

C'est la zone du karst orogénétique accumulé (Herak, M., 1984.), caractérisée par des relations hydrogéologiques très complexes, avec les structures typiques de chevauchement et de plissement, et pourtant d'une épaisseur des roches carbonatées très importantes où on espère trouver des cavités de quelques cents mètres de profondeur. Pendant le mois de Juillet, 1983 trois cavités importantes ont été explorées près de la localité Kalanjeva ruja en collaboration avec SO PD »Sutjeska«, SD »Istra« et un invité du Spéléo Club Strasbourg. Le long de la région partiellement explorée, une ceinture des roches imperméables s'étend parallèlement avec les structures générales de la montagne (nordouest-sudest) et elle représentée par les roches clastiques et tuffi-

tiques du Carnien et Norien (Trias sup.). C'est la base d'écoulement de nombreux ruisseaux périodiques, dont les plus importants sont ceux du Pepelarice. Ils se perdent dans les nombreuses fissures et pertes impassables au contact avec les calcaires très karstifiés du Ladinien (Trias moy.), dans lesquels la plupart des gouffres observés sont développés. Gouffre Pepelarice, exploré jusqu'à —358 m est le plus profond de la région et il se termine sur un siphon à plonger. Les descriptions et observations morphologiques sont données dans le texte.

Les explos spéléos sont à être développés par les analyses sédimentologiques (calcimétrie, lithologie), tectoniques et hydrogéologiques (coloration) pour compléter la relation de cette région peu explorée.

## Postanak jame Puhaljke na Velebitu

HRVOJE MALINAR

Prvo spuštanje u jamu Puhaljku izvedeno je 1958. godine kada je dosegnuta dubina od desetak metara. Nakon toga uslijedio je niz speleoloških istraživanja. Najveća dosadašnja dubina od 320 metara postignuta je 1980. godine (1). U 1981. izvršena su spuštanja do dna jame da se i geološki istraži. Iste godine detaljno je geološki kartiran teren oko jame u zoni koja je interesantna za tumačenje njezinog postanka. Izvedena je korelacija geoloških podataka utvrđenih u jami s podacima na površini (2). Radi utvrđivanja hidrogeoloških odnosa izvršeno je u njoj bojanje vodenog toka (3).

Otvor jame Puhaljke nalazi se na ličkoj strani Velebita uz samu stazu koja vodi od Stirova za Medak na 1020 metara nadmorske visine. Na terenu oko jame mogu se razlikovati dvije geografsko-geološko-morfološke cjeline: jugozapadna i sjeveroistočna. Jugozapadna cjelina, koja je položena na većoj nadmorskoj visini, zastupljena je karbonatnim stijenama s tipičnim krškim formama i bez površinskih vodotoka. U sjeveroistočnoj cjelini uglavnom su zastupljene vodonepropusne klastične stijene, pa tu postoje izvori i površinski tokovi. Umjesto ponikava i ostalih krških tvorbi ovdje susrećemo jarke koje su tokovi usjecali ili usječu u tlu. Otvor jame položen je šezdesetak metara više od međusobne granice tih dviju cjelina.

Kompleks relativno vodonepropusnih stijena čine u podini klastiti i dolomiti permokarbona i donjeg trijasa. Krovinski dio tog kompleksa čine žučkastozelenkasti dolomiti donjeg trijasa kampsilskog nivoa.

Vodopropusni karbonatni kompleks stijena počinje s dvadeset metara debelim naslagama uslojenog tamnog vapnenca srednjeg trijasa anizičke starosti. Na njima leže svijetli anizički vapnenci koji postupno prelaze u ladinčke vapnence i vapnenacke breče. Vapnenci srednjeg trijasa mjestimično lateralno prelaze u bijele šećeraste dolomite.

Slojevi navedenih stijena generalno su nagnuti prema jugozapadu, tj. prema masivu Velebita pod kutom od 25 — 330. Promatrajući s aspekta tektonike, Velebit predstavlja jugozapadno krilo velike antiklinalne razlomljene tzv. ličkim rasjedom. Sjeveroistočno krilo utonulo je pa je tu nastalo Ličko polje. Na ličkoj strani Velebita postoji niz manjih, mladih rasjeda koji su okomiti na lički rasjed. Takav poprečni rasjed nalazi se na terenu Puhaljke. Proteže se od Badnja preko Grubišnog dolca i Studene drage, pa pokraj ulaza Puhaljke do Bukove glavice. Tu se gubi pod kvartarnim sedimentima potoka Marunovca. To je normalni rasjed škarastrag tipa. Nagnut je prema zapadu s registriranim promjenama nagiba od 45 — 680. Skok mu iznosi oko stotinu metara.

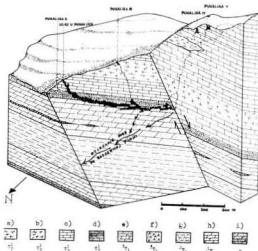
Ulaz Puhaljke nastao je u svijetlim uslojenim vapnencima anizika u podinskom krilu rasjeda. Gornji dio jame (do 115 m dubine) razvio se uzduž vertikalne dijaklave čiji se pravac pružanja poklapa s pravcem pružanja rasjeda. Taj dio jame je strm do vertikalan.

Srednji dio jame nastao je na sjecištu rasjedne plohe i kontaktne plohe između donjotrijaskog dolomita u podini i tamnog vapnenca srednjeg trijasa u krovini. Ovdje su kanali široki i visoki. Slijede nagibe slojeva odnosno kontaktne plohe.

Sl. 1. Blokdiagram jame Puhaljke:

Fig. 1. Block-diagram of the Puhaljka pit:

- Neuslojnoj vapnenci — srednji trijas, anizik  
Unbedded limestones — Middle Triassic, anisiat
- Šećerasti dolomiti — Srednji trijas, anizik  
Saccharoidal dolomites — Middle Triassic, anisiat
- Svijetli vapnenci — srednji trijas, anizik  
Light limestones — Middle Triassic, anisiat
- Tamni vapnenci — srednji trijas, anizik  
Dark limestones — Middle Triassic, anisiat
- Pjeskoviti dolomiti — donji trijas, kampilske  
naslage  
Sandy dolomites — Lower Triassic, campilian
- Kvarcni konglomerati — donji trijas, sajske naslage  
Quartz conglomerates — Lower Triassic, seisian
- Tinjčasti klastiti — donji trijas, sajske naslage  
Mica-clastic beddings — Lower Triassic, seisian
- Dolomiti — donji trijas, sajske naslage  
Dolomites — Lower Triassic, seisian
- Micijski dolomiti — Perm  
Mizzia dolomites — Permian



Najdonji dio jame razvio se većim dijelom u dolomitu donjeg trijasa uzduž paraklaze. Kanali su mjestimice vrlo uski. To je ustvari korozijom proširena rasjedna pukotina. Mjestimice su na sjecištima više pukotina nastali veći prostori. Tu se i opažaju velike površine uglučanih gorskih zrcala. Stijene su milionitizirane.

Od taložina u jami nalazimo nešto kalcitnih saljeva u ulaznom dijelu i samo mjestimice stalaktita u srednjem dijelu. Tu nalazimo i prevlake gorskog mliječka. U prostranim kanalima srednjeg dijela jame nalazimo na breče i konglomerate polimiktitiskog tipa. Agregat je različite veličine, zaobljenosti i sastava. Sastoji se od svijetlih i tamnih anizičkih vapnenaca, zelenkastih dolomita kampilskog kata donjeg trijasa i valutica boksita. Veziwo je glinovito-kalcitno. Na nekim mjestima boksit se pojavljuje u lećama do jednog metra debljine. Ovaj boksit sekundarno je naplavljen s površine. Naslage breča i konglomerata debele su do tri metra. U njima su uklopljeni i veliki blokovi otpali sa stropa. Sada su te naslage erodirane. Vodeni tok koji i sada u tom dijelu jame postoji izdubio je u tim naslagama usjeke i tunele, pa ponegdje imamo »kanal u kanalu«.

Ove taložine nastale su u razdoblju donjeg kvartara djelovanjem jakog vodenog toka koji je nekada protjecao kroz Puhaljku. Takav jaki protok mogao je nastajati krajem ledenih doba i početkom toplih međudoba prilikom otapanja velikih količina snijega i leda na Veletitu. Puhaljka je tada funkcionirala kao ponor.

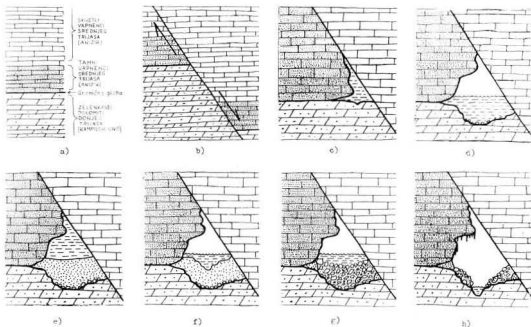
Znajući da je Puhaljka prije miniranja imala vrlo uzak otvor na površini, može se zaključiti da tada nisu mogle proticati veće količine vode. Pomno je pretražen cijeli prostor u okolici današnjeg ulaza Puhaljke i

pronađena je jama u klanecu tridesetak metara istočno od ulaza. Dubina joj iznosi petnaest metara. Dno je zarušeno, ali se osjeća cirkulacija zraka kao i u Puhaljci. Prema orijentaciji pukotina vjerojatno je ta jama bila spojena s dimnjakom u lijevom bočnom kanalu u Puhaljci na dubini od 107 metara gdje se i javlja vodeni tok. Ona je imala funkciju glavnog ponora toka koji je protjecao klanecom iznad Puhaljke.

U toku geološkog kartiranja terena oko jame pronađene su još tri jame u kojima se osjeća cirkulacija zraka i to smjera koji je podudaran sa smjerom strujanja u Puhaljci. Dvije jame nalaze se u zoni iznad dna Puhaljke, ali na 200 metara većoj nadmorskoj visini od ulaza Puhaljke, odnosno nešto više od 500 metara iznad njenog dna. Za te se jame s dosta velikom vjerojatnošću može pretpostaviti da su to vertikalni dimnjaci koji vode iz najnižih predjela Puhaljke na površinu i uzrokuju strujanje zraka. Treća jama otkrivena je u klanecu na samom rasjedu na 50 metara većoj nadmorskoj visini od ulaza Puhaljke. Dubina joj je 20 metara. Dalje se nastavlja kao uska neprolazna pukotina. I tu se osjeća vrlo jako strujanje zraka. Budući se ta jama nalazi na istoj rasjednoj plohi na kojoj je formiran srednji dio Puhaljke, vjerojatno je povezana s Puhaljkom.

Prve dvije jame nisu imale funkciju odvodnje većih količina vode i nastale su korozivnim djelovanjem, dok je treća jama mogla odvoditi dio voda koje su se slijevale klanecom prema nekadašnjem glavnom ulazu u Puhaljku.

Strujanje zraka u ovom špiljsko-jamskom sistemu nastaje zbog postojanja dvaju ili više otvora na različitim visinama (4). Ono će biti putokaz u osvjetljanju novih podzemnih prostora u budućim istraživanjima ovog sistema.



Sl. 2. Prikaz razvoja spiljskog kanala u jami Puhaljci;  
Fig. 2. Review of development of cave channel at the Puhaljka pit:

- a) Neporemećene naslage relativno vodonepropusnog dolomita donjeg trijasa i vodopropusne naslage vapnenca srednjeg trijasa.  
Undisturbed beddings of relatively impermeable Lower Triassic dolomites and permeable Middle Triassic limestones.
- b) Rasjedanje je počelo u g. eocenu, a nastavilo se kroz neogen i kvartar.  
Beddings were disturbed by faulting. It began at Upper Eocene, and has continued across Neogene and Quaternary.
- c) Stvaranje šupljina korozivnim djelovanjem vode predisponirale su: rasjedna tektonika i granica između vodopropusnih i vodonepropusnih stijena.  
At the crossing of fault plane and contact plane water made underground holes by corrosion activity. In the beginning these holes were saturated with water.
- d) Povećanjem podzemnih šupljina nastaje i veći protok vode, pa se koroziji pridružuje i djelovanje erozije (d. pleistocen).  
As the underground holes became greater, flow rate was enlarged. Then one had erosion activity as well as corrosion (Lower Pleistocene).
- e) U toplim međudobima pleistocena dolazi do plavljenja svih kanala. Brzina vodenog toka se sma-

njuje, pa dolazi do pretaloživanja boksita s površine.

Large amounts of water sank into Puhaljka pit in interglacial periods of Lower Pleistocene, and it overflowed all channels. The speed of water stream was smaller, and then bauxite sedimented on the bottom of channels. This bauxite, which came from surface, has Middle Triassic origin.

- f) Nakon perioda mirovanja u zadnjoj oledbi (Würm) ponor Puhaljke je u postglacijalu opet aktivan. Dolazi do erozije dijela boksita.  
After a motionless period in last glaciation (Würm), the sinkhole of Puhaljka pit was active again in Postglacial. The bauxite deposits were partially eroded.
- g) Pošto je veći dio boksita erodiran, dolazi do taloženja breča i konglomerata nastalih od kršja otpalog sa stropa i bokova spiljskog kanala.  
After a greater part of bauxite was eroded, then sedimented breccias and conglomerates by pieces of rocks of cave ceiling and walls.
- h) Danas su breče i konglomerati djelomično erodirani, a na stropu nastaju sigaste tvorevine.  
Up-to-date sight of channel in the Puhaljka pit: breccias and conglomerates are partially eroded, and some calcite deposits are becoming at the ceiling.

Današnji vodotok je neznatnog kapaciteta prema dobu kada je Puhaljka bila ponor. Taj potocić, koji nastaje od vode prokapsnice, pojavljuje se na 107. metru dubine. Uz mješovita poniranja i ponovna izviranja može se pratiti do dna jame. Najniža točka jame

je neprolazna pukotina kroz koju struji zrak i čuje se šum vode.

Prilikom proučavanja terena i literature o tom terenu (5) pretpostavilo se da voda u Puhaljci nastavlja tok iza 320. metra po istom rasjedu, ali ne dalje u masiv Velebita nego

se vraća prema Ličkom polju. Organizirano je bojanje vodenog toka s time da su se opažanja vršila na izvorima uz potok Marunovac, lijevu pritoku Like. Upotrebljeno je 6 kg Na-fluoresceina. Opažanja su vršena devet dana. Tragovi boje pojavili su se drugog dana na Kievliskom vrelu, lijevoj pritoci Marunovca, ali u količini i vremenu koje se ne mora prihvatiti kao dokaz zbog bojazni od kontaminacije. Tako je još uvijek ostalo otvoreno pitanje otečavanja vode iz Puhaljke. Treba znati da nagib najkraće spojnice od dna jame prema Ličkom polju iznosi 5‰, a prema Jadranskom moru 6‰.

Iz izloženog se može vidjeti da je postanak jame Puhaljke uvjetovan litološkim osobinama stijena, tektonikom, morfologijom terena i hipsometrijskim odnosima prema Ličkom polju i Jadranskom moru i egzodinamičnim djelovanjem.

Svi ovi faktori međusobnim su utjecajima kroz protekla vremena stvorili ovakav speleološki objekt. Ova jama, koja ustvari ima kombinirani jamsko-špiljski karakter, nastala je erozijsko-korozivskim procesima svojim većim dijelom u vapnenačkim naslagama srednjeg trijasa (anizik), a u kontaktu sa slabije vodopropusnim donjotrijaskim dolomitom kampilskog nivoa. Dio jamskih kanala voda je izdubila i u dolomitu. Taj proces nastavit će se i u budućnosti.

Gledajući šire na vodonepropusnost stijena, odlučujuću ulogu za razvoj ovog speleološkog objekta imala je opća vodonepropusnost podine koju tvori kompleks gornjopaleozojskih klastita u zajednici sa donjotrijaskim klastitima i dolomitima. Predispoziciju za nastajanje ovakve jame stvorio je normalni poprečni rasjed škarastog tipa nagnut na sjeverozapad za oko 50°. Tako se najveći dio objekta razvio na presječnici koju tvore granična ploha između donjeg i srednjeg trijasa sa paraklazom.

Okršavanje karbonatnih naslaga ovog područja razvijalo se najmanje u tri faze (6):

1. krajem krede i početkom paleogena,
2. od gornjeg eocena do kraja oligocena i
3. nakon neogena kroz cijeli kvartar.

Najveća proširenja podzemnih prostora nastala su u pleistocenu na počecima toplih međudoba kada je dolazilo do otapanja velikih količina snijega i leda i poniranja otopljene vode u jamu.

Ako pretpostavimo da cijela voda iz Puhaljke otiče u Ličko polje, onda ona prolazi kroz naslage vodonepropusnih stijena, a što je omogućeno rasjednom tektonikom. Bez tog raseda jama ne bi mogla doseći veću dubinu od nivoa u kojem se pojavljuje vodonepropusna podloga na površini.

Vode koje su u prošlosti svojim erozijskim i korozivskim učinkom stvorile podzemni prostor, imale su hranidbeno područje na padinama doline koja se spušta od Badnja (kota 1638) prema Bukovoj glavici (kota 765). Nije isključena mogućnost da je na mjestu gdje se

nalazio ponor bila nekada mala krška depresija (dolac, uvala), koja je kasnijom erozijom sjeverne strane pretvorena u klanec. Sistem vertikalnih dijaklaza koje su poprečne na rasjed potkrepljuju tu mogućnost.

Smanjenjem dotoka vode u holocenu Puhaljka gubi funkciju ponora. U njoj se samo drenira voda prokapanica koja dolazi s površine sistemom pukotina. Jame iznad Puhaljke, za koje se pretpostavlja da su povezane s njom, nastale su na dijaklazama s približnim pružanjem pravca sjever — jug. Na istom rasjedu po kojem se razvila Puhaljka nastala je dolina koja se spušta od Badnja prema Bukovoj glavici. Prije okršavanja dolinom su tekli stalni vodotoci, koji su dubili korito. U kasnijoj fazi okršavanja ovdje su površinske vode mogle teći samo za otapanje snijega i leda. Postoji vjerojatnost da se tom dolinom preteao ledenjak krškog tipa (7) čiji se morenski materijal istaložio u Ličkom polju. Uvale Grubišić dolac (1200 m) i Studena draga (1130 m) nastale su u daljnjoj fazi okršavanja kada potpuno nestaju površinske vode, pa se tu razvio krš u potpunom smislu riječi.

#### LITERATURA

1. Malinar, H. (1980): Kronika istraživanja Puhaljke na Velebitu. Naše planine 3—4, 77.
2. Kao osnova za geološko kartiranje poslužila je disertacija B. Sokača (1973): Geologija Velebita, Zagreb.
3. Nabavu boje za trasiranje vodenog toka omogućili su geolozi Z. Babić, S. Božičević i V. Goatti iz Geološkog zavoda u Zagrebu na čemu im ovom prilikom zahvaljujem.
4. Malinar, H. (1964/65): Puhaljka na Južnom Velebitu. Speleolog, 12/12, 17—30, Zagreb.
5. Bahun, S. i Fritz, F. (1972): Hidrogeologija Ličkog polja. Krš Jugoslavije 8/3 (Jugosl. akad. znan. i umjet.), 43—45, Zagreb.
6. Bahun, S. (1973): Odnos krškog procesa i fluvijalne erozije u području Like. Krš Jugoslavije 8/5 (Jugosl. akad. znan. i umjet.), 5, Zagreb.
7. Nikler, L. (1972): Nov prilog poznavanju oledbe Velebita. Geol. vjesnik, 25, Zagreb.

Author's Abstract

#### THE GENESIS OF PUHALJKA PIT

by Hrvoje Malinar

The Puhaljka pit (means: blow hole) is situated at the Velebit mountain in Croatia. Its form is the combination of pit and cave characteristic. Some geological and meteorological researches were made in the pit. The conclusion about the factors of its becoming after detailed geological surveying is: fault tectonics, lithological character of the rocks, morphology of landscape and hypsometric relation to Ličko polje.

The largest part of the pit become at crossing line of fault plain and contact plain between impermeable lower triassic dolomit and permeable middle triassic limestone. In pleistocene period the pit functioned as a sinkhole (ponor) and quarternary sediments were once sedimented and then again eroded. Air streams in the pit, as well as in other adjacent pits around it, indicates that some larger cave system may exist there.