hanging on the rope. The rescue of the injured speleologists was performed by members of his team and by the Mountain Rescue Service from Karlovac. After a long-lasting recovery, B. Bukovčak is an active speleologist again.

In the summer of 1993 it was determined that there was a passage between the ice and the north wall of the pit wide enough for a person to pass. This led to a discovery of an ice plug twenty meters in diameter, well bedded and 40 m thick. Several branches were found to be peeking out of the ice. There was a possibility that the ice originated from the Ice Age, since the Lomska duliba was formed by a glacier. So, speleologists in agreement with the scientists from the Institute Ruder Bošković in Zagreb collected some samples of ice, branches and speleothems for dating.

The results of analysis were surpassing. Dating with radioactive isotopes tritium (^3H), carbon (^{14}C) and thorium and uranium ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) gave an approximate age of ice of 500 years. Said age indicated that the samplings of ice were badly performed (contaminated by more recent waters) or that larger temperature variations existed on Velebit, which should be confirmed by other methods. The branches were younger, which means that they fell into the crack and froze. The most surprising was the age of the speleothem from the depth of 60 m, which was estimated at 300.000 years. This is the oldest registered age of Speleothems measured in Croatia so far although by method not used before on speleothems from other caves and pits. In order to determine the age of this largest piece of old ice in Croatia and speleothems from this pit and other caves and pits, further investigations with modern methods would be required in the future.