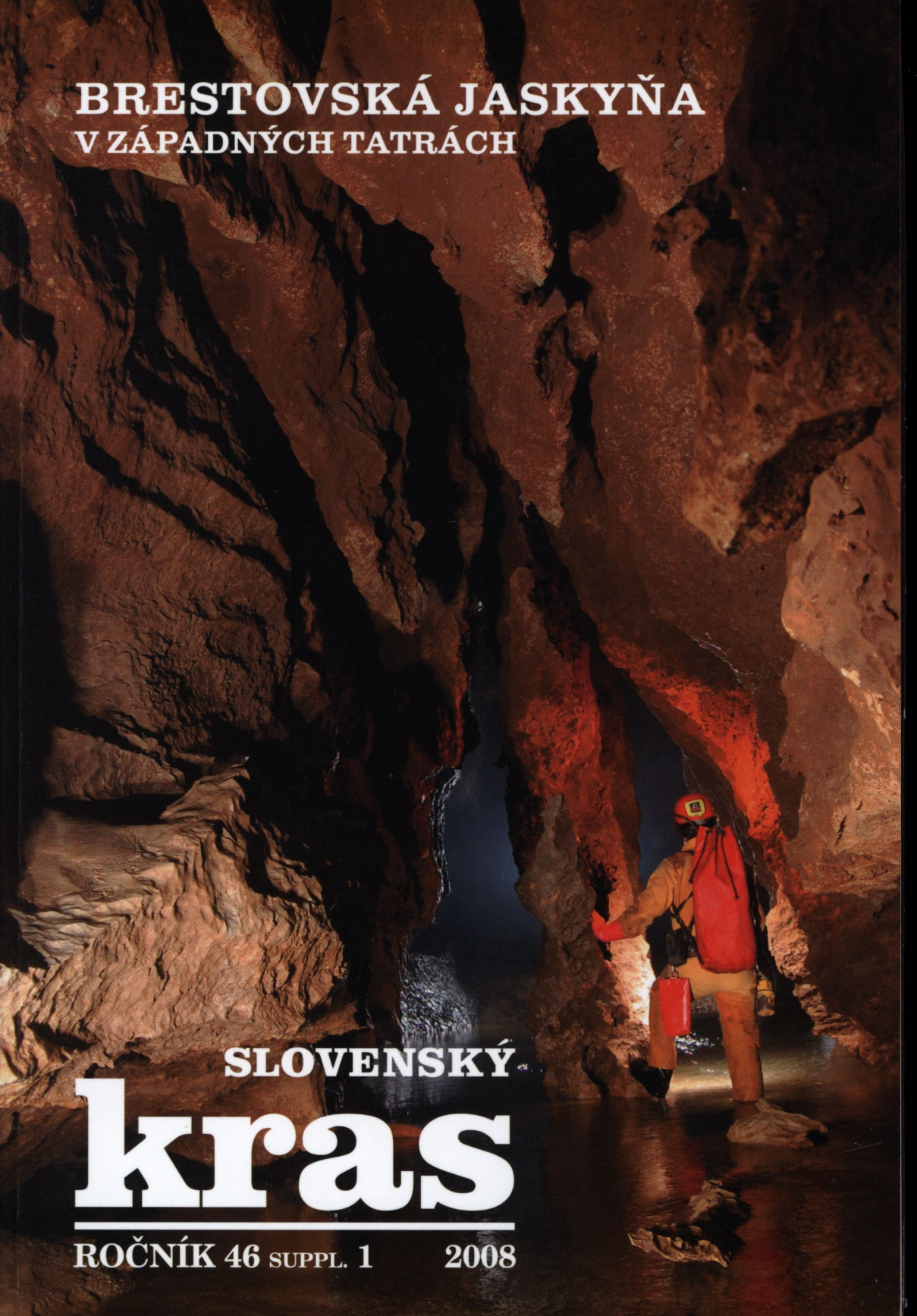
BRESTOVSKÁ JASKYŇA
V ZÁPADNÝCH TATRÁCH



SLOVENSKÝ

kras

ROČNÍK 46 SUPPL. 1 2008

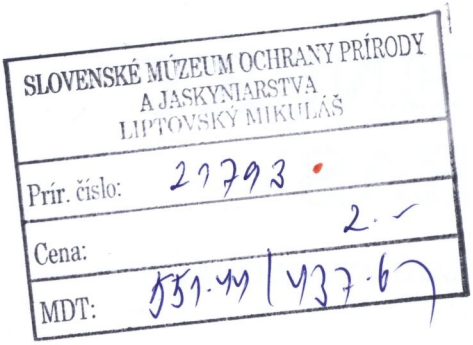
SLOVENSKÝ KRAS

ACTA CARSOLOGICA SLOVACA

Ročník 46
Supplementum 1

BRESTOVSKÁ JASKYŇA
V ZÁPADNÝCH TATRÁCH

2008
Liptovský Mikuláš


SLOVENSKÉ MÚZEUM OCHRANY PRÍRODY
A JASKYNIARSTVA
LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ
Prír. číslo: 21793
Cena: 2.-
MDT: 551.44 | 437.6

Editor / Editor

RNDr. Pavel Bella, PhD.

Výkonný redaktor / Executive Editor

Mgr. Lukáš Vlček

Redakčná rada / Editorial Board

Predseda / Chairman

doc. RNDr. Zdenko Hochmuth, CSc.

Členovia / Members

RNDr. Pavel Bella, PhD., RNDr. Václav Cílek, CSc., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD.,
prof. Dr. hab. Jerzy Głazek, doc. RNDr. Ján Gulička, CSc., Ing. Jozef Hlaváč,
Ing. Peter Holúbek, doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc., doc. RNDr. Vladimír Košel, CSc.,
doc. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc., acad. Dr. Andrej Kranjc, Ing. Marcel Lalkovič, CSc.,
RNDr. Ladislav Novotný, PhDr. Marián Soják, PhD., prof. Ing. Michal Zacharov, PhD.

Recenzenti / Reviewers

RNDr. Pavel Bella, PhD., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD.,
RNDr. Renáta Fľaková, PhD., doc. RNDr. Igor Hudec, CSc.,
doc. RNDr. Zdenko Hochmuth, CSc., doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc.,
doc. RNDr. Milan Sýkora, CSc., PhDr. Marián Soják, PhD.

© Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky
Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 2008

ISSN 0560-3137
ISBN 978-80-8064-328-7

OBSAH
CONTENT

Jozef Hlaváč
Predslov
Foreword 4

Lukáš Vlček, Jozef Psotka
Geológia Brestovskej jaskyne
Geology of Brestovská Cave 5

Pavel Bella
Geomorfologické pomery Brestovskej jaskyne
Geomorphological settings of Brestovská Cave 25

Zdenko Hochmuth
Morfológia a genéza freatickej časti Brestovskej jaskyne
Morphology and genesis of phreatic parts of Brestovská cave 55

Zdenko Hochmuth, Peter Patek
Zameranie 1. sifónu Brestovskej jaskyne
Surveying the 1st siphon of Brestovská Cave 61

Dagmar Haviarová
Základné hydrogeochemické pomery a režim vôd v Brestovskej jaskyni
Basic hydrogeochemical conditions and characteristics of water regime
in the Brestovská Cave 67

Dagmar Haviarová, Peter Pristaš
Najnovšie výsledky stopovacích skúšok z povodia Brestovskej jaskyne
The newest results of the tracing tests in the catchment area of Brestovská Cave 81

Ján Zelinka
Prvé výsledky mikroklimatického monitoringu v Brestovskej jaskyni
First results of microclimatic monitoring in the Brestovská Cave 87

Ľubomír Kováč, Andrej Mock, Zuzana Višňovská, Peter Ľuptáčik
Spoločenstvá fauny Brestovskej jaskyne (Západné Tatry)
Animal communities of Brestovská Cave (Západné Tatry Mts.) 97

Marcel Lalkovič
Z histórie Brestovskej jaskyne
From the history of Brestovská Cave 111

Pavel Bella, Peter Gažík, Dagmar Haviarová, Matúš Peško,
Zuzana Višňovská, Lukáš Vlček, Ján Zelinka
Ochrana a možnosti sprístupnenia Brestovskej jaskyne
Protection and development potential of Brestovská Cave 125

Prehľad zameriavania Brestovskej jaskyne
Overview of Brestovská Cave surveying 130

Fotografická príloha
Photographic supplement 131

Vložený plán Brestovskej jaskyne
Inserted plan of Brestovská Cave

Predslov

V slovenskom jaskyniarstve je Brestovská jaskyňa osobitný fenomén. Rozhodujúcim kritériom záujmu o jaskyňu je jej geografická poloha v Roháčskej doline v Západných Tatrách. Už v minulosti boli pokusy o otvorenie jaskyne pre verejnosť. Vchod do nej sa totiž nachádza len niekoľko sto metrov od skanzenu - Múzea oravskej dediny či amfiteátra Roháčskych folklórnych slávností a navyše v regióne Oravy nie je iná sprístupnená jaskyňa.

Správa slovenských jaskýň spolu so Slovenskou speleologickou spoločnosťou zintenzívnili prieskumné i výskumné činnosti v Brestovskej jaskyni začiatkom osemdesiatych rokov minulého storočia. Výsledkom boli objavy neznámych priestorov za povestným 125 m dlhým sifónom na aktívnom riečisku. Hoci výsledky boli pozoruhodné, zamýšľanému sprístupneniu jaskyne to nepomohlo a myšlienka upadla do zabudnutia. V hektickom období po roku 1989 sa zase riešili iné úlohy.

Až okolo roku 2000 sa začali rokovania s miestnou samosprávou obce Zuberec i vlastníkom pozemku Urbárnym spoločenstvom. Roku 2006 sa na stretnutí zainteresovaných strán dohodlo, že Správa slovenských jaskýň uskutoční zrýchlený komplexný výskum Brestovskej jaskyne. Už na vedeckej konferencii v októbri 2007 sa ukázalo, aké hodnoty jaskyňa predstavuje z hľadiska geológie, geomorfológie, hydrológie, klimatológie, biospeleológie a pod. Preto sme sa rozhodli vydať toto osobitné supplementum časopisu Slovenský kras s vedeckými a odbornými príspevkami, ktoré objektívne informujú o prírodných hodnotách jaskyne. Keď jaskyňu navštívili aj záujemcovia o jej sprístupnenie a hovorilo sa o formách technických zásahov v podzemí, väčšina z nich zaváhala a uprednostnili sa záujmy jej ochrany.

Píše sa rok 2008 a podmienky i legislatíva v ochrane prírody sa radikálne zmenili. Navyše sme krajinou, ktorá nosí v jaskyniarstve visačku Svetového prírodného dedičstva. Len dôsledná znalosť prírodných fenoménov nám umožní posúdiť možné ľudské zásahy v nich.

Ing. Jozef Hlaváč
riaditeľ Správy slovenských jaskýň

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	5 - 24	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

GEOLÓGIA BRESTOVSKEJ JASKYNE

LUKÁŠ VLČEK[1] - JOZEF PSOTKA[2]

[1] Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; vlcek@ssj.sk
[2] Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva Liptovský Mikuláš, pracovisko Košice, Ďumbierska 26, 040 01 Košice; jozef.psotka@gmail.com

Lukáš Vlček, Jozef Psotka: Geology of Brestovská Cave

Abstract: The stream of Roháčsky (or Studený) Stream, coming from crystalline core of Western Tatras and forming the Brestovská Cave, on the locality Brestová nearby Zuberec Village intersects various lithotectonic units. The cave is situated in the rock environment of Hronic Unit (Choč Nappe) and Podtatranská skupina Group. The rocks of sedimentary cover of Tatric Unit, Fatric Unit (Krížna Nappe), as well as the Tatric crystalline basement are known in its surroundings. The cave was created on the system of tectonic failures, mostly of E - W, NE - SW, NW - SE and NNW - SSE direction in the rock environment of Ramsau dolomites with straggling insertions of dark-grey Mesosoic limestones of Gutenstein type and/or Reifling limestones. Overlaying rocks represent carbonatic conglomerates of Palaeogene Borové Formation, which are uncovered in more sites, most representatively in the middle passages of the cave in the roof parts of corridors. The spatial litho-tectonic scheme of cave points out on the existence of large continuous parts of cave in the direction to Madajka massif, yet unknown. The cave uncovers a good range of sharp transgressive boundary between Triassic dolomites/limestones and carbonatic clastic rocks of Borové Formation, where the Palaeogene rocks are located on erosion-undercut surface. The outcrops of the lithological contact zone in the cave document the lithological and tectonical preconditions of karst and cave genesis.Extensive underground space, water stream occurrence and existence of representative examples from the opinion of karst and caves genesis (the position close to the border between karst and crystalline area, presence of non-karstic pebbles, dripstone and aragonite decoration etc.) makes this cave a very important educational locality.

Key words: cave geology, lithology, tectonics, Brestovská Cave, Western Tatras

GEOLÓGIA

Geologická charakteristika okolia jaskyne

Oblasť, v ktorej sa nachádza Brestovská jaskyňa, patrí do tatransko-fatranského pásma Centrálnych Západných Karpát, celku Tatry. Okolie jaskyne z geologickej stránky tvoria mezozoické sedimentárne horniny troch litotektonických megajednotiek, a to 1. tatrika, zloženého z paleozoického kryštalinického jadra a jeho mezozoického sedimentárneho obalu, 2. superpozične vyššieho mezozoického fatrika, tvoreného krížňanským príkrovom, 3. nadložnej mezozoickej jednotky hronika, tvoreného chočským príkrovom. Transgresívne na tieto geologické jednotky nasadajú sedimenty bazálnej paleogénnej litofácie podtatranskej skupiny.

Hranice mezozoických sekvencií v príkrovovej pozícii nad tatrikom majú na povrchu lineárny priebeh so smerom SV - JZ. V smere na SZ sú uťaté výraznou zlomovou štruktúrou, ktorá prebieha šikmo cez hrebeň masívu Madajky. Pozdĺž nej došlo k zaklesnutiu

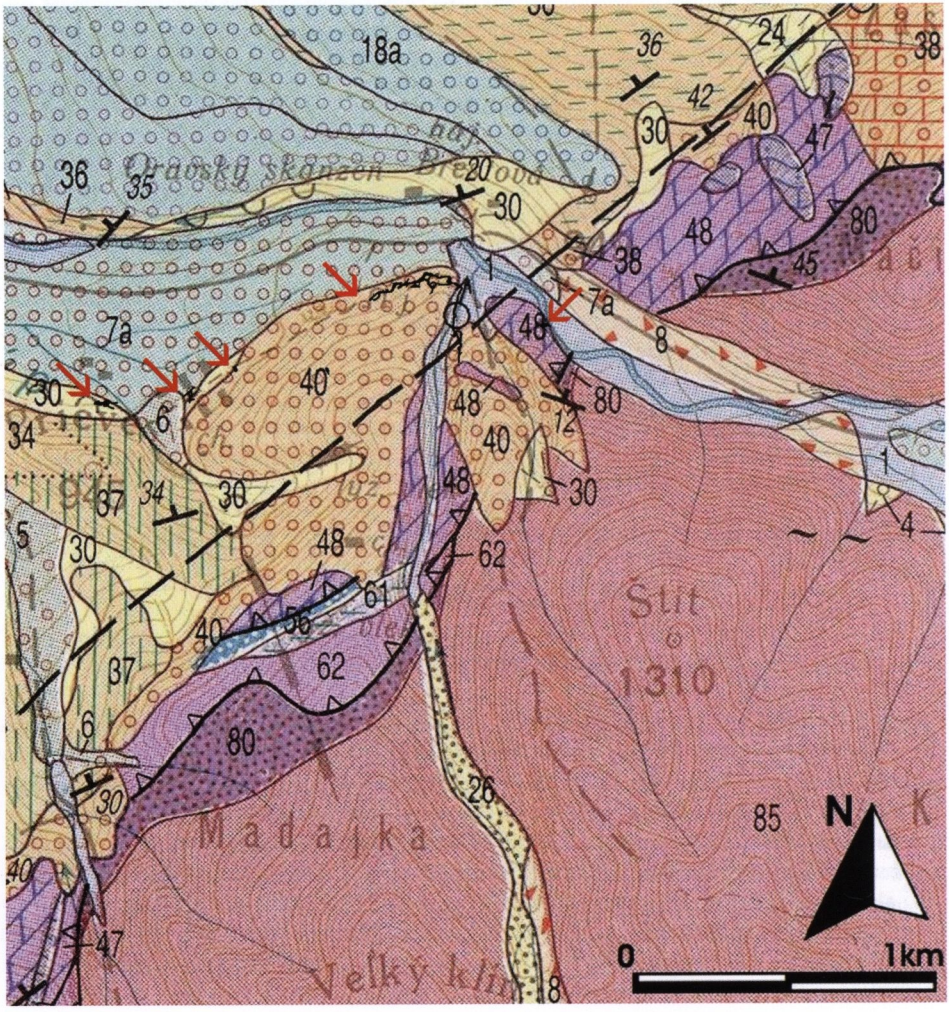
tatranského predpolia voči Tatrám počas terciérnych fáz alpínskej orogenézy. Kvartérny pokryv reprezentujú najmä glacifluviálne výplne würmskej terasy, nachádzajúce sa i v bezprostrednom okolí jaskyne.

Litostratigrafia

V nasledujúcom texte sa opisuje vrstevný sled v postupnosti od podložia k nadložiu.

Tatrikum

Tatrikum predstavuje v Tatrách najspodnejší štruktúrny element. Horniny tatrika v skúmanej oblasti reprezentujú biotitické granodiority až tonality s prechodmi do muskovitticko-biotitických granodioritov vysokotatranského typu (tzv. vysokotatranská jednotka; obr. 1, č. 85, predstavujúca kryštalinické jadro pohoria), ako aj autochtónna sedimentárna obalová tomanovská jednotka. V tomanovskej jednotke tu vystupuje spodnotriasové siliciklastické lúžňanské súvrstvie (č. 80), reprezentujúce najspodnejší z bazálnych členov tatrických mezozoických sedimentárnych sekvencií.



Obr. 1. Geologická mapa okolia jaskyne - výrez z geologickej mapy Tatier 1:50 000 (Nemčok et al., 1994) s vyznačením jaskynných priestorov hydrologického systému ponorného Roháčskeho (Studeného) potoka.
Legenda: ***Kvartér:*** 1 - fluviálne sedimenty: nivné a piesčité hliny so štrkmi, štrkovito-hlinité až balvanovito-štrkovité sedimenty nív a nivných kužeľov, 6 - náplavové kužele, proluviálne hlinité štrky s úlomkami, 7a, 10, 13, 18 - glacifluviálne piesčité a balvanovité štrky, 8 - glacigénne štrkovito-balvanovito-blokové sedimenty morén posledného zaľadnenia; ***podtatranská skupina:*** 38 - organodetritické a organogénne vápence s veľkými foraminiferami (bartón - spodný priabón), 40 - karbonátové zlepence a brekcie (lutét - priabón); ***hronikum:*** 48 - ramsauské dolomity (vrchný anis - ladin); ***fatrikum:*** 56 - allgäuské vrstvy („fleckenmergel") - kremité škvrnité vápence, sliene a bridlice (sinemúr - spodný bajok), 61 - karpatský keuper - pestré ílovito-piesčité bridlice, pieskovce, kremence (norik - spodný rét), 62 - ramsauské dolomity (ladin - karn); ***tatrikum:*** 80 - obalová sekvencia: lúžňanské súvrstvie - zlepence, kremenné pieskovce a kremence (spodný skýt), 85 - kryštalinikum: bt-granodiority až tonality s prechodmi do mus-bt-granodioritov (vysokotatranský typ)

Fig. 1. Geological map of the surroundings of Brestovská Cave - crop from the geological map of Tatras 1:50 000 (Nemčok et al., 1994). The arrows shows the localisation of caves included to underground system of Roháčsky (Studený) Stream.
Legend: ***Quaternary:*** 1 - fluvial sediments: niveau sediments and sandy clay with pebbles, gravely-clay to bouldery-gravel sediments of niveaus and niveau cones, 6 - diluvial cones, proluvial clay pebbles with fragmets of rocks, 7a, 10, 13, 18 - glacifluvial sandy and bouldery pebbles, 8 - glacigenous gravel-boulder-blocky sediments of moraines from the age of last glaciation; ***Podtatranská skupina Group:*** 38 - organodetritic and organogene limestones with great foraminifers (Bartonian - Lower Priabonian), 40 - carbonate conglomerates and breccias (Lutetian - Priabonian); ***Hronic Unit:*** 48 - Ramsau dolomites (Upper Anisian - Ladinian); ***Fatric Unit:*** 56 - Allgäu Formation („fleckemnergel") - quartzitic spotted variegated limestones, marls and shales (Sinemurian - Lover Bajocian), 61 - Carpathian Keuper - variegated clay - sandy shales, sandstones, quartzites (Norician - Lower Rhaetian), 62 - Ramsau dolomites (Ladinian - Carnian); ***Tatric Unit:*** 80 - cover sequence: Lúžna Formation - conglomerates, quartz sandstones and quartzites (Lower Scythian), 85 - crystalline basement: bt-granodiorits to tonalits with changes to mus-bt-granodiorits (Vysoké Tatry type)

Lúžňanské súvrstvie (80) (spodný skýt)

Súvrstvie tvoria hlavne ružové až fialkovasté, miestami svetlosivé až biele kremenné a arkózové pieskovce alebo kremence a zlepence. Sú jemnozrnité až strednozrnité, miestami, najmä v spodných častiach, so šošovkami drobnozrnných konglomerátov. Súvrstvie horninovou náplňou zodpovedá lúžňanskému súvrstviu, ktoré bolo definované na typovom a referenčnom profile pri Liptovskej Lúžnej v Nízkych Tatrách. Nie je stratigraficky jednoznačne datované a väčšina autorov ho pokladá za spodnoskýtske. Vystupuje juhovýchodne od jaskyne až za hrebeňom Múčnice, na jej severovýchodných svahoch, ako aj východne od horárne Brestová a na severozápadných svahoch Veľkého klina (1412 m n. m.).

Fatrikum

Na skúmanom území v blízkosti jaskyne v rámci fatrickej jednotky vystupujú sedimentárne horniny krížňanského príkrovu, resp. bobroveckého čiastkového príkrovu (čiastkový príkrov Bobrovca, Nemčok, ed., 1993) len južne až juhozápadne od jaskyne, na severných až severozápadných svahoch Veľkého klina. Reprezentujú ho ramsauské dolomity (č. 62), pre krížňanský príkrov typické horniny pestrého súvrstvia karpatského keupru (č. 61) a slienitých allgäuských vrstiev (č. 56).

Ramsauské dolomity (62) (ladin - karn)

Ramsauské dolomity sú masívne až hrubolavicovité svetlé až tmavosivé dolomity, veľmi často s rozptýlenými polohami brekcií. Sú na nerozoznanie od nadložných dolomitov hronika, od ktorých ich oddeľujú pestré vrchnotriasovo-strednojurské súvrstvia. Z fosílnych organizmov sa v ramsauských dolomitoch zriedkavo vyskytujú krinoidové články, ostne ježoviek, ostrakódy, foraminifery a dasykladálne zelené riasy.

Karpatský keuper (61) (norik - spodný rét)

Súvrstvie karpatského keupru tvoria charakteristické pestro, hlavne červeno sfarbené ílovito-piesčité bridlice, pieskovce, kremence, drobnozrnné zlepence, miestami dolomity a karbonátové zlepence. Vytvorili sa počas krátkej plytkovodno-terestrickej sedimentárnej fázy, ktorá prebiehala v najvrchnejšej časti triasu.

Allgäuské vrstvy (56) (sinemúr - spodný bajok)

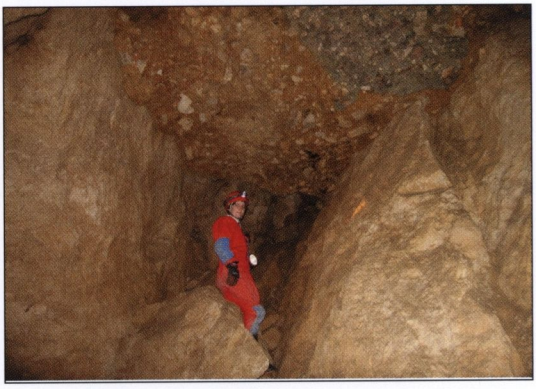
Vrstvy tvoria sivé škvrnité slienité vápence, sliene a bridlice, škvrnité vápence, pre svoju charakteristickú štruktúru sú z minulosti známe aj pod názvom „fleckenmergel". Predstavujú hlbokovodné sedimenty postupne sa prehlbujúceho jurského sedimentárneho bazénu. Nad nimi ležia v príkrovovej pozícii opäť triasové ramsauské dolomity, tentokrát nadložnej jednotky hronika.

Obr. 2. Viditeľné (prirodzene farebne odlíšené) litologické stylolitické rozhranie medzi dolomitmi (vľavo) a vápencami (vpravo) v Jazernej chodbe Brestovskej jaskyne. Foto: L. Vlček

Fig. 2. The lithological stylolithical border between the dolomites (light coloured left) and limestones (dark coloured right) in Jazerná Corridor, Brestovská Cave. Photo: L. Vlček

Hronikum

Hronikum je na skúmanom území reprezentované chočským príkrovom a v rámci neho výlučne vrchnoanisko-ladinskými svetlo- až tmavosivými ***ramsauskými dolomitmi*** (č. 48), ktoré sú litologicky veľmi podobné ramsauským dolomitom fatrika, opísaným vyššie. V nich je vytvorený celý systém Brestovskej jaskyne. V súvrství sa nachádzajú vložky tmavších vápencov, ktoré sú miestami dobre pozorovateľné aj v profiloch chodieb jaskyne (obr. 2). Podľa makroskopických pozorovaní a mikroskopickej analýzy ide zrejme o bituminózne gutensteinské a rohovcové reiflinské vápence. Povrch dolomitického súvrstvia bol počas paleogénu erozívne zrezaný a postupne naň nasadli klastické sedimenty bazálnej transgresívnej litofácie (borovské súvrstvie).



Obr. 3. Malá sienka medzi Kopečného chodbou a Bivakovou sieňou v Brestovskej jaskyni, výrazne modelovanou stropným rútením, poskytuje ukážkový príklad kontaktu mezozoických a paleogénnych hornín. Z tohto miesta pochádza aj tenká vrstva bazálnych paleogénnych ílov sivej farby, na obrázku v pravom hornom rohu. Foto: L. Vlček

Fig. 3. In the small hall between Kopečného Corridor and Bivaková sieň Hall, Brestovská Cave, remodelled by wall and ceiling efforation, the typical outcrop of erosion contact zone of Mesozoic and Palaeogene rocks is located. Right up in the picture, is the position of light coloured grey Palaeogene clays, as one thin layer in the base of carbonate breccia. Photo: L. Vlček

Podtatranská skupina

Nad dolomitmi chočského príkrovu v transgresívnej litofácii vystupujú karbonátové zlepence a brekcie borovského súvrstvia (č. 40) s vložkami sivých ílovcov.

Borovské súvrstvie (40) (lutét - priabón)

Súvrstvie tvoria klastické karbonáty, s trendom zjemňovania sa smerom do nadložia. V jeho najvyšších častiach vystupujú organodetritické až organogénne vápence s veľkými foraminiferami (č. 38), známe ako „numulitové vápence". Karbonatické zlepence a brekcie vystupujú v odkryvoch na hrebeni Madajky, Múčnice aj Volariska. V najnižších častiach súvrstvia miestami vystupujú tenké polohy sivých ílov, zakomponovaných do štruktúry brekcií. Karbonáty borovského súvrstvia sa nachádzajú aj v priestoroch jaskyne, kde tvoria stropy chodieb, najmä vo vyššej jaskynnej úrovni. V stropoch týchto chodieb sa dá sledovať transgresívna diskontinuita medzi mezozoickými dolomitmi a nadložnými paleogénnymi zlepencami (obr. 3).

Kvartérne sedimenty

Na území okolo Brestovskej jaskyne vo výraznej miere vystupujú práve kvartérne sedimenty doliny Roháčskeho (Studeného) potoka, v menšej miere delúviá. Majú zväčša glacifluviálny, fluviálny a glacigénny pôvod. Zväčša ide o piesčito-balvanovité alebo piesčito-balvanovito-blokovité sedimenty charakteru piesčitých štrkov s blokmi. Glacigénne sedimenty v osi Roháčskej doliny pochádzajú z doby posledného zaľadnenia (würmský glaciál). Na povrchu na ploche okolo Roháčskeho potoka pred jaskyňou sa nachádzajú hlavne tenké fluviálne nivné sedimenty vo forme hlín a piesčitých hlín, smerom do podložia výrazne hrubnúce, so zvyšujúcim sa podielom štrkov a balvanov. Materiál sedimentov pochádza najmä z granitoidného materiálu kryštalinického jadra Tatier. Ide o rozplavené staršie glacifluviálne akumulácie. Prostredníctvom ponorov alebo prerútenia jaskynných stropov sa tento materiál dostal gravitačne či vodnou cestou aj do priestorov jaskýň. Ukážkový príklad prieniku nekrasových, riečne opracovaných balvanov a okruhliakov nájdeme v juhozápadnom ohybe strednej časti Jazernej chodby v Brestovskej jaskyni, kde tvoria mohutnú, niekoľko metrov vysokú akumuláciu vysypanú z jaskynného komína, ktorý pôvodne vyúsťoval na povrch.

TEKTONIKA

Tektonická stavba v okolí jaskyne je už na prvý pohľad zložitá. Niekoľko superponovaných veľkých tektonických jednotiek obsahujúcich karbonátové členy a hojne porušených zlomami tu vytvára vhodné geologické podmienky na vznik podzemných krasových foriem.

Tatry predstavujú relatívne vysoko vyzdvihnutú kryhu hrasťového typu, takmer úplne lemovanú paleogénnymi sedimentmi podtatranskej skupiny. Kým južnú a centrálnu časť Tatier reprezentujú horniny kryštalinika tvoriace paleozoické podložie, západná, severná a severovýchodná časť pohoria je budovaná prevažne mezozoickými horninami. Výrazný poruchový systém zlomovo-násunového charakteru, ako aj štruktúrno-litologická analýza jednotlivých súborov hornín pomohli dešifrovať vnútornú stavbu Tatier. Najzložitejšie sa javí najspodnejšia štruktúrno-geologická jednotka - tatrikum, zložená z paleozoického kryštalinika a permsko-mezozoických sedimentárnych sekvencií. V triase sedimentovali plytkovodné siliciklastické a karbonátické horniny typu pieskovcov a zlepencov (napr. lúžňanské súvrstvie), plytkovodných organodetritických vápencov (napr. gutensteinské vápence) či dolomitov (napr. ramsauský dolomit). V jure a kriede sa sedimentárny bazén prehlboval a usadzovali sa v ňom hlbokovodné sedimenty. V celých Tatrách takmer úplne chýbajú sedimenty vrchnej kriedy až spodného eocénu, čo sa vysvetľuje sunutím príkrovov fatrika a hronika na tatridný priestor. Predpokladá sa, že v tomto období došlo k obnaženiu a čiastočnej erózii paleoalpínskej stavby. Kompresný tektonický režim vo vrchnej kriede postupne v eocéne vystriedal extenzný režim, čoho prejavom bola celková subsidencia

oblasti a vytvorenie vnútrokarpatskej paleogénnej sedimentačnej panvy typu predoblúkových bazénov (Nemčok et al., 1993). Začala sa transgresívna sedimentácia členov podtatranskej skupiny v strednom a vrchnom eocéne, pri ktorej sa na erodovaný povrch ukladali bazálne litofácie. Stredno- až vrchnoeocénne bazálne paleogénne sedimenty (borovské súvrstvie) reprezentujú karbonátové zlepence, brekcie, pieskovce a vápence s veľkými foraminiferami. Koncom eocénu eocénna karbonátová platforma veľmi rýchlo poklesla a vo vrchnoeocénno-oligocénnom hlbokovodnom bazéne vznikali flyšové sedimenty hutianskeho súvrstvia, reprezentované zväčša ílovcami.

Tatry sa od vrchného oligocénu až spodného neogénu začali dvihať (Nemčok et al., 1993). So sformovaním megaštruktúrnej asymetrickej hraste Tatier súvisí vznik významných zlomov, akými sú V - Z orientované podtatranský a severotatranský zlom, ako aj viacerých SV - JZ zlomov. Počas pleistocénneho zaľadnenia sa oblasť Tatier stala horstvom s alpskou charakteristikou zarezávania a tvorby chrbtov a dolín. V oblasti okolo Brestovskej jaskyne nastalo úplné oderodovanie vyšších členov paleogénnej sedimentácie, pričom keďže ide o pobrežnú časť panvy, hlbokovodné fácie sa v priestore nad jaskyňou zrejme ani nenachádzali. Erózny zrez sa skončil najvyššie na numulitových vápencoch borovského súvrstvia v oblasti Okolíka (1328 m n. m.). V karbonátoch borovského súvrstvia a v podložných karbonátových súvrstviach (prevažne ramsauských dolomitoch hronika) sa vytvorila prevažná väčšina krasových javov v skúmanej oblasti.

Zlomové systémy sú na povrchu len ťažko pozorovateľné. Zlomy SZ - JV smeru existujú v osiach dolín od doliny Roháčskeho potoka po doliny SZ od Malého klina. Ich ekvivalentmi sú niektoré tektonické poruchy v jaskyni. Na mnohých z nich sme identifikovali pohyby poukazujúce na poklesový charakter, pričom zaklesával severovýchodný blok oproti juhozápadnému. Na poklesoch sa zistila veľkosť pohybu od 0,30 m v chodbe medzi Jazierkovou sieňou a Brodňanského riečiskom do viac než 2 m v Zubereckej chodbe. Výrazné zlomy SV - JZ smeru, ktoré ohraničujú zo severozápadu Západné Tatry a tvoria pokračovanie chočsko-prosečnianskeho zlomu, prebiehajú masívom Madajky nad jaskyňou. Paralelné poruchy tohto smeru sú v jaskyni zrejme najbežnejšími štruktúrnymi diskontinuitami hlavne v priestoroch za sifónom. V častiach pred sifónom sú najviac zastúpené najmä štruktúry SSV - JJZ paralelné s osami dolín vybiehajúcich spod Malého klina.

Geologická charakteristika jaskyne

Litológia

Brestovská jaskyňa je vytvorená v litologicky značne nehomogénnom horninovom prostredí. Zóna jej ponorov sa nachádza v zóne kontaktu krasu a nekrasu (ponor Roháčskeho potoka) na litologickom rozhraní kremenných pieskovcov lúžňanského súvrstvia a ramsauských dolomitov, ale čiastočne aj vnútri krasového územia (ponory Volariská, Múčnica), budovaného ramsauskými dolomitmi a karbonátmi borovského súvrstvia. Ponorné vody tečú jaskynným traktom vytvoreným v svetlosivých ramsauských dolomitoch s nepravidelne rozmiestnenými vložkami tmavších vápencov gutensteinského typu. Vápence sú charakteristické nepravidelným bielym kalcitovým žilkovaním a nachádzame ich na odkryvoch v stenách jaskynných priestorov v Jazierkovej sieni, na Brodňanského riečisku, v Zubereckej a Jazernej chodbe. Vápence podliehajú ľahšie krasovateniu, preto sú typické výrazne korózno-erózne modelovaným povrchom stien. Tento rozdiel medzi vápencami a odolnejšími dolomitmi je ukážkovo vyvinutý na oboch stenách Zubereckej chodby. Časť dolomitického súvrstvia bola postihnutá tektonickými premenami a je výrazne zbrekciovatená. Zvláštnym typom vápencov sú tmavosivé vápence s vtrúsenými nepravidelnými polohami rohovcov. Zrejme ide o najstaršiu, vrchnoaniskú časť reiflinských vápencov

(*vrchný anis - ladin*), keď sa tieto karbonáty vyvíjali paralelne s gutensteinskými vápencami a ramsauskými dolomitmi. Reiflinské vápence v jaskyni vystupujú v priestore pred sifónom v Sieni potápačov a pravdepodobne aj v Jazernej chodbe, kde sa rohovce nachádzajú ako častá prímes v štrkových sedimentoch na dne chodby (obr. 4).

Obr. 4. Sedimenty v riečisku sú zastúpené prevažne alochtónnymi štrkmi pochádzajúcimi z granitoidného jadra Tatier, ale miestami sa v nich nachádzajú aj autochtónne karbonáty a rohovce. Foto: L. Vlček
Fig. 4. The fluvial sediments in the active corridors represent predominantly the allochthonous granitoide pebbles from Tatra Mts. crystalline basement, but occasionally contain also autochthonous carbonates or cherts. Photo: L. Vlček

V najvyššej časti jaskyne vystupujú v stropnej časti chodieb horniny bázy borovského súvrstvia. Pozostávajú z dolomitových a vápencovo-dolomitových brekcií a zlepencov bez foraminifer. Opracovanie klastov je len nevýrazné. V paleogénnych brekciách sa miestami nachádza podstatný podiel klastov derivovaných z tmavých vápencov gutensteinského typu. Odlišnosť v dispozícii voči krasovateniu medzi vápencami a dolomitmi sa prejavuje aj na jednotlivých klastoch v rámci telies brekcií. V priestoroch aktívneho riečiska v Jazernej chodbe sú na stenách tvorených karbonátickou brekciou viditeľné najvýraznejšie jamkovité zahĺbenia na vápencových klastoch a pozitívne tvary na medziklastových výplniach tvorených dolomitickým tmelom (obr. 5). Na niektorých miestach celistvé dolomity prechádzajú do brekcií bez jasne viditeľnej hranice, čo svedčí o kataklastickom pôvode. Inde je hranica ostro kontrastujúca, jasne viditeľná a predstavuje ju erózny povrch, zväčša mierne uklonený generálne na severovýchod. V tomto prípade možno uvedené horniny jasne vekovo odlíšiť. V Jazernej chodbe tvoria brekcie borovského súvrstvia pravdepodobne výplň hlbokej eróznej ryhy (úzkeho údolia), ktorá vznikla na pôvodnom dolomitovom povrchu. V priestore tejto výplne sa vytvoril dnešný priebeh koncovej časti Jazernej chodby (obr. 6).

Obr. 5. Erózno-korózne prepracované skalné dno Jazernej chodby, predstavujúce výplň úzkeho paleogénneho kaňona, v ktorom sedimentovali klasty rôznej litológie. Foto: L. Vlček
Fig. 5. Erosion-corrosion worked out rocky bottom of the Jazerná Corridor represents the narrow Palaeogene canyon with sedimented clasts of variegated lithology. Photo: L. Vlček

Vrstevnatosť pozorovať v jaskyni len ojedinele. Odkryvy s viditeľnou vrstevnatosťou hornín sa nachádzajú v chodbe za Gotickou bránou a v strednej časti Brodňanského riečiska. Nameraný smer sklonu sa v rámci jaskynného traktu mení (31, 70, 131, 257°), avšak jeho úklon je pri jednotlivých pozorovaniach veľmi podobný, v rozpätí medzi 18 a 27°, s výnimkou vrstevnatosti s nameranými hodnotami 31/49°, priamo na nej sa vyvinula výrazná jaskynná chodba medzi Jazierkovou a Bivakovou sieňou.

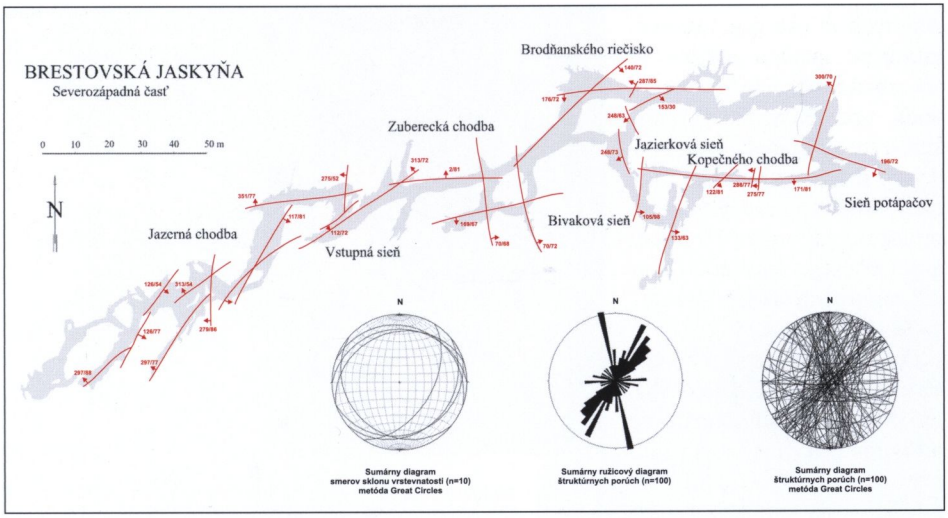
Výraznou štruktúrou, ktorá podmienila vznik a morfológiu jaskynných priestorov, je diskontinuita transgresívneho rozhrania medzi triasovými dolomitmi a karbonátovými horninami bazálnej litofácie paleogénu (obr. 7). Starý mezozoický povrch je nepravidelne erózne zrezaný, miestami dokonca rozčlenený pomerne hlbokými eróznymi zárezmi. Ukláňa sa zväčša na severovýchod (50/23° v oblasti vchodu, či ešte strmšie v oblasti za Gotickou bránou), ale aj na severozápad (290/18° namerané v strednej časti jaskyne). Tento smer úklonu je protistojný s hlavným smerom úklonu vrstiev dolomitov, ktorý sleduje voda pritekajúca do jaskyne.

Obr. 6. Jazerná chodba je vytvorená vo veľmi komplikovanom horninovom prostredí, kde vhodné podmienky na vznik podzemného krasovatenia vytvorili subvertikálne tektonické poruchy, časté laterálne striedanie vápencov a dolomitov a zároveň výskyt vápencovo-dolomitických brekcií (pravdepodobne paleogénneho veku), vyplňujúcich hlboké erózne prehĺbeniny, vzniknuté klastickou sedimentáciou na kedysi obnaženom mezozoickom povrchu. Foto: P. Staník
Fig. 6. Jazerná Corridor was created in very complicated rock environment - where suitable conditions for underground karstification formed subvertical tectonic structures, frequent lateral substitution of limestones and dolomites with simultaneous occurrence of (probably Palaeogene) carbonate breccias filling deep erosion depressions, originated by clastic sedimentation on once bare Mesozoic surface. Photo: P. Staník

Tektonika

Tektonické porušenie masívu sa odrazilo aj na vzniku a topografickej štruktúre priestorov jaskyne. Chodby sú vyvinuté na výrazných tektonických poruchách, preto majú prevažne priamočiary priebeh s dĺžkou rovného úseku často niekoľko desiatok metrov. Ich zalomenia vznikli na križovaní štruktúrnych porúch. Táto štruktúrna schéma je podmienená vznikom hlavných chodieb pozdĺž výrazných tektonických porúch. V teréne sme uskutočnili 71 meraní štruktúr-

Obr. 7. Detail erozívneho rozhrania podložných mezozoických a nadložných paleogénnych hornín v strope Kopečného chodby. Foto: L. Vlček
Fig. 7. Detail view of the erosion divide of underlaying Mesozoic and overlaying Palaeogene rocks in the ceiling of Kopečného Corridor. Photo: L. Vlček



Obr. 8. Štruktúrno-geologická mapa hlavných tektonických porúch v jaskyni a štruktúrne diagramy: štruktúrny diagram veľkých oblúkov a ružicový diagram z meraní tektonických porúch v jaskyni (n=100) a diagram smeru sklonu vrstiev (n=10). Spracovali P. Gažík a L. Vlček

Fig. 8. Map of the main tectonic failures in Brestovská Cave and diagrams of tectonics: Great Circles and Rose structure diagram with measuring of tectonic structures in the cave (n=100) and diagram of bedding planes dip directions (n=10). Compiled by P. Gažík and L. Vlček

nych porúch a štatistický súbor sme vyhodnotili pomocou štruktúrnych diagramov (obr. 8). Zo štruktúrno-geologickej stránky ide o jaskyňu vyvinutú na komplikovanej štruktúrno-geologickej schéme, na vzniku ktorej sa hlavnou mierou podieľajú hlavne strmo uklonené až subvertikálne prebiehajúce tektonické štruktúry V - Z, SV - JZ, SZ - JV a SSZ - JJV smeru a miernejšie uklonené plochy vrstevnatosti, ako aj plochy diskordantného styku dolomitov s nadložnými paleogénnymi vápencami. Tieto štruktúry podmienili vznik a morfológiu pod-

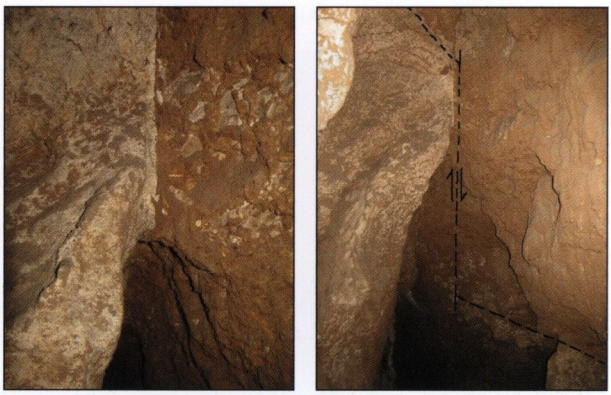
Obr. 9. Najobjemnejšie priestory v jaskyni vznikli v mieste križovania viacerých výrazných tektonických porúch. Gotická brána (na obrázku) vznikla v oblasti priesečníka niekoľkých V - Z a JZ - SV orientovaných subvertikálne uklonených zlomov. Foto: P. Staník

Fig. 9. The most voluminous spaces in the cave were created in the place of several crossing tectonic faults. Gotická brána (Gothic Gate), on the picture, originated on the cross-section of several E - W and SW - NE oriented subvertical faults. Photo: P. Staník

zemných priestorov, hlavným faktorom vzniku jaskyne sú tektonické poruchy a prienik vody pozdĺž nich. Poruchy vznikli v priebehu neogénno-kvartérnej zlomotvorby. Od čias oligocénu - spodného miocénu je známy výzdvih asymetrickej hraste Tatier o 8 mm ročne (Nemčok et al., 1993).

Poruchy v jaskyni sú hlavne V - Z, SV - JZ, SZ - JV a SSZ - JJV smeru. Najdôležitejšie jaskynné priestory sa vyvinuli pozdĺž porúch V - Z, SZ - JV a SSZ - JJV smeru, chodby založené na štruktúrach SV - JZ smeru sú síce častejšie, no relatívne menej výrazné. Chodby SZ - JV smeru založené na strmo uklonených tektonických poruchách sa nachádzajú v úseku začiatku Brodňanského riečiska. V kombinácii s kolmo na ne orientovaným zlomovým porušením tu vytvorili vhodné podmienky na vznik najrozmernejšieho podzemného priestoru jaskyne - Gotickej brány (obr. 9). Chodba tohto istého smeru vedie ale aj na hornom poschodí v úseku medzi Jazierkovou a Bivakovou sieňou, kde však nesleduje tektonické štruktúry, ale prechádza kolmo na smer úklonu vrstiev, čím vznikol charakteristický trojuholníkovitý profil chodby (obr. 10). Časté sú aj poruchy S - J smeru, ktoré sa však v morfológii priestorov jaskyne odrážajú len nepatrne. Toto však neplatí pre časti jaskyne v priestoroch 1. sifónu a za ním. Tieto by mali byť vytvorené práve na štruktúrach tohto typu, o čom svedčí celkový severo-južný priebeh chodieb.

Obr. 10. Chodba medzi Jazierkovou a Bivakovou sieňou, vytvorená na plochách vrstevnatosti (zvýraznená čiarkovane) vápencov gutensteinského typu, v smere kolmom na smer sklonu vrstiev. Foto: L. Vlček
Fig. 10. The corridor between Jazierková Corridor and Bivaková sieň Hall, formed on bedding planes (marked by dash lines) of Gutenstein limestones, in the direction, perpendicular to the layer dip direction. Photo: L. Vlček



Obr. 11. Dislokácia v Krbovej chodbe, oddeľujúca dva horninové bloky s odlišnou litologickou náplňou - vpravo vápencovo-dolomitické brekcie, vľavo dolomity. Veľkosť posunu cca 0,5 m. Foto: L. Vlček
Fig. 11. Krbová Corridor - the dislocation between two lithologically different blocks of rock - limestone-dolomitic breccias (right) and dolomites (left). The slip magnitude of ca 0.5 m. Photo: L. Vlček

V jaskyni sa nenašli žiadne markery, poukazujúce na recentne aktívnu tektoniku. Na niekoľkých miestach sa však nachádzajú poruchy, na ktorých je možno dešifrovať veľkosť a zmysel pohybu (obr. 11). V - Z orientovaná strmo na juh uklonená porucha prechádzajúca osou Kopečného chodby, penetrujúca tak mezozoické, ako aj paleogénne súvrstvie, poukazuje na tektonickú aktivitu postpaleogénneho veku (obr. 12).

Obr. 12. Priepasť - v priestore vytvorenom generálne na subvertikálnej tektonickej poruche vidieť v strope litologickú hranicu medzi podložnými mezozoickými dolomitmi a nadložnými paleogénnymi klastikami, ako aj miernu dislokáciu - prešmyk južného bloku (vpravo) nad severný (vľavo). Foto: L. Vlček

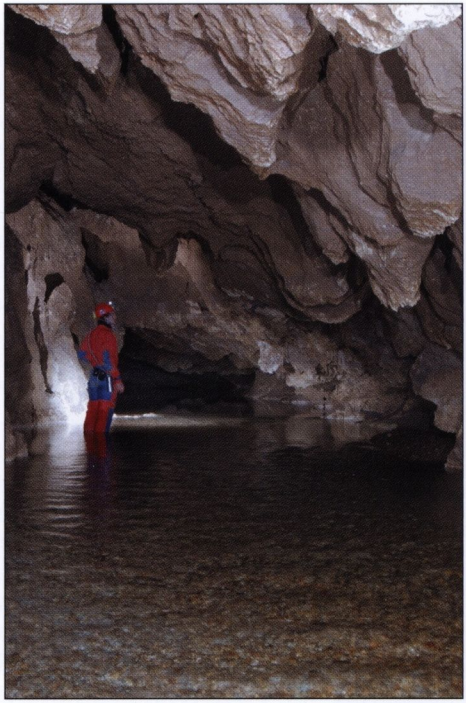
Fig. 12. Shaft, the lithological border between underlaying Mesozoic dolomites and overlaying Palaeogene clastic sediments, as well as slight dislocation - thrust of the southern block over the northern one (right block over the left one), can be seen in the space of subvertical tectonic fault. Photo: L. Vlček

Obr. 13. Detail erozívneho rozhrania medzi podložnými mezozoickými dolomitmi a nadložnými paleogénnymi klastickými sedimentmi - staršie a krehkejšie mezozoické karbonátové horniny sú viac tektonicky porušené a viaže sa na ne väčšina priestorov jaskyne. Naopak, brekcie borovského súvrstvia vytvárajú nad nimi akýsi len miestami porušený ekran - bariéru, pod ktorou fungovalo podzemné odvodnenie masívu. Foto: L. Vlček

Fig. 13. Detail view of the erosion boundary between underlaying Mesozoic dolomites and overlaying Palaeogene clastic sediments - the older and more fragile Mesozoic carbonates are more tectonically broken and the most of cave space is associated with them. On the other side, the Borové Formation breccias represent some ecran (low permeable cover) over the Mesosoic rocks. Drainage of massif is realized mostly under this barrier. Photo: L. Vlček

Vplyv litotektonických pomerov na vznik jaskynných priestorov a speleologické perspektívy

Keďže známe priestory jaskyne vznikli na systematickej priestorovej tektonickej schéme v litologickom prostredí triasových vápencov a dolomitov, prekrytých paleogénnymi klastickými karbonátmi, je zjavné, že ďalej v masíve sa bude nachádzať pokračovanie jaskyne vytvorené podľa tých istých genetických zákonitostí. Na základe analógií z krasu v paleogénnych zlepencoch a vápencoch z iných území Slovenska možno predpokladať, že jaskynné priestory vytvorené v horninách borovského súvrstvia nad Brestovskou jaskyňou - jaskyne v závrtoch na Madajke a ešte neznáme priestory medzi nimi a traktom Brestovskej jaskyne - budú objemovo neveľké, charakterom skôr úzke, vodou modelované kanály pozdĺž tektonických alebo medzivrstevných škár. Na kontakte borovského súvrstvia s podložnými dolomitmi a vápencami hronika sa však v Brestovskej jaskyni vytvorili objemovo najväčšie a najpriestrannejšie časti, čo sa dá na základe litologickej predispozície predpokladať aj ďalej v masíve. Ukážkovou demonštráciou vplyvu litológie na intenzitu krasovatenia v jaskyni je napr. odkryv v stropnej časti Kopečného chodby nad Priepasťou (obr. 13).



Obr. 14. Súčasný vodný tok na Brodňanského riečisku využíva výraznú šikmo na juh uklonenú tektonickú poruchu V - Z smeru. Foto: P. Staník
Fig. 14. Recent stream in Brodňanského Riverbed follows the major, south-sloping, E - W oriented tectonic failure. Photo: P. Staník

Obr. 15. Ponor Studeného (Roháčskeho) potoka s jaskyňou vytvorenou na šikmej tektonickej poruche SV - JZ smeru. Foto: L. Vlček
Fig. 15. The ponor of Studený (Roháčsky) Stream with the cave, originated on the sloping tectonic fissure of NE - SW direction. Photo: L. Vlček

Na základe priestorovej štruktúry tektonickej siete v jaskyni možno schematicky vyčleniť niekoľko najvýraznejších zlomových systémov, smerovo korešpondujúcich s jaskynnými chodbami a podmieňujúcich ich genézu. V - Z generálny smer tektonického porušenia masívu Madajky priamo podmienil vznik hlavného traktu jaskyne (obr. 14) a tieto štruktúry sú odkryté takmer v celej dĺžke známeho podzemného hydrologického transsektu sedimentárnych sekvencií od styku kryštalinika s karbonátovými členmi jeho obalovej sekvencie v najvyššej ponorovej zóne (ponor Roháčskeho potoka, obr. 15) až po kontakt hornín najvyššej príkrovovej štruktúry s kvartérnymi výplňami údolia v Brestovskej vyvieračke (vyvieračke Števkovského potoka). Podobný priebeh, s orientáciou zrotovanou k SV - JZ, má aj ďalšia významná populácia zlomov, smerovo priamo

Obr. 16. Šikmo uklonená sifonálna aktívna riečna chodba vytvorená pozdĺž výraznej SV - JZ orientovanej tektonickej poruchy medzi Vstupnou sieňou a Zubereckou chodbou. Foto: L. Vlček
Fig. 16. Monoclinal sloping siphonal active river corridor, created along the major NE - SW oriented tectonic failure between Vstupná sieň Hall and Zuberecká Corridor. Photo: L. Vlček

21793

korešpondujúcich s jaskynnými chodbami (obr. 16). Podľa topografickej mapy častí jaskyne za sifónom (Hochmuth, 1984, 2000) je zrejmé, že funkciu generálnych porúch podmieňujúcich vznik jaskynných chodieb v priestoroch pôdorysne pod dolinou Volariská a Múčnica prevzali tektonické štruktúry S - J priebehu, vymapované v tomto území aj na povrchu. O pokračovaní jaskynných priestorov ďalej smerom na juh, do masívu Madajky, svedčí množstvo chodieb generálne SV - JZ priebehu, nachádzajúcich sa v strednej výškovej úrovni jaskyne, odbočujúcich z hlavného traktu smerom na juh. Tie sú zväčša po niekoľkých metroch, príp. prvých desiatkach metrov zanesené sedimentmi, ale perspektíva ich napojenia na ďalšie, dosiaľ neznáme priestory v masíve je zjavná. Prostredníctvom štruktúrno-geologických porúch generálne S - J smeru zrejme do známych priestorov jaskyne tiež skryte prestupuje voda z masívu Madajky, ktorá sa objavuje v riečisku a jej prítoky boli v minulosti dokázané podrobným hydrometrovaním. Prítoky sledujúce tektonickú schému porušenia masívu pochádzajú z dosiaľ neznámeho, no pravdepodobne bohatého podzemia príkrovovo-tektonicky prepracovanej mezozoicko-paleogénnej karbonátovej masy hornín krasového masívu Madajky.

Kvartér - jaskynné výplne

Klastické jaskynné sedimenty

V nasledujúcom texte uvádzame stručnú charakteristiku základných typov klastických sedimentov v jaskyni a interpretáciu ich sedimentačného prostredia.

Gravitačné sedimenty

Častými sedimentmi v jaskyni sú autochtónne gravitačné sedimenty, ktoré vznikajú opadávaním úlomkov hornín zo stien a stropov a ich následným ukladaním. Ich zrnitostné zloženie je v rozmedzí od piesku až po bloky hornín. Litologicky ide prevažne o úlomky ramsauských dolomitov a karbonátických brekcií, menej gutensteinských vápencov a rohovcov. Na podlahe jaskyne tieto sedimenty vytvárajú menšie akumulácie (napríklad v oblasti vchodu). Pozostávajú z chaotických, nevytriedených ostrohranných úlomkov, prevažne s otvorenou štruktúrou klastov. V riečisku sa nachádzajú aj osamotené balvany až bloky dolomitu. Bloky uložené v aktívnom koryte tvoria prekážky, za ktorými sedimentuje štrk (obr. 17). Ostrohranné úlomky napadali aj do kalových povodňových sedimentov (obr. 18).

Obr. 17. Ukladanie štrku za prekážkou. Foto: J. Psotka
Fig. 17. Gravel deposition behind the obstacle. Photo: J. Psotka

Obr. 18. Ostrohranné úlomky gravitačných sedimentov (dolomity) utopené v ílovito-siltovom matrixe kalových povodňových sedimentov. Foto: J. Psotka
Fig. 18. Angular lithoclasts of gravitational deposits drowned in mud-silt matrix of turbid flood deposits. Photo: J. Psotka

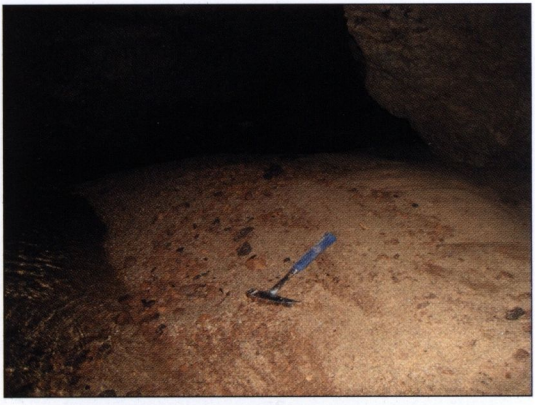
Slovenské múzeum
ochrany prírody a jaskyniarstva
031 01 Liptovský Mikuláš

Fluviálne sedimenty

Fluviálne siliciklastická prevažne alochtónneho pôvodu sú najviac zastúpené sedimenty v jaskyni. Môžeme ich rozdeliť podľa zrnitostného zloženia na štrkové, pieskové a jemnozrnné fácie. Štrkové fácie sú ukladané v aktívnom toku, kde tvoria duny, bary v strede koryta, zákrutové nánosy - point bar deposits (obr. 19), reziduálne sedimenty v koryte (channel lag deposits) a štrkové rebrá (gravel ribs) na zložených dnových formách (obr. 20). Štrk pozostáva zo subangulárnych, slabo opracovaných okruhliakov granitoidov, ich úlomkov a úlomkov rohovcov vyvetraných z karbonátov. Veľkosť klastov je od 2 do 10 cm. Najviac sa vyskytuje stredne zrnitý až hrubo zrnitý štrk. V častiach za sifónom sa podľa Hochmutha nachádzajú granitové klasty až do 20 cm. Zo štrkových litofácií (podľa klasifikácie Mialla, 1996) sme pozorovali hrubo horizontálne zvrstvený štrk s podpornou štruktúrou klastov (fácia Gh) a v sedimentoch point barov predpokladáme planárne šikmo zvrstvený štrk (fácia Gp). Na viacerých miestach v jaskyni sa zachovali slabo spevnené hrubozrnné klastické sedimenty na strope chodieb aj v značnej výške. V oblasti Jazernej chodby sa nachádzajú na strope prisintrené relikty veľmi hrubozrnných sedimentov - zaoblených balvanov z granitoidov. Pôvod granitoidových balvanov v Jazernej chodbe sa dá vysvetliť prepadom cez jaskynné trhliny otvorené na povrch, načapujúce bázu povrchových glacifluviálnych sedimentov. Ich sporadický výskyt v sedimentoch riečiska v Sieni potápačov má však nejasný pôvod.

Pieskové fácie sú uložené najmä po okrajoch aktívneho riečiska. Piesky sedimentovali aj na hornom, v súčasnosti inaktívnom poschodí jaskyne,

Obr. 19. Zákrutové nánosy štrku. Foto: J. Psotka
Fig. 19. Point bar gravel deposits. Photo: J. Psotka



Obr. 20. Zložená dnová forma so štrkovými rebrami. Foto: J. Psotka
Fig. 20. Compound bedform with gravel ribs. Photo: J. Psotka

Obr. 21. Laminovaný íl a prach prekrytý štrkom. Foto: J. Psotka
Fig. 21. Laminated clay and silt covered by gravel. Photo: J. Psotka

kde prevažujú nad hrubozrnnejšími sedimentmi. Dno trvalo zaplavených úsekov jaskyne (sifónov) pokrýva jemnozrnný piesok a kal, ako uvádza Hochmuth (1984). Jemnozrnné fácie (jemnozrnný piesok, prach a kal) sú uložené po okrajoch koryta, kde pokrývajú piesčité a štrkové sedimenty zväčša ako tenké povlaky (mud drapes), ale miestami tvoria aj niekoľko metrov hrubé akumulácie, čo sme zistili sondážou pomocou pôdneho vrtáka. Charakteristická sedimentárna štruktúra týchto sedimentov je paralelná laminácia (obr. 21). Na hornom poschodí jaskyne v priestore križovatky za Gotickým oknom sú v jemných prachoch a ílovitých naplaveninách utopené aj viac než 30 cm vysoké masívne stalagmity.

Sedimentačné prostredie

Fluviálne prostredie v Brestovskej jaskyni pozostáva z úsekov s prúdením bez voľnej hladiny (trvalo zaplavené úseky - sifóny) a z úsekov s prúdením s voľnou hladinou. Podľa charakteru sedimentov sifónov (jemnozrnný piesok a kal, podľa Hochmutha, 1984) usudzujeme, že tu nastáva výrazný pokles unášacej sily podzemného toku a vypadávanie jemnozrnných častíc nesených v suspenzii. Úseky s voľnou hladinou sú analogické fluviálnemu prostrediu skalných tiesňav, kde je koryto laterálne ohraničené skalnými stenami. Fluviálna sedimentácia v Brestovskej jaskyni bola viacfázová. Na vyplnenie chodieb (úplné alebo čiastočné) poukazujú relikty štrkov pricementované pri stropoch chodieb. K vyplneniu chodieb sedimentmi mohlo dôjsť vplyvom poklesu unášacej schopnosti vodného toku, pri zvýšenom prísune sedimentov zo zdrojovej oblasti do jaskyne alebo pri zablokovaní výveru vôd na povrch. Fáza erózie nastala po zvýšení prietoku vôd jaskyňou, čo spôsobilo odnos sedimentov a zachovala sa len ich časť v podobe prisintrených reliktov. V chodbe za Gotickým oknom sa vo výške 2,5 m nachádzajú erodované visuté sintrové kôry. Ich presnejšie datovanie rádiometrickou metódou (Hercman et al., 2008 - in press) pomohlo spresniť rekonštrukciu paleohydrológie a vzniku jaskyne. Sedimentárne štruktúry jemnozrnných uložením indikujú sedimentáciu v pokojnom prostredí, čo je doložené predovšetkým prítomnosťou paralelne laminovaných prachovitých a jemnozrnných piesčitých sedimentov. V jaskyni sa odrazilo aj viacero náhlych povodňových stavov, o ktorých svedčia prachové a ílovité sedimenty uložené na sintrových kôrach v horných častiach jaskyne.

Chemogénne výplne

Sintrová výzdoba jaskyne nebola nikdy bohatá a do dnešného dňa sa zachovala v pôvodnom stave len na niektorých miestach. Prevažná časť výzdoby v minulosti podľahla deštrukcii vplyvom vandalizmu a návštevnosti jaskyne. V priestoroch jaskyne sú najčastejšie klasické gravitačné sintrové formy.

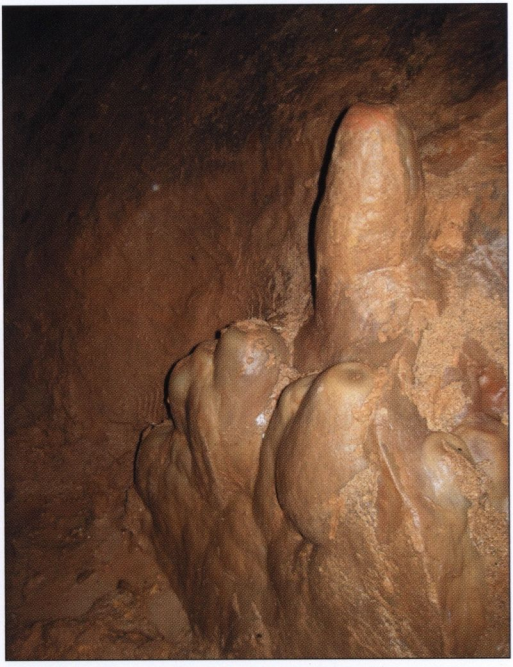
Stalaktitická výzdoba ako základná forma sintrovej výplne jaskýň sa v Brestovskej jaskyni vyskytuje hlavne vo forme základných tvarov - brčiek (obr. 22). Menej sa vyskytujú mrkvovité stalaktity rôznej hrúbky a sintrové excentriká. Táto najkrehkejšia sintrová výzdoba najrýchlejšie podľahla

Obr. 22. Krehké tenkostenné duté brčká ako iniciálna forma stalaktitu pokrývajú spolu s aragonitovými excentrikami strop Kopečného chodby nad Priepasťou. Foto: L. Vlček
Fig. 22. The fragile thin-walled macaroni stalactites together with aragonite excentric decoration covered the ceillings of Kopečného Corridor above the Priepasť (the Schaft). Photo: L. Vlček

antropogénnej devastácii (obr. 23). ***Stalagmity*** sú v jaskyni vyvinuté hlavne vo forme nízkych oválnych kvapľov. Ich výskyt nie je hojný, ale pomerne časté sú v horných častiach jaskyne, napr. v Bivakovej sieni (obr. 24). Sú vytvorené z tvrdého sintrového materiálu a prevažuje na nich béžové, sivé až biele sfarbenie povrchu. Množstvo stalagmitovej výzdoby bolo zdevastované a existujú po nej len pozostatky vo forme bazálnych tanierikov, na ktoré zvrchu prirastajú nové vrstvičky sintra. Kvapľové stĺpy, stalagnáty, ako kombinácia predošlých tvarov sa v jaskyni nevyskytujú. ***Náteky*** sú veľmi častými prvkami jaskynnej výzdoby, hlavne vo vyššie položených častiach jaskyne (chodby za Gotickou bránou). Tenké sintrové povlaky sú asi najbežnejšou formou sintrovej výplne jaskyne. Akumulácie nátekových sintrových kôr miestami dosahujú hrúbku aj 10 - 15 cm. Keďže v jaskyni sa nenachádzajú jazierka so stagnujúcou vodou, z pizolitov sa tu vyskytuje len spevnený typ pizolitickej výzdoby, pokrývajúci na niektorých zúžených miestach steny jaskyne. Spevnené aerosólové formy sa vyskytujú v podobe bradavičnatých sintrov na stenách a strope chodieb. Nie sú časté a ako esteticky nezaujímavé formy sintra zostali uchránené pred devastáciou. ***Jazierka*** ohraničené sintrovými hrádzkami sa ako forma podlahovej sintrovej výzdoby zachovali v neporušenom stave len v bočných výbežkoch Kopečného chodby, nadväzujúcej zo západu na Sieň potápačov (obr. 25). Sú suché, s kyprým, drobivým sintrovým dnom.

Obr. 23. Stalaktitická výzdoba ako najkrehkejšia a najzraniteľnejšia forma gravitačnej sintrovej výplne podlieha ľahko deštrukcii. Lomové plochy po odlomených stalaktitoch a sintrových záclonách. Foto: P. Staník

Fig. 23. Stalactite decoration, as the most fragile and vulnerable form of dripstones, easily susceptible to destruction. Fraction surfaces as the remains of broken stalactites and draperies. Photo: P. Staník



Obr. 24. Stalagmity vyčnievajúce zo siltových sedimentov v Bivakovej sieni. Foto: L. Vlček

Fig. 24. Stalagmites, protruding from silt sediments in Bivaková Hall. Photo: L. Vlček

V jaskyni sa miestami vyskytujú aj krehké excentické formy. Podľa znaleckých posudkov vyhotovených pri vyšetrovaní vylámania uzáveru, devastácie a odcudzenia výzdoby v roku 2004 ide vo viacerých prípadoch o aragonit. Výskyt aragonitu sa potvrdil použitím röntgenovej metódy (Peško, 2004). Ide len o ľadvinkovité mikrokryštalické formy, aragonit tu nevytvára makrokryštalické tvary.

Obr. 25. Kopečného chodba, vytvorená na vertikálnej poruche V - Z smeru. Sedimenty na jej dne boli v nedávnej minulosti pokryté sintrovými hrádzkami s jazierkami. Foto: L. Vlček
Fig. 25. Kopečného Corridor, created on the vertical E - W oriented fault. The sediments on its bottom were recently covered by rimstone pools and dams. Photo: L. Vlček

Obr. 26. Detail zrúteného autochtónneho bloku vápencovo-dolomitickej brekcie v riečisku Jazernej chodby; v pozadí veľký alochtónny okruhliak typickej granitoidnej štruktúry. Foto: L. Vlček
Fig. 26. Detail view of collapsed autochthonous limestone-dolomitic breccia block in the river sediments in Jazerná Corridor; an allochthonous granitoide boulder in the background. Photo: L. Vlček

ZHRNUTIE

Pohorie Tatry predstavuje z geologického pohľadu relatívne vysoko vyzdvihnutú kryhu hrasťového typu, takmer úplne lemovanú paleogénnymi sedimentmi podtatranskej skupiny. Kým južnú a centrálnu časť Tatier reprezentujú horniny kryštalinika, tvoriace paleozoické podložie, západnú, severnú a severovýchodnú časť pohoria budujú prevažne mezozoické horniny. V triase sedimentovali plytkovodné karbonátické horniny typu pieskovcov a zlepencov (napr. lúžňanské súvrstvie), vápencov (napr. gutensteinské vápence) či dolomitov (napr. ramsauský dolomit). V jure a kriede sa sedimentárny bazén prehlboval a usadzovali sa v ňom hlbokovodné sedimenty. V celých Tatrách takmer úplne chýbajú sedimenty vrchnej kriedy až spodného eocénu, čo môže byť dôsledkom mohutného výzdvihu, obnaženia a čiastočnej erózie paleoalpínskej stavby. Kompresný tektonický režim vo vrchnej kriede postupne v eocéne vystriedal extenzný režim, čoho prejavom bola celková subsidencia oblasti a vytvorenie vnútrokarpatskej paleogénnej sedimentačnej panvy. Počas transgresívnej sedimentácie členov podtatranskej skupiny v strednom a vrchnom eocéne sa na dovtedy erodovaný povrch začali ukladať bazálne litofácie. Stredno- až vrchnoeocénne bazálne paleogénne sedimenty (borovské súvrstvie) reprezentujú karbonátové zlepence, brekcie (obr. 26), pieskovce a vápence s veľkými foraminiferami. Koncom eocénu karbonátová platforma veľmi rýchlo poklesla, čo spôsobilo sedimentáciu hlbokovodných flyšových sedimentov (najmä ílovce).Tatry sa od vrchného oligocénu až spodného neogé-

nu začali znovu dvíhať. Počas formovania asymetrickej hraste Tatier vznikli významné zlomy, akými sú V - Z orientované podtatranský a severotatranský zlom, ako aj viaceré SV - JZ zlomy. Počas pleistocénneho zaľadnenia sa oblasť Tatier stala horstvom s alpskou charakteristikou zarezávania a tvorby chrbtov a dolín. V oblasti okolo Brestovskej jaskyne došlo k úplnému oderodovaniu členov paleogénnej hlbokovodnej sedimentácie. Erózny zrez sa skončil najvyššie na karbonátoch borovského súvrstvia. V nich a v podložných karbonátových súvrstviach (prevažne ramsauských dolomitoch hronika) je vytvorená prevažná väčšina krasových javov v skúmanej oblasti. Niekoľko superponovaných veľkých tektonických jednotiek obsahujúcich karbonátové členy a hojne porušených zlomami tu vytvára vhodné geologické podmienky na vznik podzemných krasových foriem.

Vody Roháčskeho (Studeného) potoka, pritekajúce z kryštalinického jadra Západných Tatier, pretínajú v priestore lokality Brestová obalovú sekvenciu tatrického fundamentu, vápencovo-dolomitické súvrstvie chočského príkrovu, ako aj nadložné paleogénne karbonáty borovského súvrstvia. Priaznivý chemizmus vôd a ich erózna sila zvýraznená transportovaným alochtónnym materiálom spôsobili silné skrasovatenie a erózny vznik výrazných podzemných priestorov. Takto vznikli výrazné krasové javy, akými sú Brestovská jaskyňa, ponory Roháčskeho potoka, potokov Múčnica a Volariská, sady závrtov či Brestovská vyvieračka.

Brestovská jaskyňa vytvorená ponornými tokmi Roháčskeho potoka, Múčnice, Volarísk a fosílnych prítokov z masívu Madajky predstavuje strednú časť jaskynného systému z oboch strán po vodnom toku ohraničenú sifónmi. Jaskyňa sa nachádza v horninách chočského príkrovu hronika a nadložnej podtatranskej skupiny. V jej blízkosti vystupujú aj členy obalovej jednotky tatrického jadra, krížňanského príkrovu fatrika, ako aj samotný tatrický kryštalinický fundament. Vytvorila sa na systéme tektonických porúch prevažne V - Z, SV - JZ, SZ - JV a SSZ - JJV smeru v prostredí ramsauských dolomitov s roztrúsenými polohami tmavosivých vápencov gutensteinského typu. Nadložie týchto hornín tvoria karbonátické zlepence borovského súvrstvia, ktoré sú odkryté na viacerých miestach, ukážkovo najmä v strednom úseku jaskyne v stropných častiach chodieb. Priestorová litologicko-tektonická schéma jaskynných priestorov naznačuje existenciu rozsiahleho pokračovania jaskyne smerom do masívu Madajky.

Rozsiahle podzemné priestory, prítomnosť vodného toku a existencia ukážkových príkladov z hľadiska genézy krasu a jaskýň, akými sú poloha blízko hranice krasu s kryštalinikom, výskyt nekrasových štrkov, sintrová výzdoba a iné, robia z tejto jaskyne významnú náučnú lokalitu. V jaskyni je vo veľkom rozsahu odokryté ostré transgresívne rozhranie medzi triasovými dolomitmi a karbonátickými klastickými horninami borovského súvrstvia, kde paleogénne horniny nasadajú na erózne zrezaný povrch. Odkryvy kontaktu ukážkovo dokumentujú litologickú a tektonickú podmienenosť vzniku jaskyne.

LITERATÚRA

Hercman, H. - Gradziński, M. - Bella, P. 2008. Evolution of Brestovská Cave based on U-series dating of speleothems. Geochronometria (in press).

Hochmuth, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, Liptovský Mikuláš, 22, 151-156.

Hochmuth, Z. 2000. Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku. Slovenská speleologická spoločnosť a Katedra geografie PF UPJŠ, Košice, 1-164.

Miall, A. D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, 1-582.

Nemčok, J. - Bezák, V. - Janák, M. - Kahan, Š. - Ryka, W. - Kohút, M. - Lehotský, I. - Wieczorek, J. - Zelman, J. - Mello, J. - Halouzka, R. - Raczkowski, W. - Reichwalder, P. 1993. Vysvetlivky ku geologickej mape Tatier. GÚDŠ, Bratislava, 1-135.

Nemčok, J. - Bezák, V. - Biely, A. - Gorek, A. - Gross, P. - Halouzka, R. - Janák, M. - Kahan, Š. - Konański, Z. - Lefeld, J. - Mello, J. - Reichwalder, P. - Raczkowski, W. - Roniewicz, P. - Ryka, W. - Wieczorek, J. - Zelman J., 1994. Geologická mapa Tatier. 1:50 000, GÚDŠ, Bratislava.

Peško, M. 2004. Nález aragonitu v Brestovskej jaskyni. Aragonit, Liptovský Mikuláš, 9, 44.

GEOLOGY OF BRESTOVSKÁ CAVE

Summary

The Tatra Mts. represent a relatively highly elevated block, almost completely lined by overlying sediments of the Palaeogene of Podtatranská skupina Group. Southern and central parts of this block are formed by outcropping crystalline rocks of the Palaeozoic basement. Western, northern and west-eastern parts are covered by the Mesozoic sedimentary rocks. The inner structure of the Tatra region has been implied from the study of the distinct strike-slip fault and thrust systems, and the lithostratigraphic analysis. The most complicated appears the lowest tectonic unit - Tatric Unit, consisting of Palaeozoic crystalline basement and Permian-Mesozoic sedimentary cover sequences. In Triassic the shallow-marine carbonates were sedimented - sandstones and conglomerates (e. g. Lúžna Formation), limestones (e. g. Gutenstein beds) or dolomites (e. g. Ramsau dolomites). In Jurassic and Cretaceous was the sedimentary basin deepened and the deep-marine sediments were created. The sediments of Upper Cretaceous to Lower Eocene are missing in whole Tatras. It is supposed, that a huge uplift, uncovering and partial erosion of Palaeo-Alpinian structure became. The Upper Cretaceous compression tectonic regime was changed in Eocene by extension regime. This caused the subsidence of the whole area and origin of Central Carpathian Palaeogene fore-arc basin. In the Middle and Upper Eocene the transgressive sedimentation of basal sediments of Podtatranská skupina Group (Borová Formation) on eroded surface began. Basal Palaeogene sediments represent the carbonate conglomerates, breccias, sandstones and limestones with foraminifers. At the end of Eocene, the carbonate platform rapidly hung down and the Upper Eocene - Oligocene interval was characterized by deep-marine sedimentation. In deep-marine basin the flysh sediments of Huty Formation (mostly claystones) were created. The last uplift of Tatra region started in Upper Oligocene to Lower Neogene. A mega-structure of asymmetric horst with important faults was created: E - W oriented Podtatranský and Severotatranský faults (bordered the Tatra Mts. from the south and north) and NE - SW oriented faults. During the Pleistocene polyphasic glaciations, the Tatra region became the mountains with Alpine characteristics. In the area of Brestovská Cave surroundings, the Palaeogene deep-marine sedimentary rocks were completely eroded. Erosion cutting stopped on the Borové Formation carbonates. Predominant part of karstic phenomena in studied area was created in these rocks and in underlying carbonate formations (mostly the Ramsau dolomites). Several superposed megatectonic units contain carbonate rocks and are broken with faults in profusion forms very advantageous conditions for the origin of endokarst phenomena.

In Studený potok Karst, the Studený (Roháčsky) potok Stream, forming itself in the area of crystalline basement core of Western Tatra Mts., transects a complicated lithotectonic structures in the locality Brestová near Zuberec Village. They consist from cover sequence of Tatric Unit, but mainly from dolomitic-limestone formations of Choč Nappe, as well as the Palaeogene carbonates of Borové Formation. The advantageous chemistry of waters and their erosion force emphasized by the force of transported non-karstic material caused the strong karstification and erosion formation of considerable underground space also in predominantly dolomitic carbonate rocks (which are usually poor for karstification). Many karstic phenomena are known here - the ponors of Studený (Roháčsky), Volariská and Múčnica brooks and the Brestovská Resurgence on the border of karstic area, the sinkholes series and Brestovská Cave in the middle of this area.

The Brestovská Cave was created by in-flowing waters of three ponor-brooks (see above) and the fossil water streams from the Madajka massif. It represents the middle part of the cave system, from both parts in the active water stream directions limited by siphons. The cave was created in the carbonate rocks of Hronic Unit (Choč Nappe) and Podtatranská skupina Group. The rocks of Tatric sedimentary cover sequence, Fatric Unit (Krížna Nappe), as well as the Tatric crystalline basement also occurred in its surroundings. The origin of the cave was underlined by the structure of tectonic

faults and fissures mostly of E - W, NE - SW, NW - SE and NNW - SSE directions. The cave space was formed in Ramsau dolomites with straggling insertions of dark-grey limestones of Gutenstein type. The overlying formation represents carbonate dolomitic/limestone conglomerates of Borová Formation, which built the cave corridors ceilings. The spatial litho-tectonic scheme of the cave points out to the existence of large continuous parts of cave in the direction to Madajka massif, yet unknown.

The dripstone decoration or various types of calcite speleothems as the specific kinds of cave deposits are very rare in the cave. Two main categories of clastic deposits are present in the cave: predominantly autochthonous, gravitational breakdown deposits and mainly allochthonous fluvial sediments. Breakdown deposits comprise chaotic, angular unsorted clasts deposited in situ. Fluvial sediments are represented by gravel, sand and fine-grained lithofacies. Gravel is composed mainly of granitic rocks and occasionally cherts weathered out of limestone. Gravel deposits form point bars, mid-channel bars, lag deposits and gravel ribs. Sand is deposited in flooded parts (sumps) and in inactive upper storey of cave. Laminated flood deposits cover gravel and sand as mud drapes or form several meters thick accumulations. Relics of cemented gravel sediments are present in the upper parts of passages, suggesting on periods of total or partial sediment infilling.

Extensive underground space, water stream occurrence and existence of representative examples from the opinion of karst and caves genesis (the position close to the border between karst and crystalline area, presence of non-karstic pebbles, dripstone and aragonite decoration etc.) makes this cave a very important educational locality. The cave uncovers a good range of sharp transgressive boundary between Triassic dolomites/limestones and carbonatic clastic rocks of Borové Formation, where the Palaeogene rocks are located on erosion-undercut surface. The outcrops of the lithological contact zone in the cave documents the lithological and tectonical preconditions of karst and cave genesis.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	25 - 54	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

GEOMORFOLOGICKÉ POMERY BRESTOVSKEJ JASKYNE

PAVEL BELLA

ŠOP SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; bella@ssj.sk
Katedra geografie, Pedagogická fakulta KU, Námestie Andreja Hlinku 56/1,
034 01 Ružomberok

P. Bella: Geomorphological settings of Brestovská Cave

Abstract: The Brestovská Cave with several adjacent surface karst landforms belongs to the most important geomorphological karst localities in the Western Tatra Mts. This cave presents a remarkable natural phenomenon of underground karst drainage within allogenic belt of middle-mountain karst situated transversely through the mouth of Studený Stream Valley. The hydrographical development of the cave and adjacent inflow ponor branches was conditioned by hydraulic gradients among several ponors of allochtonous streams in the main valley and also its smaller side valleys and the karst resurgence at the foot of Western Tatra Mts. in the Podtatranská Furrow. Various corrosion and corrosion-erosion rock forms are featured by mainly phreatic and epiphreatic, partially also by vadose cave morphology. The genesis of the cave is controlled by lithological and structural-tectonic conditions, mainly in its uppert part. The longitudinal profile of passages shows a more-phased development of the cave in relation to the Lower Pleistocene phases of downcutting the Studený Stream Valley and the accumulation of large glacifluvial cone at the contact of Western Tatra Mts. and the upper edge of Podtatranská Furrow. Geomorphological and hydrographical conditions of cave development are analysed and explained on the basis of a comprehensive study of cave morphology (passages and halls; smaller denudation corrosion and corrosion-erosion forms, erosion-accumulation forms and accumulation forms; longitudinal profile and pattern of ground plan). Both the reconstruction of main developmental phases and the development of the cave in relation to the development of adjacent part of Studený Stream Valley result from a detailed geomorphological analysis and U-series dating of carbonate speleothems (Hercman et al., 2008).

Key words: physical speleology, allogenic karst, cave morphology, phreatic and epiphreatic forms, speleogenesis, Brestovská Cave, Western Tatra Mts., Western Carpathians Mts., Slovakia

ÚVOD

Brestovská jaskyňa spolu s viacerými povrchovými i ďalšími podzemnými krasovými javmi v jej okolí patrí medzi najpozoruhodnejšie geomorfologické krasové lokality v Západných Tatrách. Je nielen najdlhšou jaskyňou v tejto tatranskej oblasti, ale predstavuje aj významnú lokalitu podzemnej krasovej drenáže v ponornom alogénnom stredohorskom krase, ktorý vystupuje v priečnej pozícii voči jv. - sz. smeru prelomovej riečnej doliny Studeného potoka východne od Zuberca.

Na rozdiel od iných významných území ponorného alogénneho krasu v Západných Karpatoch (napr. Demänovská a Jánska dolina v Demänovských vrchoch na severnej strane Nízkych Tatier alebo Bystriansko-valaštiansky kras v Bystrianskom podhorí Horehronské-

ho podolia) Brestovská jaskyňa s výskytom viacerých vodných sifónov sa vytvorila v menej širokom páse, avšak tektonicky silne porušených karbonátových hornín. Túto pruhovitú štruktúru karbonátov z hornej strany ohraničujú horniny kryštalinika, z dolnej strany od Podtatranskej brázdy horniny borovského súvrstvia centrálnokarpatského paleogénu.

Hydrografický vývoj jaskyne i priľahlých ponorných prítokových vetví nadväzoval na výškové rozdiely - hydraulické gradienty medzi ponormi alochtónnych vôd v hlavnej doline i bočných svahových dolinkách a ich vývermi na povrch na styku Západných Tatier a Podtatranskej brázdy. Výrazné korózne a korózno-erózne tvary jaskynného georeliéfu sú výsledkom intenzívnej freatickej a epifreatickej, čiastočne aj vadóznej modelácie usmernenej štruktúrno-tektonickými i litologickými pomermi. Pozdĺžny profil podzemných priestorov svedčí o viacfázovom vývoji jaskyne v závislosti od mladopleistocénnych fáz zahlbovania doliny Studeného potoka kombinovaného s akumuláciou glacifluviálneho kužeľa na hornom okraji Podtatranskej brázdy.

PREHĽAD DOTERAJŠÍCH GEOMORFOLOGICKÝCH VÝSKUMOV

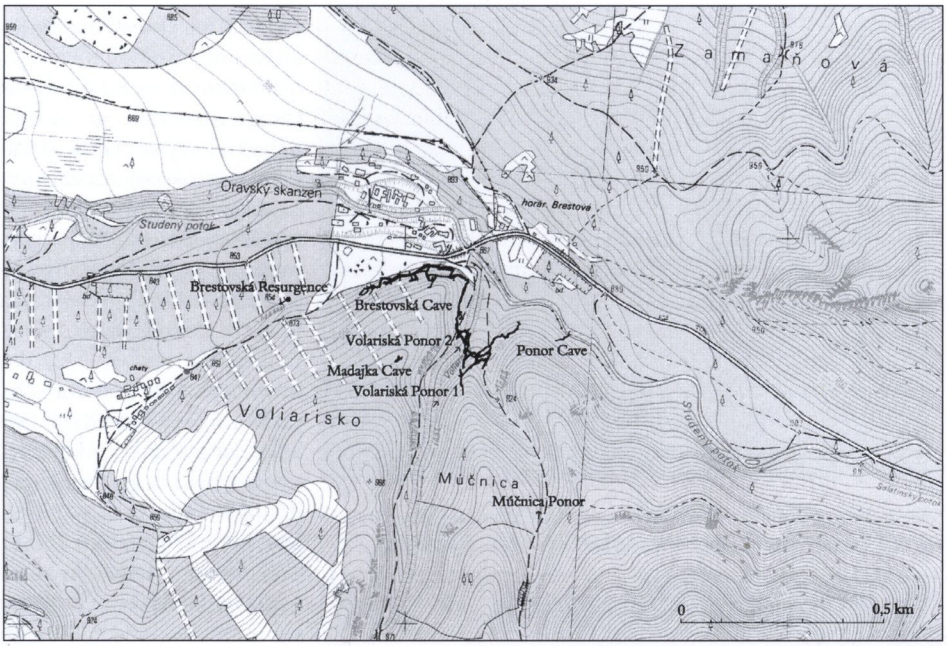
Prvotné stručné opisy morfológie a genézy Brestovskej jaskyne, ako aj okolitých ponorov súvisia s prezentáciou výsledkov a perspektív ďalšieho speleologického prieskumu v tejto atraktívnej časti Oravy (Brodňanský, 1958, 1959, 1975). V rámci problematiky geomorfologického vývoja krasových území Tatier a ostatných častí Západných Karpát sa morfológiou a genézou Brestovskej jaskyne stručne zaoberá Wójcik (1968). Detailnejšiu a obsahom úplnejšiu geomorfologickú charakteristiku jaskyne podáva Droppa (1972), ktorý sa zaoberá aj problematikou jej postupného vývoja, vrátane súvislostí s vytváraním niektorých povrchových tvarov terénu v okolí jaskyne. Uvádza i opis povrchových krasových javov a ponorov v okolitom území, ktoré nazýva krasom Studeného potoka. Geomorfologickú charakteristiku podzemných priestorov Brestovskej jaskyne, ktoré objavili speleopotápači v roku 1979 za prítokovým sifónom, po ich náročnom zameraní spracoval Hochmuth (1984).

Vo vzťahu ku komplexnejšej prezentácii prírodných hodnôt Brestovskej jaskyne ako národnej prírodnej pamiatky, ako aj k jej uvažovanému sprístupneniu doplňujúci geomorfologický výskum jaskyne vykonala Správa slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši v rokoch 2007 a 2008. S cieľom rekonštruovať geochronológiu vývojových fáz jaskyne sa v spolupráci s Geologickým ústavom Poľskej akadémie vied vo Varšave (Dr. hab. H. Hercman) a Geologickým ústavom Jagiellonskej univerzity v Krakove (Dr. M. Gradziński) vykonalo rádioizotopové datovanie vzoriek sintrových nátekov (Hercman et al., 2008).

Obr. 1. Vchod do Brestovskej jaskyne. Foto: P. Bella
Fig. 1. The entrance of Brestovská Cave. Photo: P. Bella

ZÁKLADNÉ ÚDAJE

Brestovská jaskyňa (obr. 1) predstavuje prietokovú fluviokrasovú jaskyňu, ktorá je súčasťou podzemného hydrologického systému medzi Brestovskou vyvieračkou



Obr. 2. Priemet pôdorysu Brestovskej jaskyne na povrch a krasové javy v jej okolí. Spracoval P. Gažík na základe meračských podkladov od Brodňanského (1958) a Hochmutha (1984, 2000)
Fig. 2. Projection of the ground plan of Brestovská Cave on the land surface and karst phenomena in its surroundings. Compiled by P. Gažík on the basis of surveyed documentation of Brodňanský (1958) and Hochmuth (1984, 2000)

Obr. 3. Ponorová jaskyňa na ľavom brehu Studeného potoka. Foto: P. Bella
Fig. 3. The Ponor Cave on the left bank of Studený Stream. Photo: P. Bella

(vyvieračkou Števkovského potoka) a ponormi alochtónnych vôd Studeného potoka a jeho prítokov z bočných doliniek (obr. 2). Z geologického hľadiska priestorový rozsah tohto systému limitujú rozmery pruhovitého výstupu karbonátových hornín na povrch, priestorovú štruktúru určuje početnosť a usporiadanie tektonických porúch a iných štruktúrno-tektonických diskontinuít (výrazné pukliny, kontaktné litologické rozhrania hornín rozdielnych vlastností voči krasovateniu, medzivrstvové plochy). Z hydrografického hľadiska formovanie podzemného hydrologického systému podmieňujú hydraulické gradienty medzi ponormi alochtónnych vôd v doline Studeného potoka (886 m n. m., obr. 3) a bočných dolinkách Volariská (asi 925 m, resp. 910 m n. m., obr. 4), pravdepodobne aj Múčnica (976 m n. m.) a výverom ponorných vôd na povrch Brestovskou vyvieračkou (851 m n. m.,

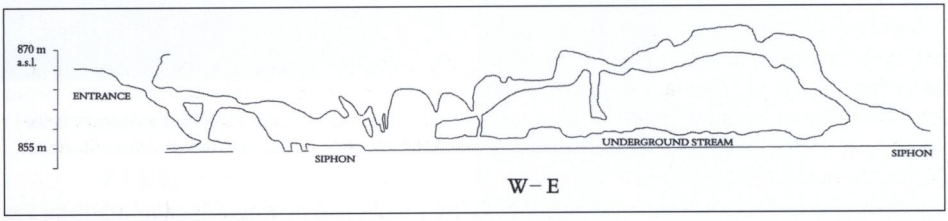
Obr. 4. Ponor v bočnej dolinke Volariská. Foto: P. Bella
Fig. 4. The ponor in the side valley of Volariská. Photo: P. Bella

Obr. 5. Brestovská vyvieračka (vyvieračka Števkovského potoka).
Foto: P. Bella
Fig. 5. Brestovská Resurgence (the resurgence of Števkovský Brook).
Photo: P. Bella

obr. 5) na severozápadnom úpätí Západných Tatier.

Podzemné priestory Brestovskej jaskyne sú známe najmä vo vývervovej a strednej, prietokovej časti uvedeného hydrologického systému. Zatiaľ sa preskúmali v celkovej dĺžke 1890 m s prevýšením 30 m a siahajú juhovýchodným smerom až pod dolnú časť bočnej dolinky Volariská (Hochmuth, 2000). Dĺžka tzv. Starej jaskyne, ktorá okrem Jazernej chodby zahŕňa voľne dostupné podzemné priestory po spomenutý prítokový sifón prekonaný speleopotápačmi, je asi 445 m. Za týmto sifónom nasledujú rozsiahle, vodou nezaplavené časti jaskyne predelené troma kratšími sifónmi, ktoré však obchádzajú nezaplavené chodby. Jaskyňa sa v smere proti prítoku vôd končí zatiaľ neprekonaným 5. prítokovým sifónom. Dĺžka týchto častí v juhovýchodnom sektore jaskyne je asi 900 m (Hochmuth, 2000).

Z hľadiska vertikálnej členitosti sa v jaskyni rozlišujú dve poschodia (obr. 6). Spodné poschodie predstavuje chodba s aktívnym podzemným vodným tokom



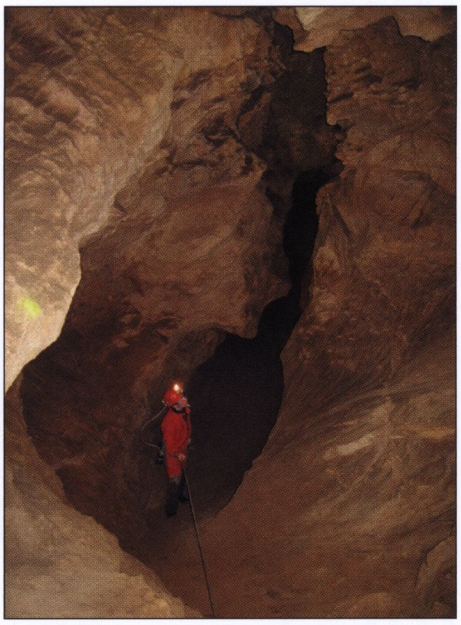
Obr. 6. Schematický pozdĺžny rez horným a spodným poschodím Brestovskej jaskyne podľa nákresu Uhereka (1989) a meračskej dokumentácie Sýkoru (1984)
Fig. 6. Schematic longitudinal profile of the upper anf lower storey of Brestovská Cave according to the layout of Uherek (1989) and surveyed documentation of Sýkora (1984)

(Brodňanského riečisko - obr. 7, Jazerná chodba, spodná časť Zubereckej chodby), horné poschodie úseky vyššie ležiacich inaktívnych chodieb s viac-menej nevyrovnaným pozdĺžnym profilom (Kopečného chodba - obr. 8, ďalšie chodby v okolí Bivakovej a Jazierkovej siene, horná časť Zubereckej chodby), ktoré sa vytvorili asi 5 až 10 m nad terajším riečiskom na spodnom poschodí (Droppa, 1972; Hochmuth, 2000). Horné poschodie medzi Kopečného chodbou a hornou časťou Zubereckej chodby v priestore Gotickej brány predeľuje chodba nižšie zahĺbeného spodného poschodia - Brodňanského riečiska. V juhovýchodnom sektore jaskyne, ktorý je prístupný iba speleotápačom, sa nezaplavené chodby vyskytujú vo výške iba 2 až 4 m nad súčasným riečiskom (Hochmuth, 1984).

Obr. 7. Brodňanského riečisko na spodnom poschodí jaskyne. Foto: P. Bella
Fig. 7. The Brodňanského Riverbed in the lower cave storey. Photo: P. Bella

MORFOLÓGIA PODZEMNÝCH PRIESTOROV

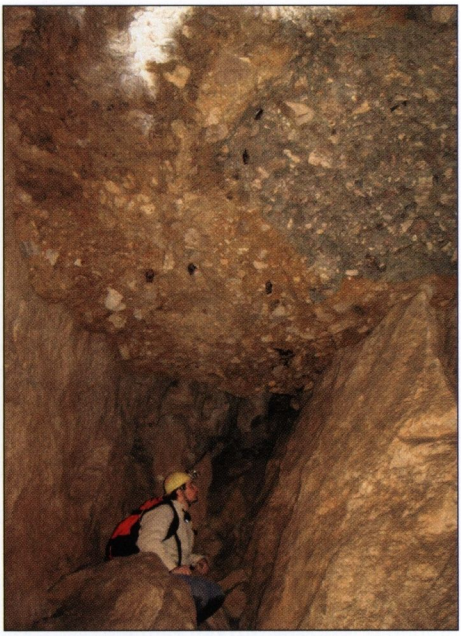
Brestovská jaskyňa predstavuje vertikálno-horizontálnu, viacnásobnú rozvetvenú jaskyňu (v zmysle klasifikácií vertikálnej a horizontálnej členitosti jaskýň - White, 1988; Bella, 1985, 1995a). Pozostáva najmä z lomených úsekov chodieb, ktoré sa miestami spájajú i rozvetvujú. Ich smer predurčujú tektonické poruchy, v severnej časti jaskyne na viacerých miestach i litologické rozhranie hornín s rozdielnymi vlastnosťami na krasovatenie (obr. 9). V juhovýchodnom sektore jaskyne sa spájajú prítokové vetvy vedúce z dolinky Volariská a z hlavnej doliny Studeného potoka. Najmä hlavnú odtokovú chodbu vedúcu na sever pod západný okraj ústia dolinky Volariská (pozri mapu Hochmutha, 2000) predurčuje tektonická porucha s. - j. smeru. V severnej časti jaskyne dominuje v. - z. smer chodieb (od ústia dolinky Volariská smerom na západ až k Brestovskej vyvieračke). Keďže v severnej časti jaskyne sa miestami prejavujú aj tektonické poruchy s. - j. smeru, navzájom poprepájané chodby v úseku medzi Gotickou bránou a prítokovým sifó-



Obr. 8. Okraj Kopečného chodby pri Bivakovej sieni na hornom poschodí jaskyne. Foto: P. Bella
Fig. 8. The edge of Kopečného Passage at the Bivaková Hall in the upper cave storey. Photo: P. Bella

nom v Sieni potápačov pripomínajú sieťový labyrint podmienený križujúcimi sa tektonickými poruchami a v nadloží ohraničený litologickým rozhraním triasových karbonátov s paleogénnym borovským súvrstvím.

Nevyrovnaný pozdĺžny profil jaskyne s výskytom viacerých vodných sifónov podmieňuje vzájomné priestorové usporiadanie diskontinuít štruktúrno-tektonického skeletu (tektonických porúch, medzivrstvových plôch i litologických rozhraní), ktoré iniciovali a usmerňujú vývoj podzemnej hydrologickej drenáže medzi miestami prenikania vody do podzemia a jej vývermi na povrch s tendenciou dominantného zväčšovania a zrýchľovania odtoku vody hlavným odvodňovacím kanálom. Na viacerých miestach jaskyne sú chodby v dvoch rozdielnych výškových polohách (obr. 6), čo zodpovedá ich modelácii v rozdielnych obdobiach, resp. fázach v závislosti od výškovej polohy výveru podzemných vôd na povrch. V staršej vývojovej fáze podzemný vodný tok vystupoval na povrch v priestore terajšieho vchodu do jaskyne alebo v jeho blízkosti, v mladšej vývojovej fáze Brestovskou vyvieračkou. V úseku medzi Gotickou bránou a vchodom do jaskyne sú nad sebou zoradené, resp. sa križujú staršia horná „suchá" chodba s mladšou spodnou chodbou s aktívnym vodným tokom. Tieto morfostratigrafické znaky svedčia o viacnásobnej pozícii jaskynných chodieb, ale aj o časovej následnosti vývoja vyšších a spodných chodieb jaskyne.



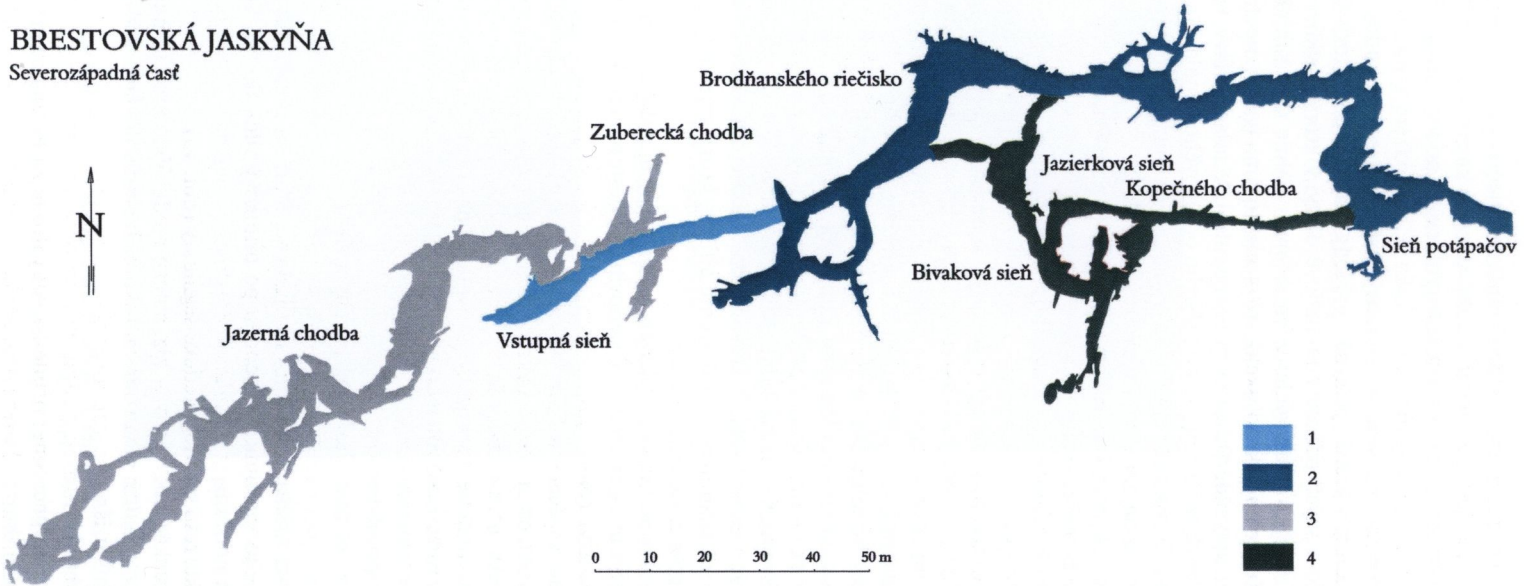
Obr. 9. Litologické rozhranie triasových karbonátov a nadložného paleogénneho borovského súvrstvia na hornom poschodí jaskyne. Foto: P. Bella
Fig. 9. Lithological contact of Triassic carbonates and overlying Palaeogene Borovské Formations in the upper cave storey. Photo: P. Bella

Morfológia chodieb v spodnej časti a vyšších častiach jaskyne je čiastočne rozdielna. Tomu viac-menej zodpovedá aj výskyt niektorých menších až drobných tvarov jaskynného georeliéfu s odlišnými morfogenetickými znakmi, ako aj ich početnosť v týchto morfogeneticky sčasti odlišných segmentoch jaskyne. Na nerovnaké hydrografické podmienky vo vyšších a spodných častiach jaskyne v určitých fázach vývoja jaskyne poukazuje aj výskyt odlišných alochtónnych fluviálnych sedimentov.

Jaskynné chodby a siene

V rámci podzemných priestorov Brestovskej jaskyne, ktoré sa skúmali počas doplňujúceho geomorfologického výskumu (od vchodu po prítokový sifón do tzv. Starej jaskyne, ako aj odtoková Jazerná chodba smerujúca k Brestovskej vyvieračke), možno rozlíšiť štyri základné morfologické, resp. morfogenetické segmenty (obr. 10):

1. Lineárna Zuberecká chodba vsv. - zjz. smeru medzi Vstupnou sieňou a priečnou chodbou sv. - jz. smeru s aktívnym vodným tokom. Jej morfológia je výsledkom dvoch hlavných vývojových fáz jaskyne zodpovedajúcich vyššej a nižšej pozícii odtoku podzemných vôd na povrch. Hornou časťou chodby odtekali vody z jaskyne priestorom terajšieho vchodu do jaskyne. Smer prúdenia vody dosvedčujú lastúrovité jamky (angl. *scallops*), ktoré sú miestami vyhĺbené v skalných stenách v hornej časti Zubereckej



Obr. 10. Základné morfogenetické segmenty Brestovskej jaskyne: 1 – Zuberecká chodba s dvojfázovým vývojom horného i spodného poschodia, 2 – Brodňanského riečisko spodného poschodia, 3 – Jazerná chodba spodného poschodia, 4 – horné poschodie Kopečného chodby s priľahlými chodbami a sieňami

Fig. 10. The basic morphogenetic segments of Brestovská Cave: 1 – Zuberecká Passage in two-phased develepment of the upper and lower storeys, 2 – Brodňanského Riverbed of the lower storey, 3 – Jazerná Passage of the lower storey, 4 – the upper storey of Kopečného Passage with adjacent passages and halls

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva
031 01 Liptovský Mikuláš

chodby medzi jej zníženou časťou od Brodňanského riečiska a Vstupnou sieňou. Na freatickú fázu vývoja chodby poukazujú mnohé stropné kapsy predisponované zvislými tektonickými poruchami, ako aj pozdĺžna vyhĺbenina podoby stropného koryta vo Vstupnej sieni.

Po zahĺbení Vstupnej siene a severovýchodnej časti Zubereckej chodby z pôvodného pozdĺžneho profilu chodby zostal výrazný vyvýšený úsek, popod ktorý vedie súčasné sifonálne riečisko. Toto sčasti odhaľujú podlahové diery, v ktorých vidieť voľnú hladinu vody. Od týchto dier sa severovýchodným smerom tiahne viac zahĺbený a takmer horizontálny úsek Zubereckej chodby, takisto s niektorými tvarmi riečnej modelácie a podlahou tvorenou prevažne fluviálnymi sedimentmi. V mladšej fáze vývoja chodby vody sifonálne prenikali týmito dierami do nižšieho odtokového kanála. Na opačnej strane vyvýšeného úseku Zubereckej chodby je výrazne tektonicky podmienená Vstupná sieň, remodelovaná rútením a mrazovým zvetrávaním.

2. Lomená, mierne sklonená chodba v spodnej časti jaskyne so súčasným riečiskom vodného toku (Brodňanského riečisko, obr. 7), ktorá medzi Sieňou potápačov a severovýchodným okrajom Zubereckej chodby viackrát mení smer v závislosti od tektonických porúch (vsv. - zjz., ssv. - jjz., v. - z., sv. - jz., ako aj s. - j. smer). V miestach lomených zmien smeru chodby sa na nárazových brehoch riečiska vytvárajú meandrovité ohyby. V miestach križovania sa tektonických porúch pri Gotickej bráne a za prítokovým sifónom sa vytvorili sieňovité priestory. Z riečiska pokrytého alochtónnymi fluviálnymi sedimentmi, najmä štrkom a pieskom, miestami vyčnievajú nezdenudované výčnelky skalného podložia (v sieňovitom priestore Gotickej brány a v priečnej puklinovej chodbe pred Zubereckou chodbou). Miestami sú sčasti pokryté mohutnými skalnými blokmi zrútenými do riečiska. Južne od Gotickej brány z riečiska vybieha bočná visutá lomená prepojovacia chodba (Blatistá chodba) s množstvom jemných povodňových fluviálnych sedimentov. Táto chodba ústi do chodby súčasného riečiska oproti odtokovému sifónu, ktorý smeruje pod Zubereckú chodbu a ďalej smerom k Jazernej chodbe.

Podzemný vodný tok v úseku od prítokového sifónu v Sieni potápačov po Gotickú bránu má čiastočne meandrujúci charakter. V sieňovitom priestore Gotickej brány nadobúda väčší sklon riečiska so zrýchlením toku vody smerom k odtokovému sifónu s jazerom, čo sa v tomto úseku riečiska prejavuje sedimentárnymi znakmi divočiaceho vodného toku. Kolísanie prietokov vody s meniacimi sa prúdnicami spôsobuje zmeny tvarov nánosov riečnych sedimentov v riečisku.

3. Lomená subhorizontálna Jazerná chodba sv. - jz. smeru, do ktorej odteká podzemný vodný tok zo spodnej časti Vstupnej siene. Tiahne sa popod líniu závrtov smerujúcu k Brestovskej vyvieračke. Zníženú spodnú časť chodby od Vstupnej siene vypĺňa prietokové jazero (obr. 11), ktoré

Obr. 11. Podzemné jazero medzi Vstupnou sieňou a Jazernou chodbou. Foto: P. Bella

Fig. 11. Underground lake between the Vstupná Hall and the Jazerná Passage. Photo: P. Bella

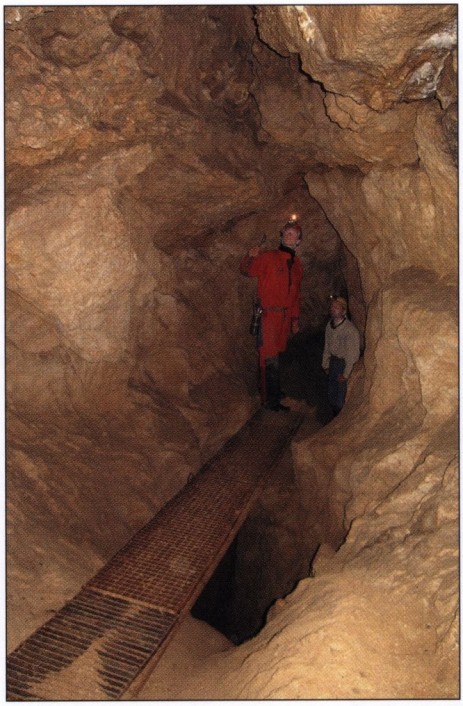
sa končí priečnym skalným prahom. Jeho prerezávaním sa vytvorila riečna kaskáda, pod ktorou je ďalší úsek pomalého vodného toku charakteru prietokového jazera. Na nasledujúcom takmer horizontálnom úseku riečisko i jeho okraje pokrýva množstvo alochtónneho štrku a piesku. V ich nadloží sú miestami hrubé nánosy povodňových jemných sedimentov. Po zalomeniach hlavnej chodby pozdĺž smeru tektonických porúch sa chodba zužuje a končí odtokovým sifónom. Najmä v koncovej časti chodby sú viaceré bočné nízke a úzke chodby.

Na viacerých miestach chodby vidieť komíny, ktoré tvoria spojnice so závrtmi. Jedným zo závrtov sa do podzemia na západnom okraji prietokového jazera, vedúceho zo Vstupnej siene, zrútilo či zosunulo množstvo pomerne veľkých žulových balvanov (obr. 12). Tým sa tu vytvoril mohutný akumulačný kužeľ. Najväčšie zaoblené balvany sú zaseknuté v stropnom komíne nad hornou časťou kužeľa. Pri spomenutej riečnej kaskáde sa na opačnej strane vodného toku vytvoril ďalší akumulačný kužeľ, ktorý má strmší povrch a neobsahuje žulové okruhliaky. Prevažne je tvorený ostrohranným, čiastočne spevneným sutinovým materiálom z karbonátových hornín.

Obr. 12. Akumulačný kužeľ granitových okruhliakov pod závrtom. Foto: V. Michalec
Fig. 12. Acummulation fan of granit boulders below a doline. Photo: V. Michalec

Obr. 13. Stropné oválne komínovité vyhĺbeniny v Bivakovej sieni. Foto: P. Bella
Fig. 13. Ceiling oval chimney-like hollows in the Bivaková Hall. Photo: P. Bella

4. Sústava rozvetvených a navzájom miestami prepojených chodieb medzi Sieňou potápačov a Gotickou bránou, ktoré sa nachádzajú v pozícii o niekoľko metrov vyššie ako spodná lomená chodba súčasného riečiska. Tieto visuté chodby (Kopečného chodba a priľahlé chodby sv. - jz. a jv. - sz. smeru) majú nevyrovnaný pozdĺžny profil (obr. 6 a 8) s mnohými zväčša nepravidelnými stropnými i podlahovými vyhĺbeninami (obr. 13). Na západnom okraji Kopečného chodby je puklinová priepasť hlboká asi 7 m (obr. 14). Oválne priepasťovité diery a úžiny patria medzi výrazné morfologické tvary vyšších častí jaskyne. Vytvorili sa pozdĺž hlavných tektonických porúch, zväčša v miestach ich križovania, koróznou modeláciou vo freatických podmienkach. Sutinová kopa v strednej časti Kopečného



Obr. 14. Premostenie priepasti v Kopečného chodbe. Foto: P. Bella
Fig. 14. Bench-like bridge through the shaft in the Kopečného Passage. Photo: P. Bella

chodby vznikla zrútením vypreparovaných skalných stĺpov a odvaľovaním skalných blokov z bočnej steny, pretože na strope chodby sú korózne vyhĺbeniny vymodelované na pozdĺžnych a strmých tektonických poruchách.

V pôdoryse má väčšina týchto chodieb priamy, lineárny tvar, výrazne podmienený smerom tektonických porúch (Kopečného chodba a priľahlá lineárna chodba sv. - jz. smeru). V strednej časti tejto sústavy chodieb je Bivaková sieň, do ktorej ústia chodby z troch strán. Klesajúca chodba medzi Bivakovou sieňou a Gotickou bránou sa zväčšuje a vidlicovito vetví v Jazierkovej sieni. Jej dolné okraje sú vo visutej polohe nad súčasným riečiskom. V tejto klesajúcej vetve sa uložili jemné povodňové sedimenty s mocnosťou viac ako 1 m.

Drobné tvary jaskynného georeliéfu

V jaskynných chodbách a sieňach sa vytvorili viaceré drobné tvary jaskynného georeliéfu, ktoré umožňujú rekonštruovať morfogenetické procesy, v niektorých prípadoch aj morfostratigrafické znaky postupnosti vývoja geomorfologických tvarov.

1. Denudačné korózne a korózno-erózne formy

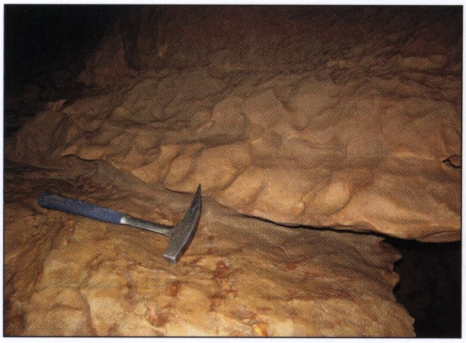
1.1. Vyhĺbené skalné tvary

1.1.1. Vyhĺbené jamkovité a sférické skalné tvary

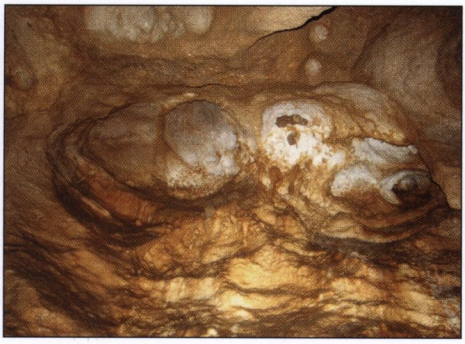
Lastúrovité jamky. Hoci Brestovská jaskyňa z hľadiska genézy patrí medzi fluviokrasové jaskyne, lastúrovité jamky sa pozorujú viac-menej iba ojedinele v miestach lepšie rozpustných karbonátov, najmä na sintrových kôrach vytvorených stekaním presakujúcich zrážkových vôd. Značná časť jaskyne je však vytvorená v menej rozpustných dolomitoch.

Lastúrovité jamky prevažne malých rozmerov, ktoré poukazujú na rýchle prúdenie vody, sú najmä na skalných stenách tvorených gutensteinskými vápencami v Jazernej chodbe a v hornej časti Zubereckej chodby. Pozorujú sa aj pri prítokovom sifóne, z ktorého voda odteká do blízkej Siene potápačov (obr. 15). Lastúrovité jamky rozčleňujú povrchy na kalcitových sintrových kôrach alebo zrútených blokoch kalcitovej sintrovej výplne, ktoré remodelovala tečúca voda (vo visutej chodbe medzi Gotickou bránou a Jazierkovou sieňou, v hornej i dolnej časti Zubereckej chodby, ako aj na jej okraji v mieste priečnej puklinovej chodby s. - j. smeru).

Stropné kupoly a kapsy. Vyskytujú sa v spodnej časti i v horných častiach jaskyne (juhozápadná časť Brodňanského riečiska, horná časť Zubereckej chodby, Jazierková a Bivaková sieň, Kopečného chodba). Vytvorili sa najmä pozdĺž tektonických porúch priečnych voči smeru prúdenia vody vo freatických podmienkach (obr. 16). Stropné kapsy v Zubereckej chodbe sú miestami vyhĺbené aj v nadložnom borovskom súvrství. Niektoré stropné vyhĺbeniny v Bivakovej a Jazierkovej sieni dosahujú dimenziu kupol (priemer alebo dlhšia os ich kruhového alebo eliptického pôdorysu je väčšia ako 1,5 m - pozri Osborne, 2004).



Obr. 15. Lastúrovité jamky pri sifóne na okraji Siene potápačov. Foto: P. Bella
Fig. 15. Scallops at the siphon near the edge of Potápačov Hall. Photo: P. Bella



Obr. 16. Členitá stropná kupola v Bivakovej sieni. Foto: P. Bella
Fig. 16. Dissected ceiling cupola in the Bivaková Hall. Photo: P. Bella

Obr. 17. Stropná kapsa so „vzduchovými pascami". Foto: P. Bella
Fig. 17. Ceiling pocket with "air traps". Photo: P. Bella

Obr. 18. Slepé skalné diery v Kopečného chodbe. Foto: P. Bella
Fig. 18. Blind rock holes in the Kopečný Passage. Photo: P. Bella

Ojedinele sa vyskytujú aj menšie a plytšie stropné kapsy, ktorých vrchná časť je bez kalového povlaku (napr. na západnom okraji Siene potápačov pri okraji Kopečného chodby, v hornej časti Jazierkovej siene). V čase záplav boli vyplnené vzduchovou „bublinou" (tzv. „vzduchové pasce", obr. 17), ktorá bránila ich úplnému vyplneniu vodou zakalenou jemnými sedimentmi (pozri Mucke et al., 1983).

Stropné špongiovité a iné nepravidelné sférické vyhĺbeniny. Predstavujú menšie stropné vyhĺbeniny dierovitých, resp. sférických tvarov vytvorené rozptýlenými turbulentnými prúdmi vody vo freatických podmienkach. Podobne ako v prípade stropných kupol a káps pozorujú sa najmä vo vyšších častiach jaskyne (Jazierková a Bivaková sieň, bočný sieňovitý priestor pri strednej časti Kopečného chodby). Zväčša sa ich výskyt koncentruje pozdĺž strmých tektonických porúch.

Slepé skalné diery a okná. Známe sú najmä z vyšších častí jaskyne (Kopečného chodba) a zodpovedajú freatickej modelácii skalných stien (obr. 18). Viaceré z nich sú predurčené priečnymi tektonickými puklinami, pozdĺž ktorých pôsobil zvírený prúd vody.

Miskovité a tanierovité vyhĺbeniny v klastických nespevnených sedimentoch. Na okraji náplavového kuželeňa na severovýchodnom okraji Zubereckej chodby kvapkajúca až stekajúca voda pozdĺž výraznej tektonickej poruchy vytvorila širokú misovitú vyhĺbeninu s odtokovým kanálikom smerujúcim do riečiska. Tanierovitú vyhĺbeninu vytvorila kvapkajúca voda na plochom povrchu brehového valu povodňových sedimentov na okraji Brodňanského riečiska v ohybe chodby za polosifóno-

vým úsekom poniže Siene potápačov. Na tomto visutom povrchu povodňových sedimentov sa pod previsnutou skalnou stenou kvapkajúcou až stekajúcou vodou vytvorili hlbšie misovité jamky.

1.1.2. Vyhĺbené pozdĺžne skalné tvary

Stropné korytá. Stropné koryto vo Vstupnej sieni poukazuje na freatický výver bývalých podzemných vôd na povrch v mieste terajšieho vchodu do jaskyne. Stropné koryto ako parageneticky vývierový kanál sa pozoruje aj v neďalekej Zrútenej jaskyni.

Medzivrstvové anastomózne kanáliky. Embryonálne kanáliky vytvorené prúdom vody prenikajúcim pozdĺž vrstvových plôch karbonátov poukazujú na prvotné štádium vytvárania odvodňovacích trubíc v krasových akviféroch (Ewers, 1966). Miestami sa pozorujú aj v Brestovskej jaskyni, napr. vo výklenku na severozápadnej stene Vstupnej siene medzi otvorom na povrch a podzemným vodným tokom.

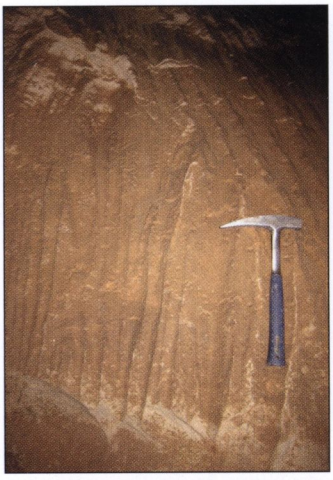
Stenové pozdĺžne zárezy. V severovýchodnej časti Zubereckej chodby sú v protiľahlých skalných stenách vyhĺbené zaoblené klinovité, jednostranne nadol asymetrické zárezy (Bella, 2004). Vytvorili sa v epifreatickej zóne po okrajoch vodnej hladiny bývalého prietokového jazera, ktoré sa tu vytvorilo v čase po znížení eróznej bázy a nadväzujúcej odtokovej cesty podzemného vodného toku na povrch. Podobné zárezy sa vytvorili aj v hornom, vyklenutom úseku Zubereckej chodby, ktorým voda vytekala na povrch v staršej fáze vývoja jaskyne.

Podlahové riečiskové žľaby. Výrazný oválny žľab je vyhĺbený v skalnej časti podlahy severovýchodného úseku Zubereckej chodby. V čase vyšších vodných stavov ním tiekli povodňové vody preliate z nižšie zahĺbeného súčasného riečiska cez agradačný val fluviálnych sedimentov a strácali sa v podlahových dierach ústiacich do sifonálneho úseku vodného toku medzi Brodňanského riečiskom a Jazernou chodbou. Zahlbovanie žľabu do skalnej podlahy zodpovedá vadóznej fáze vývoja chodby. Ostatnú časť podlahového žľabu pokrýva drobný alochtónny štrk a piesok, ktorý sa uložil na podložných jemných sedimentoch, siahajúcich do hĺbky viac ako 1,8 m (nižšiu hĺbku vrtu obmedzila dĺžka vrtáka). Charakter podlahového žľabu s vaňovitou vyhĺbeninou medzi skalnými prahmi má aj terajší odtokový kanál, ktorý vedie spodnou, rúrovito rozšírenou časťou výraznej priečnej puklinovej chodby medzi Zubereckou chodbou a Brodňanského riečiskom.

Podlahový vhĺbený meander riečiska. Severovýchodne od Gotickej brány, v mieste ohybu riečiska je výbežok vyššej skalnej podlahy, ktorý zo severnej strany podkovovito obmýva meander vhĺbený do skalného podložia. Povrchom skalnej ostrohy, nad ktorou je laterálnou eróziou čiastočne zarovnaný strop, viedlo staršie riečisko s miernejším ohybom. Počas zvýšených vodných stavov sa na skalnom povrchu ostrohy usadili jemné povodňové sedimenty.

Stenové šikmé žliabky. Na šikmom skalnom povrchu skalnej steny na okraji Kopečného chodby od Bivakovej siene sa vytvorili drobné strmé žliabky, ktoré klesajú nadol od pozdĺžneho hladinového zárezu. Tento indikuje bývalú úroveň voľnej hladiny stagnujúcej alebo pomaly prúdiacej vody. Uvedené žliabky predstavujú tzv. fluktuačné záplavové žľaby (Bella a Urata, 2003; Bella, 2007), ktoré sa vytvorili stekaním vodného „filmu", pravdepodobne aj s jemnými kalovými povlakmi, po skalnom povrchu v závislosti od epifreaticej fluktuácie vodnej hladiny (obr. 19).

Podlahové puklinovo-dlažbovité škrapy. Na okraji súčasného riečiska v sieňovitom priestore Gotickej brány sa na plochom skalnom povrchu pod vodnou hladinou vyskytujú pravidelné pozdĺžne škrapovité vyhĺbeniny, ktoré sú podmienené sústavou menej výrazných tektonických puklín. Vytvorili sa na okraji skalného prahu, ktorý prechádza naprieč terajším riečiskom.



Obr. 19. Stenové šikmé žliabky pri Bivakovej sieni. Foto: P. Bella
Fig. 19. Wall sloping grooves at the Bivaková Hall. Photo: P. Bella

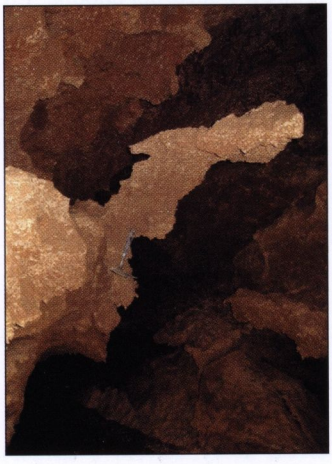
Obr. 20. Stropné skalné visiaky pri Sieni potápačov. Foto: P. Bella
Fig. 20. Ceiling rock pendants at the Potápačov Hall. Photo: P. Bella

1.2. Vyčnievajúce skalné tvary

Stropné skalné visiaky (pendanty). Na niektorých miestach jaskyne, najmä pozdĺž bývalého i aktívneho podzemného vodného toku, sa vyskytujú štruktúrne podmienené a vypreparované skalné výstupy dolomitov i vápencov, ktoré nadol vyčnievajú zo stropu (Jazerná chodba, Brodňanského riečisko, Sieň potápačov, Zuberecká chodba). Vytvorili sa účinkom prúdiacej vody v podmienkach freatickej modelácie. Skalné dolomitové visiaky majú zväčša ostrohranné tvary (obr. 20). Ak predstavujú úzke klinovité platne vypreparovaných vrstiev dolomitov, majú charakter skalných nožov či čepelí. Oválne skalné visiaky sú v tejto jaskyni zriedkavejšie. V bočnom sieňovitom priestore pri strednej časti Kopečného chodby predstavujú vypreparované zvyšky karbonátov pod stropom tvoreným paleogénnymi karbonátickými zlepencami (prvotné rúrovité kanály sa tu vytvorili pozdĺž styku litologicky odlišných hornín).

Skalné piliere. Mohutný skalný pilier je v strednej časti Siene potápačov, medzi riečiskom a jej strmou západnou časťou, ktorou sa vychádza nahor do Kopečného chodby. Zo strany riečiska bol skulpturovaný prúdiacou vodou najmä v mladšej epifreatickej fáze vývoja jaskyne, keď sa riečisko zahlbovalo na severovýchodnom okraji tejto siene. Užší a vyšší, avšak výrazne štruktúrne podmienený skalný pilier je v spodnej časti Jazernej chodby.

Stenové skalné výčnelky. Bizarné skalné tvary vyčnievajúce zo stien nad terajším riečiskom vidieť najmä v strednej časti Jazernej chodby. Zväčša majú tvar pozdĺžne vypreparovaných šikmých vrstiev dolomitov, miestami charakteru skalných čepelí. Ojedinele sa zachovali v podobe zakrivených hrotov dlhých vyše 1 m (obr. 21). V meandrovitej časti Brodňanského riečiska vidieť šikmé skalné výčnelky, takisto predurčené vrstvami dolomitov.



Obr. 21. Stenový skalný výčnelok v Jazernej chodbe. Foto: P. Bella
Fig. 21. Wall rock protrusion in the Jazerná Passage. Photo: P. Bella

Podlahové skalné výčnelky. Počas zahlbovania súčasného riečiska v spodnej chodbe jaskyne sa korózno-eróznou činnosťou tečúcej vody a splavovaných fluviálnych sedimentov vypreparovali podlahové skalné výčnelky, zväčša štruktúrne podmienených tvarov (Sieň potápačov, sieňovitý priestor Gotickej brány, dolný úsek Jazernej chodby). V Brodňanského riečisku sú najväčšie z nich vysoké asi 1 m a majú prevažne asymetrický tvar usmernený úložnými pomermi vrstiev dolomitov. Iné sú veľmi nízke a predstavujú čelá vrstiev dolomi-

tov vypreparované v riečisku. Na dolnom juhozápadnom úseku Jazernej chodby za skalným pilierom sa z riečiska týči šikmý skalný hrotovitý výčnelok až do výšky takmer 2 m. Hneď za ním z riečiska mierne vyčnieva dlhý a úzky výčnelok, ktorý sa zahrocuje v smere toku vody (obr. 22). Niektoré podlahové skalné výčnelky v riečisku sú vypreparované do nepravidelných ostrohranných tvarov, ktoré Aley (1964) označuje „echinoliths".

Obr. 22. Podlahový skalný výčnelok v Jazernej chodbe. Foto: P. Bella
Fig. 22. Floor rock protrusion in the Jazerná Passage. Photo: P. Bella

2. Erózno-akumulačné a akumulačné formy

Okrajové riečiskové pozdĺžne lavice. Štrkopieskové lavice korytovej fácie (bary) sa uložili na okrajoch priamych, nekľukatých úsekov Brodňanského riečiska. Tvoria ich nánosy štrku a piesku, ktoré majú tvar hrubšej rovinnej vrstvy (obr. 23).

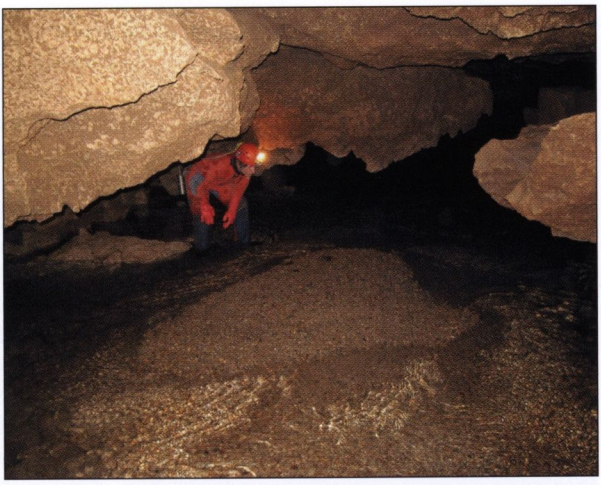
Okrajové riečiskové zákrutové nánosy. Predstavujú riečne usadeniny kosáčikovitého (mesiačikovitého) tvaru na nánosovom brehu riečiska (zákrutový bar). Miestami sa vyskytujú v Jazernej chodbe i v Brodňanského riečisku v ohyboch podzemného vodného toku. Fáciu zákrutových barov tvorí drobnozrnný štrk a piesok s gradačnou sekvenciou. Bývajú prekryté jemnými sedimentmi povodňovej fácie. Miestami sa zmenou prúdu vody kosáčikovitý tvar remodeloval odplavením časti nánosov do klinovitej podoby (napr. na konci riečiska pred odtokovým sifónom, odvádzajúcim vodu popod Zuberecku chodbu do Jazernej chodby).

Sihoťové ostrovčeky. Vytvorili sa na súčasnom riečisku v sieňovitom priestore Gotickej brány a v Jazernej chodbe. Predstavujú štrkopieskové valy korytovej fácie z nánosu štrku a piesku (bar). Majú tvar pretiahnutej šošovky, pričom vytvárajú topografické elevácie v koryte, t. j. riečne ostrovčeky (sihote, barové ostrovčeky). Jeden takýto ostrovček sa vytvoril za meandrovitým ohybom riečiska (v smere toku vody) severovýchodne od Gotickej brány - následkom nižšej rýchlosti prúdenia vody pri výtoku do širšieho úseku riečiska (obr. 24). Druhý ostrovček je za balvanom zrúteným do riečiska, ktorý bariérovo usmerňuje prúdenie vody - rozdeľuje vodný tok na dva prúdy. Ďalší ostrovček je v plytkej odtokovej časti prietokového jazera,

Obr. 23. Pozdĺžna štrkopiesková lavica na okraji Brodňanského riečiska. Foto: P. Bella
Fig. 23. Longitudinal gravel-sand bar on the bank of Brodňanského Riverbed. Photo: P. Bella

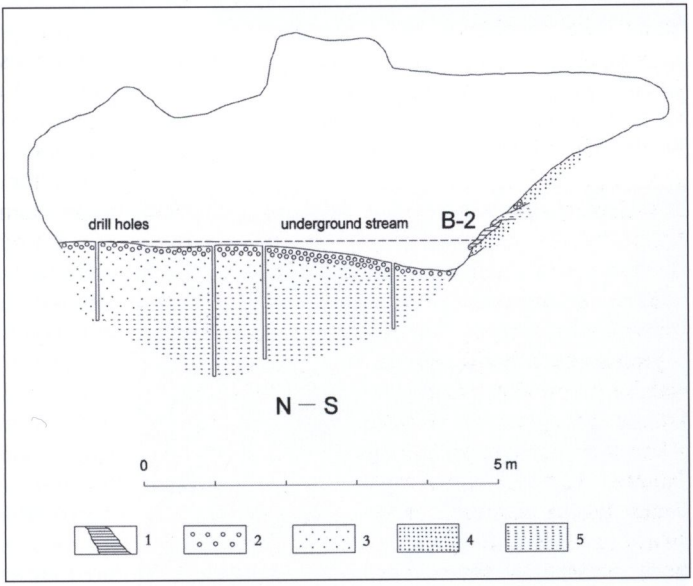
ktorým sa zo Vstupnej siene vstupuje do Jazernej chodby. Miniatúrny ostrovček sa vytvoril aj v Sieni potápačov.

Aluviálna niva. Cez Brodňanského riečisko podzemný vodný tok tečie na vlastných nánosoch tvorených korytovou fáciou štrku a piesku s celkovou hrúbkou 60 až 80 cm. Vŕtaním na viacerých miestach riečiska sa pod korytovou fáciou zistili jemné sedimenty, miestami siahajúce do hĺbky viac ako 180 cm (obr. 25). Aluviálna niva tvorí povrch akumulačnej podlahy chodby Brodňanského riečiska i väčšiny Jazernej chodby.



Obr. 24. Sihoťovitý ostrovček v Brodňanského riečisku. Foto: P. Bella
Fig. 24. Small bar-like island in the Brodňanského Riverbed. Photo: P. Bella

Okrajové agradačné valy. Južne od Gotickej brány, v mieste odbočky z Brodňanského riečiska do Blatistej chodby je sedimentmi navýšený inundačný val, ktorý zospodu podmýva terajší vodný tok s následným odvaľovaním a odplavovaním zosunutých častí jemných sedimentov (obr. 26). Za inundačným valom sa povrch jemných sedimentov skláňa smerom dovnútra Blatistej chodby, ktorá bola bočnou vetvou vtedajšieho riečiska. Inundačný val sa vytvoril aj na severovýchodnom okraji Zubereckej chodby. Okrajové inundačné, agradačné valy predstavujú prirodzené hrádze na brehoch, ktoré zvyšujú brehy vodného toku a oddeľujú ho od vlastnej nivy. Fáciu agradačných valov tvorí jemný piesok a silt (častice veľkosti prachu).



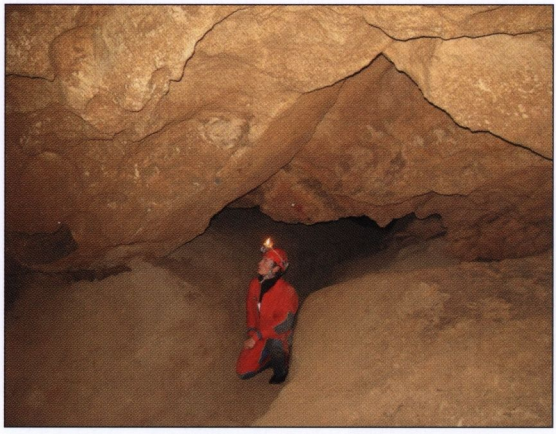
Obr. 25. Priečny rez Brodňanského riečiskom. Vysvetlivky: 1 - sintrová kôra, 2 - štrk, 3 - piesok, 4 - silt, 5 - íl
Fig. 25. Cross section of Brodňanského Riverbed. Legend: 1 - flowstone, 2 - gravel, 3 - sand, 4 - silt, 5 - clay

Šikmé pokrovy jemných sedimentov. Vyskytujú sa najmä v chodbách a sieňach situovaných vo vyšších polohách jaskyne nad terajším riečiskom (Jazierková a Bivaková sieň a okolité chodby), ale aj v Sieni potápačov za prítokovým sifónom. Tvorené sú

Obr. 26. Inundačný val na okraji Brodňanského riečiska pri odbočke Blatistej chodby. Foto: P. Bella
Fig. 26. Inundation levee on the bank of Brodňanského Riverbed. Photo: P. Bella

povodňovou fáciou hliny a vyschnutého bahna. Miestami siahajú až pod strop jaskynných priestorov. Ich súvrstvia sú odkryté v kanáloch vykopaných pri speleologickom prieskume jaskyne (obr. 27). V Bivakovej sieni dosahujú hrúbku asi 1 m (silt siaha do hĺbky 90 cm, nižšie sa uložil íl). Na niektorých miestach vidieť bahenné praskliny a kopčekovité vyvýšeniny medzi polygonálnymi prasklinami, ktoré vznikli vysychaním povodňových sedimentov. Šikmé pokrovy jemných sedimentov sú aj v Blatistej chodbe za okrajovým agradačným valom až po jej vyústenie do priestoru ohybu terajšieho riečiska pred odtokovým sifónom smerujúcim pod Zuberecku chodbu.

Akumulačné kužele. V Brestovskej jaskyni sa akumulačné kužele vytvorili pod závrtmi (zrútením a opadávaním častí nadložných hornín alebo zosúvaním a splavovaním sedimentov rozličnej frakcie zo závrtov) a korózne rozšírenými tektonických poruchami (splavovaním jemných sedimentov).



Obr. 27. Pokrov jemných sedimentov na hornom poschodí medzi Jazierkovou a Bivakovou sieňou. Foto: P. Bella
Fig. 27. Fine-grained deposits in the upper storey between the Jazierková and Bivaková halls. Photo: P. Bella

V Jazernej chodbe sa nachádza akumulačný kužeľ tvorený najmä žulovými zaoblenými blokmi a okruhliakmi (obr. 12), sčasti aj jemnejšími sedimentmi, ktoré sa z povrchu zosunuli a splavili do podzemia cez závrt pokrytý okrajom glacifluviálneho kužeľa pri ústí doliny Studeného potoka. Okraj spomenutého akumulačného kužeľa v jaskyni siaha po breh podzemného riečiska. Podzemný vodný tok však nemá dostatočný prúd na premiestňovanie väčších, ale iba stredne veľkých a malých žulových okruhliakov v smere prúdenia vody (niekoľko stredne veľkých žulových okruhliakov privlečených vodným tokom sa našlo aj v Sieni potápačov za prítokovým sifónom).

Akumulačný sutinový kužeľ vo Vstupnej sieni tvoria najmä ostrohranné úlomky karbonátových hornín. Jej pôvodné tvary sú remodelované rútením a mrazovým zvetrávaním. Šikmý povrch tohto sutinového kužeľa sa sv. smerom skláňa k podzemnému vodnému toku tečúcemu do Jazernej chodby. V stropnej časti siene sa vytvoril otvor z jaskyne na povrch, ktorý je na dne zrúteného závrtu (Droppa, 1972). Týmto otvorom sa do podze-

mia dostali aj pôdne a iné klastické sedimenty z povrchu. Podobný charakter má aj ďalší sutinový kužeľ na okraji Jazernej chodby, ktorý takisto vznikol nahromadením prevažne ostrohranných úlomkov karbonátových hornín.

Menší náplavový kužeľ sa vytvoril splavovaním jemných sedimentov pozdĺž krasovatejúcej výraznej tektonickej poruchy s. - j. smeru, ktorá priečne križuje severovýchodný okraj Zubereckej chodby v mieste napojenia na terajšie riečisko. Južný okraj kužeľa siaha až na okraj riečiska, a preto je sčasti podmytý tečúcou vodou.

Nepravidelné hromady zrútených skalných blokov. Sú prejavom vadóznej deštrukčnej remodelácie pôvodných freatických a epifreatických chodieb, najmä v miestach križovania sa tektonických porúch. Najväčšie nahromadenie zrútených skalných blokov je na riečisku v sieňovitom priestore Gotickej brány. Okrem tektonického porušenia na rútenie pravdepodobne vplývalo aj intenzívnejšie skrasovatenie karbonátov vo viacerých polohách nad sebou. Týmto úsekom jaskyne viedla staršia vývojová chodba, t. j. medzi jej visutým ústím nad riečiskom a hornou časťou Zubereckej chodby. V mladšej fáze vývoja, ktorá sa vzťahuje na epifreatickú modeláciu spodnej chodby jaskyne medzi prítokovým a odtokovým sifónom, sa podlaha staršej chodby v tomto úseku prehĺbila až na terajšie riečisko.

Nahromadené zrútené skalné bloky vidieť aj v sieňovitom priestore na okraji chodby, ktorá vybieha jz. smerom z Kopečného chodby. Jej vývoj vrátane rútenia predurčuje tektonická porucha sv. - jz. smeru i litologické rozhranie. Na strope chodby vystupujú zlepence borovského súvrstvia, kým jej spodnú časť budujú triasové karbonátové horniny.

Kopa zrútených skalných blokov a platní. Vytvorila sa v strednej časti Kopečného chodby zo zrútených skalných pilierov, vypreparovaných freatickou modeláciou, a okrajovej časti skalnej steny.

GENÉZA JASKYNE

Rekonštrukcia geomorfologických a hydrografických podmienok vývoja jaskyne

Na základe výskytu rozličných korózných alebo korózno-erózných foriem jaskynného skalného georeliéfu a ich morfostratigrafických znakov, ako aj z charakteru naplavených sedimentov a z nich vytvorených akumulačných foriem, ktoré sa vyskytujú v jaskyniach, možno rekonštruovať bývalé hydrografické podmienky v čase vývoja podzemných priestorov.

Výskyt a morfológia horeuvedených korózných a korózno-erózných foriem jaskynného georeliéfu svedčí o dominantnej fluviálnej modelácii Brestovskej jaskyne, avšak s určitými odlišnosťami vývoja jej spodných (Brodňanského riečisko, Jazerná chodba) a vyšších chodieb (Kopečného chodba, horná časť Zubereckej chodby). Spodné chodby s aktívnym podzemným vodným tokom majú okrem fluviálnej freatickej modelácie aj viaceré znaky fluviálnej epifreatickej i vadóznej modelácie (korózno-erózne vhĺbené meandre v úsekoch mierne skloneného riečiska, uloženiny alochtónnych fluviálnych sedimentov korytovej fácie, skalné prahy a vaňovité vyhĺbeniny v riečisku a iné). Naopak vo vyšších skúmaných chodbách medzi Gotickou bránou a prítokovým sifónom v Sieni potápačov dominujú znaky fluviálnej freatickej modelácie (korózne modelované chodby s nevyrovnaným pozdĺžnym profilom a stropnými i stenovými oválnymi slepými vyhĺbeninami a iné). Iba ojedinele sa však v nich pozorujú menej výrazné tvary zodpovedajúce epifreatickej modelácii (bočný korózny zárez v Kopečného chodbe medzi priepasťou a odbočkou chodby sv. - jz. smeru).

Na korózno-eróznu činnosť podzemného vodného toku nepriamo poukazuje aj naplavený alochtónny štrk a piesok, ktoré sa v epifreatických a vadóznych podmienkach uložili v súčasnom riečisku, ako aj v inaktívnom podlahovom žľabe v severovýchodnej časti

Obr. 28. Vermikulity na zaplavovaných skalných stenách. Foto: P. Bella
Fig. 28. Vermiculations on occasionally flood rock walls. Photo: P. Bella

Zubereckej chodby. Na viacerých miestach po stranách riečiska sa na nich zachovali vrstvy jemných fluviálnych sedimentov, usadené v čase vyšších vodných stavov. Pod korytovou fáciou štrku a piesku sú pomerne mocné nánosy ílu. Vo visutých bočných výklenkoch po okrajoch terajšieho riečiska sa štrk nevyskytuje. Z hľadiska superpozície sa štrk a piesok uložili v jednej z posledných fáz vývoja terajšieho riečiska.

Vo vyšších chodbách jaskyne dominujú jemnoklastické fluviálne sedimenty. Podmienky ich sedimentácie zodpovedajú freatickému vývoju jaskyne s pomalým prúdením a miešaním vody, ako aj občasným povodňovým situáciám, avšak bez transportu riečneho štrku. Na rozdiel od spodných chodieb súčasného riečiska uloženiny alochtónnych štrkov a hrubšieho piesku sa vo vyšších chodbách jaskyne nepozorujú. Wójcik (1968) však spomína nález okruhliakov s priemerom do 10 cm aj na hornom poschodí.

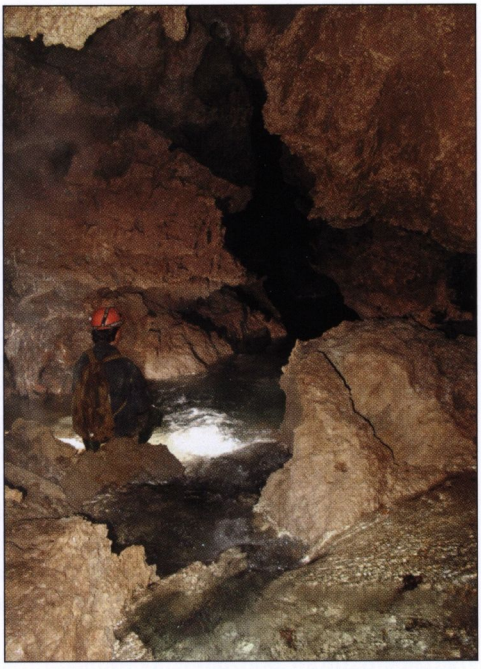
Na mnohých miestach, najmä v spodných častiach jaskyne sú na stropných častiach skalných stien miniatúrne vermikulárne útvary (obr. 28). Vermikulity, podľa Panoša (2001) jaskynné hieroglyfy, sa vytvorili koaguláciou koloidne rozptýlených suspenzných siltových a ílovitých častíc z vysychajúcich tenkých povlakov kalu, ktoré sa na skalných stenách usadili z povodňových vôd v epifreatickej, resp. postfreatickej fáze vývoja jednotlivých častí jaskyne (Bini et al., 1978 a iní). Výšková pozícia výskytu vermikulít poukazuje na vertikálny dosah zakalených záplavových vôd. Na východnom okraji Siene potápačov siahajú po okraj Kopečného chodby, od strednej časti Brodňanského riečiska do hornej časti Jazierkovej siene, t. j. do výšky asi 10 až 12 m nad terajším riečiskom.

Tlakové prenikanie agresívnych vôd do bočných puklinových vetiev a ich korózne rozširovanie sa mohlo udiať aj následkom epifreatického zdvihnutia hladiny podzemnej vody, keď hlavný odvodňovací kanál nestačil odvádzať povodňové vody. Vo vzťahu k odvodňovaniu Brestovskej jaskyne na povrch zaplavovanie jej severnej časti sa udialo pravdepodobne v čase, keď sa po znížení eróznej bázy na povrchu vytváral a postupne zväčšoval nižší odvodňovací kanál vedúci cez Jazernú chodbu do Brestovskej vyvieračky, ktorý nestačil odvádzať všetky vody pritekajúce z juhovýchodného sektoru jaskyne. Opakujúcimi sa tlakovými penetráciami povodňových vôd pozdĺž priečnych tektonických porúch vznikli viaceré bočné chodby v koncovej časti Jazernej chodby.

Na príklade mnohých zaplavovaných jaskýň je známy vplyv prívalových povodňových vôd na vytváranie slepých chodieb i väčších labyrintov, ktoré bývajú „vložené" do už skôr existujúcich jaskýň (Palmer, 2001, 2002). V takýchto podmienkach sa mohli vytvoriť aj niektoré stropné kupoly a kapsy vo vyššej časti Brestovskej jaskyne nad súčasným podzemným tokom. Lismonde (2000) vysvetľuje vytváranie stropných kupol aj v súvislosti so zvýšením parciálneho tlaku oxidu uhličitého následkom stláčania vzduchu zdvíhajúcou sa vodou.

Z morfogenetického hľadiska Brestovskú jaskyňu tvoria sektory korózno-eróznych kombinovaných chodieb s freatickými šikmými a kolenovito ohnutými úsekmi, epifreatickými

piezometricky úrovňovými úsekmi a úsekmi vadózneho zahlbovania podzemného riečiska (pozri Bella, 1998 v zmysle Forda, 1977, 2000, resp. Forda a Ewersa, 1978). V nadväznosti na hladinu podzemnej vody vo výverovej časti podzemného hydrologického systému sa vo vadóznych podmienkach spätnou eróziou denuduje skalný prah v riečisku Jazernej chodby (obr. 29), ako aj v podlahovom kanáli v priečnej puklinovej chodbe medzi Zubereckou chodbou a Brodňanského riečiskom. Vadózna modelácia podzemným vodným tokom spôsobuje znižovanie až deštrukciu skalných prahov vyčnievajúcich v riečisku. Miestami, napr. v úseku Brodňanského riečiska pri Gotickej bráne, sa takto mohli zdenudovať aj podlahové výstupy horných ohybov bývalých freatických sifónov (pozri Ford, 2000). V priestrannejších chodbách a sieňovitých priestoroch sa pôvodné korózne freatické a epifreatické priestory čiastočne remodelovali rútením vo vadóznych podmienkach (sieňovitý priestor Gotickej brány, chodba odbočujúca juhozápadným smerom z Kopečného chodby).



Obr. 29. Skalný prah v riečisku Jazernej chodby. Foto: V. Michalec
Fig. 29. Bedrock step in the riverbed of Jazerná Passage. Photo: V. Michalec

Priestorové súvislosti vývoja pozdĺžneho profilu a pôdorysnej štruktúry jaskyne s terénom a polohou hydrologických javov v jej okolí

Podľa Gamsovej (1994) typológie kontaktného krasu krasová oblasť v okolí Brestovskej jaskyne predstavuje kontaktný kras s horizontálnym stykom a influkciou alochtónnych vôd do podzemia v podmienkach tektonicky dvíhajúceho sa územia s pomerne vysokou priepustnosťou hornín. Alochtónne sedimenty uložené v povrchových riečiskách nezabraňujú prestupovaniu vôd do podložných karbonátových hornín. Viaceré ponory pokračujú menšími podzemnými kanálmi, resp. jaskyňami, ktoré sú však neďaleko od riečisk zväčša takmer vyplnené priepustnými alochtónnymi sedimentmi, ktoré čiastočne obmedzujú prenikanie vôd do systému podzemnej drenáže. Dávnejšie sa vtekanie vody z povrchového riečiska Studeného potoka do ľavostranného ponoru antropogénne upravovalo - zvyšovaním prietoku hradením riečiska s cieľom zabezpečiť pohon píly v Zuberci alebo naopak odrážaním vody, aby sa mohol vykonať speleologický prieskum ponoru (Brodňanský, 1959).

V ponornej zóne hydrologického systému sa v zmysle Forda (1977, 2000), resp. Forda a Ewersa (1978) predpokladajú podzemné vadózne depresné priestory, ktoré sa vytvorili v nadväznosti na hydraulický gradient medzi vyššie položenými miestami kontaktu nekrasových a krasových hornín v bočných svahových dolinkách či pri ponore Studeného potoka a nižšie situovanými úsekmi subhorizontálneho až horizontálneho odtoku vody v podzemí. V ponoroch sa začínajú kaskádovité, resp. šikmé až priepasťovité podzemné priestory. Ich fragmenty tvoria doteraz známe časti jaskýň v ponoroch Studeného potoka a Volariská a v ich blízkosti. Jaskyňa v ponore Studeného potoka (Ponorová jaskyňa) je

dlhá asi 50 m a hlboká 12 m (Brodňanský, 1959; Droppa, 1972). V doteraz neznámej časti podzemného hydrologického systému sa tieto zväčša subvertikálne úseky napájajú na subhorizontálne odvodňovacie chodby prerušované sifónmi v juhovýchodnom sektore Brestovskej jaskyne. V strednej a vývervovej časti systému sú úseky epifreatických subhorizontálnych jaskynných chodieb s lokálnou vadóznou modeláciou riečiska, ktoré sa striedajú so šikmo-kolenovito ohnutými chodbami freatických sifónov (Bella, 2007). Staršie nadriečiskové chodby jaskyne predstavujú bývalé freatické, zväčša sifónovité úseky.

Spodné časti jaskyne s podzemným vodným tokom zahŕňajú takmer horizontálne úseky chodieb s voľnou hladinou vody (epifreaticky a lokálne aj vadózne remodelované pôvodné freatické chodby) a úseky viacerých freatických sifónov. Horizontálne epifreatické úseky tvorí aktívne podzemné riečisko s transportovanými alochtónnymi sedimentmi, ktorého pozdĺžny profil sa vyrovnáva zrezaním výstupov skalného podložia vo vadóznom režime prúdenia podzemného vodného toku i vypĺňaním podlahových vyhĺbenín naplavenými sedimentmi. Miestami z riečiska vyčnievajú nezdenudované zvyšky prahovitých skalných výčnelkov, štruktúrne podmienených vrstvami hornín. V Brodňanského riečisku i Jazernej chodbe, v úsekoch medzi výstupmi skalného podložia sa pod terajším korytom, vystlaným drobnejším štrkom a pieskom, vŕtaním zistili jemné sedimenty s mocnosťou do 1,8 m i viac (na viacerých miestach sa nezistila hĺbka skalného podložia pre nedostatočnú dĺžku vrtáka). Jeden z freatických úsekov tvorí prítokový sifón do severozápadného sektoru jaskyne, ktorý zväčša pozdĺž horninových vrstiev klesá do hĺbky 17 m (Hochmuth, 1984).

Pozdĺžny profil podzemného vodného toku sa v smere prítoku vody postupne dostáva pod výškovú pozíciu povrchového riečiska Studeného potoka; podobne ako v prípade mnohých ďalších alogénnych krasových území s hydraulickým gradientom medzi hlavným odvodňovacím tokom v podzemí a vyššie situovanými ponormi odvádzajúcimi časť vôd z povrchového riečiska do podzemia (pozri Hochmuth, 1997 a iní). Smerom k ponoru Studeného potoka tento výškový rozdiel presahuje 12 m hĺbku tamojšej Ponorovej jaskyne (Droppa, 1972). Brodňanský (1959) uvádza jej hĺbku až 20 m.

Horné časti Brestovskej jaskyne tvoria subhorizontálne chodby s nevyrovnaným pozdĺžnym profilom vo výške zväčša 6 až 10 m nad terajším riečiskom. Na viacerých miestach je litologické rozhranie medzi vrchnotriasovými dolomitmi a nadložnými paleogénnymi horninami borovského súvrstvia (Vlček a Psotka, 2007). Mnohé stropné kapsy a kupoly, špongiovité vyhĺbeniny, skalné diery i okná svedčia o freatickej modelácii týchto častí jaskyne bez výraznejšej epifreatickej remodelácie pozdĺž vodnej hladiny. Na niektorých úsekoch sa zachovali naplavené alochtónne piesky i jemnejšie povodňové sedimenty, avšak žulový štrk tu absentuje. Na rozdiel od tzv. Starej jaskyne sú v prítokovom juhovýchodnom sektore subhorizontálne, bývalé riečne chodby vo výške iba 2 až 4 m nad súčasným riečiskom (Hochmuth, 1984).

V pôdorysnej štruktúre je jaskyňa sústavou podzemných odvodňovacích kanálov na ľavej strane doliny Studeného potoka a pod dolnou časťou bočnej dolinky Volariská (Hochmuth, 2000) medzi ponorom Studeného potoka a Brestovskou vyvieračkou, do ktorej sa pripájajú najmä ponorné vetvy klesajúce z ľavostranných bočných svahových doliniek. Mnohé chodby v tejto časti jaskyne sú predurčené paralelnými tektonickými poruchami s. - j. smeru, ktoré sa prejavujú aj na povrchu územia v bočnej dolinke Volariská (Hochmuth, 1984).

Do hlavnej odvodňovacej jaskynnej chodby sa pravdepodobne dostávajú aj ponorné vody priamo z riečiska Studeného potoka poniže Ponorovej jaskyne. Na pôdorysnej mape krasovej hydrografie v okolí horárne Brestová od Hochmutha (2000) vidieť, že najvýchodnejšia známa chodba Brestovskej jaskyne nesmeruje priamo ku koncu Ponorovej jaskyne.

Hlavné fázy vývoja jaskyne

Z hľadiska postupného hydrografického vývoja Brestovská jaskyňa pozostáva z dvoch základných vertikálnych segmentov, ktoré tvoria: (1) epifreaticky i vadózne remodelované pôvodné freatické chodby v spodnej časti jaskyne so súčasným vodným tokom, ktoré sú takmer horizontálne, miestami mierne kaskádovité (v smere prítoku i odtoku vody prerušené vodnými sifónmi a miestami mierne rozčlenené menšími skalnými prahmi); (2) niekoľko metrov vyššie položené freatické chodby s nevyrovnaným pozdĺžnym profilom. V zmysle Wójcika (1968) a Hochmutha (2000) ide o spodné a horné poschodie jaskyne, ktoré sa však okrem výškovej pozície odlišujú aj niektorými morfologickými znakmi.

Hlavný úsek aktívneho Brodňanského riečiska medzi prítokovým a odtokovým sifónom na spodnom poschodí tzv. Starej jaskyne je mierne sklonený, bez výraznejších skalných prahov, čo je výsledkom intenzívnej epifreatickej a vadóznej modelácie, resp. remodelácie pôvodnej freatickej chodby v podmienkach prúdenia vody s voľnou hladinou a transportom menších i väčších klastických fluviálnych sedimentov. Transport takýchto sedimentov dostatočne rýchlo tečúcou vodou sa prejavuje eróznym zväčšovaním prietokového kanála a je integrálnou súčasťou vývoja mnohých drenážnych sietí. Mierny spád riečiska v Jazernej chodbe narušuje skalný prah poniže prietokového jazera vedúceho z okraja Vstupnej siene. Naopak nevyrovnaný, viac-menej slučkovitý pozdĺžny profil chodieb horného poschodia jaskyne svedčí hlavne o freatickej modelácii so suspenzným transportom jemných sedimentov.

Tieto odlišné morfogenetické i sedimentologické znaky poukazujú na rozdielne hydrografické podmienky v čase vytvárania spodných a vyšších chodieb jaskyne. Odlišný charakter fluviálnych sedimentov medzi týmito morfologicky a čiastočne aj geneticky rozdielnymi časťami jaskyne zodpovedá dvom základným spôsobom transportu sedimentov prúdiacou vodou v jaskyniach - posúvaniu až unášaniu hrubších klastických sedimentov v riečisku laminárnym alebo turbulentným vodným prúdom a unášaniu suspenzie jemných klastických sedimentov turbulentným vodným prúdom (pozri White a White, 1968 a iní).

Vytváranie horných chodieb sa vzťahuje na freatický režim prúdenia podzemných vôd, keď boli chodby úplne vyplnené vodou. Vtedy sa vytvorili mnohé stropné kupoly, stropné kapsy či iné dierovité vyhĺbeniny v skalných stropoch a stenách. Slučkovité, resp. sifónovité ohyby pozdĺžneho profilu horných chodieb sa nezarovnali denudáciou znížených stropných častí a podlahových výstupov skalného podložia, ktoré sú prejavom štruktúrno-tektonických podmienok speleogenézy (pozri Ford a Ewers, 1978; Ford, 2000). Na základe rádioizotopového datovania sintrovej kôry z hornej časti Zubereckej chodby sa zistilo, že horné poschodie jaskyne bolo bez vodného toku už pred viac ako 200-tisíc rokmi (Hercman et al., 2008; tab. 1). V tom čase už existovali značne priepustné chodby spodného poschodia, ktoré tvorili hlavné odvodňovacie kanály alochtónnych vôd pritekajúcich z ponorov. Podľa Droppu (1972) sa horné časti jaskyne vytvorili v počiatočnom štádiu zarezávania sa ponorného vodného toku do skalného podkladu, ktoré sa ustálilo na spodnej chodbe. Tú považuje za jedinú vývojovú úroveň v jaskyni.

Uvedené stropné vyhĺbeniny v horných chodbách sa však mohli vytvárať, prípadne dotvoriť aj v čase inváznych záplav vodou vystupujúcou z nižšieho odtokového kanála či riečiska, keď odtokové cesty nestačili dostatočne odvádzať pritekajúcu vodu. Na občasné zaplavovanie horných častí jaskyne počas ich vadózneho vývoja poukazuje aj korózne remodelovaná sintrová kôra (obr. 30), ktorá sa zachovala na skalnej polici vo visutej chodbe medzi Jazierkovou sieňou a Gotickou bránou. Jej vek je 79- až 60-tisíc rokov (Hercman et al., 2008). Výskyt hieroglyfov do výšky 10 až 12 m nad terajším riečiskom potvrdzuje vertikálny dosah záplav v mladšej fáze vývoja jaskyne.

Tab. 1. Geochronológia vývoja Brestovskej jaskyne na základe rádioizotopového datovania sintrových nátekov (Hercman et al., 2008)
Tab. 1. The geochronology of Brestovská Cave development based on U-series dating of carbonate speleothems (Hercman et al., 2008)

Základné fázy a čiastkové procesy vývoja jaskyne	**Časové obdobie**
Freatická fáza vývoja horných chodieb jaskyne - Kopečného chodba, horná časť Zubereckej chodby	> 200 ka
Vytvorenie sintrových kôr vo vadóznej fáze vývoja horných chodieb jaskyne - horná časť Zubereckej chodby, chodba medzi Jazierkovou sieňou a Gotickou bránou	110 až 88 ka
Freatická fáza vývoja dolnej chodby jaskyne - Brodňanského riečisko, spodná časť Zubereckej chodby, Jazerná chodba	> 82 ka
Epifreatické záplavy horných chodieb jaskyne do výšky 10 až 12 m nad terajším riečiskom, uloženie povodňových sedimentov	< 79 ka
Vytvorenie sintrovej kôry vo vadóznej fáze vývoja spodnej chodby jaskyne - Brodňanského riečisko	63 až 58 ka
Uloženie jemných klastických fluviálnych sedimentov v Brodňanského riečisku, na mnohých miestach v mocnosti okolo 1,8 m	> 58 ka
Uloženie alochtónneho štrku v Brodňanského riečisku na jemných klastických fluviálnych sedimentoch	< 58 ka
Vytvorenie akumulačného kužeľa z glacifluviálnych sedimentov pod závrtom v Jazernej chodbe	< 58 ka > 2,4 ka

Obr. 30. Korózne remodelovaná sintrová kôra počas povodní medzi dolným a horným poschodím jaskyne. Foto: P. Bella
Fig. 30. Flowstone remodelled by corrosion during floods between the lower and upper cave storeys. Photo: P. Bella

Tektonicky podmienené puklinové šikmé až kolmé priepasťovité dutiny klesajúce z podlahy horného poschodia sa vytvorili vo freatickom alebo epifreatickom vývoji tejto časti jaskyne, keď podzemné dutiny boli stále alebo určitý čas úplne alebo aspoň sčasti vyplnené vodou. V epifreatickom vývoji sa mohli vytvárať odtekaním inváznych povodňových vôd, ktoré počas maximálnych stavov vzdutím vody zaplavili i vyššie ležiace časti jaskyne. Malé klesajúce chodby vytvorené v epifreatickej zóne, ktorými odtekáva alebo odtekávala voda z dna slučiek (sifonálne depresných ohybov nevyrovnaného pozdĺžneho priebehu chodieb) v čase ustupovania vody po opakujúcich sa záplavách, Häuselmann et al. (2002, 2003) nazývajú *soutirages*.

Prechodná vývojová fáza medzi vyššími a spodnými časťami jaskyne sa prejavila epifreatickou, čiastočne aj vadóznou remodeláciou pôvodnej freatickej chodby v horizontálnom úseku Zubereckej chodby, ktorý za šikmým stupňom klesajúcim k podlahovým dieram s vodnou hladinou vedie až k priečnej chodbe aktívneho riečiska. Na stenách tejto časti Zubereckej

chodby sú bočné zárezy vyhĺbené pomaly tečúcou až takmer stagnujúcou vodou, ktorá sa tu zdržiavala pred jej obmedzeným odtokom cez podlahové diery. Vŕtaním zistená hrúbka sedimentov viac ako 1,8 m na podlahe sv. časti Zubereckej chodby, ako aj na viacerých miestach Brodňanského riečiska poukazuje na výraznú akumulačnú fázu vývoja podzemného riečiska v jaskyni. Súčasné riečisko na sv. Zubereckej chodby náhle mení smer na juh podľa výraznej priečnej tektonickej poruchy, vo vadóznych podmienkach sa zarezáva do skalného podložia a neďaleko sa končí vodným sifónom, z ktorého vody odtekajú popod uvedené podlahové diery na sv. okraj sutinovej podlahy Vstupnej siene a odtiaľ do Jazernej chodby.

Na freatickú a najmä epifreatickú modeláciu jaskýň vplýva aj transport alochtónneho piesku s mechanickým obrusovaním skalných stien a podláh. Keďže v Brestovskej jaskyni sa štrk vyskytuje takmer výlučne iba v terajšom riečisku a navyše iba v nadloží jemných sedimentov, na eróznej modelácii skalných stien sa výraznejšie neuplatnil. V prvotnej fáze vývoja podzemnej hydrologickej siete splavovanie alochtónnych sedimentov do podzemia limitovala priepustnosť puklinových ponorov. Do vzdialenejších častí podzemia sa štrk a väčšie okruhliaky dostali až neskôr, po koróznom zväčšení prietokových kanálov. V prvotnom štádiu freatického vývoja skúmanej časti jaskyne, keď sa za prítokovým sifónom v nadväznosti na štruktúrno-tektonický skelet súčasne vytvárali protokanály hornej a spodnej časti jaskyne, do tejto časti podzemného hydrologického systému sa prúdiacou vodou dostávali iba jemné klastické sedimenty v podobe turbulentnej suspenzie. Alochtónne štrky sa tam dostali až neskôr, keď sa zväčšila priepustnosť prietokových kanálov aj na transport väčších klastických fluviálnych sedimentov.

Riečisko v spodnej časti jaskyne sa zahĺbilo podzemným vodným tokom v epifreatických a vadóznych podmienkach. Zárez súčasného riečiska vzhľadom na vyššie časti jaskyne pri Gotickej bráne dosahuje 6 m. V čase opakujúcich sa záplav sa do horných častí ďalej dostávali iba jemné sedimenty. Alochtónny drobný štrk a hrubší piesok sa transportovali iba riečiskom v spodnej časti jaskyne. Vzhľadom na hĺbku prítokového sifónu 17 m (Hochmuth, 1984), si transport štrkov cez tento slučkovitý úsek vyžadoval silné tlakové pôsobenie prúdiacej vody podmienené značným hydraulickým gradientom, ktoré sa však menilo s kolísaním prietokov vody. V Sieni potápačov, do ktorej tento sifón ústi, sa v riečisku našlo aj niekoľko stredne veľkých žulových okruhliakov.

V epifreatickej a vadóznej fáze vývoja sa pozdĺžny profil riečiska okrem zrezávania skalných prahov vyrovnával aj usadzovaním fluviálnych sedimentov na znížených miestach. Tým sa na mnohých úsekoch spodných častí jaskyne vytvorila akumulačná podlaha, pod ktorou je hrúbka sedimentov 1,8 m i viac (napr. v sv. časti Zubereckej chodby, na niektorých miestach Brodňanského riečiska, v dolnej časti Jazernej chodby). Na okraji Brodňanského riečiska je podlahová sintrová kôra stará 64,6- až 58-tisíc rokov (Hercman et al., 2008; obr. 25, vzorka B-2), ktorá nasvedčuje, že spodné poschodie bolo počas posledného interglaciálu aspoň čiastočne bez vodného toku.

V porovnaní s doterajšími predpokladmi výsledky rádioizotopového datovania sintrov svedčia o staršom veku spodného poschodia jaskyne. Podľa Wójcika (1968) sa spodná chodba jaskyne vytvorila v hlavnom štadiáli glaciálu würm; horné chodby sú staršie, ale remodelovali sa takisto v glaciáli würm. Horné poschodie jaskyne je približne v úrovni povrchu glacifluviálneho kužeľa pred jaskyňou. Podobný vek spodnej chodby jaskyne predpokladal aj Droppa (1972), ktorý jej vývoj dáva do súvisu so skalným podkladom riečnej terasy pred jaskyňou. Podľa Mazúra (1957) ide o mladopleistocénnu terasu (würm-1).

Pozdĺž skalných stien sa v aktívnom riečisku vytvorili okrajové pozdĺžne lavice, v miestach križovania sa Brodňanského riečiska s inými chodbami vznikli agradačné valy. Terajší smer a nižšia poloha riečiska v priečnej puklinovej chodbe medzi Brodňanského riečiskom a Zubereckou chodbou poukazuje na jeho pokračujúce zahlbovanie pozdĺž tejto

výraznej tektonickej diskontinuity. V čase vyšších stavov voda pravdepodobne prenikala ponad agradačný val a tiekla do spomenutých podlahových dier, čím sa vytvoril podlahový žľab pokrytý alochtónnym štrkom a pieskom.

Na sz. stene Zubereckej chodby sa stekajúcou vodou, presakujúcou zo zrážok, vytvorili sintrové náteky staré 50-tisíc rokov (Hercman et al., 2008). Ich povrch rozčleňujú lastúrovité jamky (angl. *scallops*), ktoré dokazujú mladšiu fázu remodelácie jaskyne prúdiacou vodou (obr. 31). Korózne remodelované povrchy sintrových kôr sa vyskytujú aj v niektorých ďalších častiach jaskyne do výšky 7 až 8 m nad terajším riečiskom (v chodbe medzi Jazierkovou sieňou a Gotickou bránou - obr. 30, v hornej časti priečnej pukliny na severovýchodnom okraji Zubereckej chodby, ako aj v hornej časti Zubereckej chodby). Navyše miestami sú pokryté aj jemnými povodňovými sedimentmi (na západnom okraji visutej chodby medzi Jazierkovou sieňou a Gotickou bránou, v Zubereckej chodbe na šikmej skalnej stene nad podlahovými dierami). Asi pred 50-tisíc rokmi až začiatkom holocénu jaskyňu zaplavovali invázne vody z topiaceho sa würmského ľadovca, pričom vodná hladina sa zdvihla aj následkom upchávania vyvieračky glacifluviálnymi sedimentmi. Počas záplav sa deštruovali staršie sintrové náteky a usadzovali sa jemné sedimenty (Hercman et al., 2008). Na zdvihnutie podzemných vôd v jaskyni a prípadné rozšírenie jej horných častí následkom akumulácie štrkov na skalnom povrchu terasy pred jaskyňou poukázal už Droppa (1972).

Obr. 31. Lastúrovité jamky vyhĺbené do sintrového náteku v Zubereckej chodbe. Foto: P. Bella
Fig. 31. Scallops deepened into flowstone in the Zuberecká Passage. Photo: P. Bella

Okraj akumulačného kužeľa z granitových okruhliakov, ktoré sa zosunuli cez závrt na severovýchodnom okraji Jazernej chodby, pokrýva staršiu korytovú fáciu podzemného riečiska. Na okruhliakoch akumulačného kužeľa sa miestami vytvorili tenké sintrové náteky. Datovaná vzorka týchto sintrov je stará 2,4-tisíc rokov (Hercman et al., 2008).

Vývoj jaskyne vo vzťahu k vývoju priľahlej časti doliny Studeného potoka

Podzemný vodný tok z jaskyne sa dostáva na povrch výverovou jaskyňou Brestovskej vyvieračky, ktorej podzemné i povrchové riečisko je zahĺbené do podkladu glacifluviálnej akumulácie, ktorá sa uložila pozdĺž Studeného potoka od ústia doliny smerom nadol k Zubercu. Intenzívne podzemné krasovatenie na povrchu v úseku medzi podzemným riečiskom v Brestovskej jaskyni a výverovou jaskyňou indikuje línia závrtov (obr. 2 a 32), ktoré sa vytvorili až po uložení glacifluviálnej akumulácie (Droppa, 1972). V Jazernej chodbe sa pod jedným zo závrtov vytvoril spomenutý akumulačný kužeľ z materiálu zosunutého a splaveného z povrchu, vrátane žulových okruhliakov (obr. 12). Niektoré okruhliaky miestami pokrývajú tenké holocénne sintrové náteky (Hercman et al., 2008).

Mazúr (1955) považuje uvedenú glacifluviálnu akumuláciu za mladopleistocénnu (würm-1). Halouzka (1987, 1993), resp. Halouzka a Raczkowski (1993) ju stratigraficky

Obr. 32. Závrt medzi Brestovskou jaskyňou a Brestovskou vyvieračkou. Foto: P. Bella
Fig. 32. The doline between the Brestovská Cave and the Brestovská Resurgence. Photo: P. Bella

zaraďujú do mladého (vrchného) pleistocénu (würm - nečlenený). Koncové morény uložených glaciálnych sedimentov sú vo vyšších častiach doliny nad jej alogénnou krasovou časťou. V doline Studeného potoka sú najnižšie morénové valy pri Zverovke vo výške asi 940 m n. m. Okrem ľadovca Studenej doliny a k nemu inklinujúcich drobných splazov boli v povodí Studeného potoka aj ďalšie ľadovce, ktoré však nezasahovali do bezprostrednej blízkosti Brestovskej jaskyne, resp. priamo do miest ponorov alochtónnych vodných tokov. Moréna z ľadovca pravostrannej bočnej Látanej doliny je vo výške asi 1200 m n. m. Ľadovec ľavostrannej doliny Dlhej jamy uložil koncovú morénu vo výške 1140 m n. m. V ďalšej, západnejšej ľavostrannej bočnej doline Volariská je koncová moréna vo výške 1080 m n. m. (Mazúr, 1955).

Staršie a vyššie časti Brestovskej jaskyne sa vytvorili v nadväznosti na bývalý výver podzemných vôd pravdepodobne viažuci sa na starší erózno-denudačný povrch pred jaskyňou alebo na povrch staršej, neskôr rozplavenej glacifluviálnej akumulácie, keď úplne alebo čiastočne bola zaplavená aj neďaleko situovaná Zrútená jaskyňa. V jej zadnej časti sa zachovali skalné tvary modelované prúdiacou i viac-menej stagnujúcou vodou (Bella, 2007). Keďže spodné poschodie Brestovskej jaskyne s podzemným vodným tokom odtekajúcim do vyvieračky existovalo v prvotnej podobe už pred 200-tisíc rokmi, dolina Studeného potoka bola vtedy zahĺbená do približne rovnakej úrovne ako v súčasnosti. Počas dvoch posledných ľadových dôb a medziľadovej doby sa výraznejšie neprehĺbila (Hercman et al., 2008). Na pravej strane doliny Studeného potoka nad hájovňou Brestová sa smerom k Habovke zachovali glacifluviálne sedimenty náplavových kužeľov a terás z mladšieho i staršieho stredného pleistocénu (Halouzka a Raczkowski, 1993).

Zvodnené karbonáty zasahujú hlbšie pod bariérový okraj menej priepustných až nepriepustných hornín centrálnokarpatského paleogénu, resp. borovského súvrstvia podtatranskej skupiny na styku Podtatranskej brázdy a úpätia Západných Tatier. Preto z morfogenetického a vývojového hľadiska skúmaný kras v okolí Brestovskej jaskyne predstavuje tzv. hradený kras so znižovaním eróznej bázy (pozri Audra, 1994; Palmer a Audra, 2004) v závislosti od znižovania terénu, resp. zahlbovania vyvieračky podzemného vodného toku na styku krasového a nekrasového územia.

Medzi jaskyňou Brestovskej vyvieračky, ktorá po 18 m pokračuje vodným sifónom (Brodňanský, 1958; Droppa, 1972) preskúmaným do vzdialenosti asi 60 m (Hochmuth, 2000), a koncom Jazernej chodby existuje v smere toku vody doteraz neprekonaný vodný sifón, resp. viaceré sifóny. Známy je iba krátky úsek vodnej hladiny v spodnej časti Jaskyne v závrte (Hochmuth, 2000). Zarovnávanie pozdĺžneho profilu podzemných odtokových ciest spätnou eróziou od vyvieračky smerom proti vodnému prúdu narušujú vodné sifóny. Avšak po znížení výškovej polohy vývoru ponorných vôd do pozície terajšej vyvieračky sa znížil piezometrický povrch podzemných vôd v priľahlej časti zvodnenej štruktúry kar-

bonátov. Následne medzi vodnými sifónmi vznikli úseky s voľnou hladinou vody, v miestach ktorých sa korózno-eróznou modeláciou podzemné riečisko zahlbovalo a zahlbuje zdenudovávaním výstupov skalného podložia medzi freatickými slučkami prítokových a odtokových sifónov (pozri Ford a Ewers, 1978; Ford, 2000). Naopak podlahové vyhĺbeniny na terajšom riečisku sa vyrovnávajú akumuláciou fluviálnych sedimentov.

Posledná kaskáda podzemného vodného toku v Jazernej chodbe pred odtokovým sifónom smerujúcim k Brestovskej vyvieračke predstavuje prechod medzi vadóznymi a freatickými podmienkami prúdenia vody. Na miesto, kde sa gravitačný vodný tok mení na tok podmienený hydrostatickým tlakom, Palmer (1987) v súvislosti s vývojom jaskynných úrovní vzťahuje tzv. piezometrický limit. V mieste uvedenej kaskády nastáva vadózne zahlbovanie riečiska spätnou eróziou od odtokového sifónu smerom proti prítoku vody. Zahlbovanie terajšieho riečiska v Brestovskej jaskyni predstavuje vadózne zrezávanie výstupov skalného podložia medzi pôvodnými freatickými slučkami v nadväznosti na výškový rozdiel medzi hladinou vody v odtokových a prítokových sifónoch.

Vyrovnávanie pozdĺžneho profilu odvodňovacej chodby sa miestami udialo aj v čase jej freatického, resp. epifreatického vývoja vytváraním prepájacích chodieb medzi hornými ohybmi freatických slučiek po vyplnení ich spodných kolenovitých častí naplavenými sedimentmi (tzv. *bypassing* pozri Ford a Ewers, 1978; Ford, 2000). Takúto spojovaciu chodbu vidieť medzi úsekom Brodňanského riečiska za Gotickou bránou a severovýchodným okrajom Zubereckej chodby, ktorá v staršej vývojovej fáze bola pokračovaním odvodňovacej chodby. Bývalá freatická slučka vytvorená v mieste priečnej tektonickej poruchy sa skrátila rúrovitou chodbou, na ktorú nadväzoval vývoj hornej časti Zubereckej chodby.

ZÁVER

Vykonaným geomorfologickým výskumom Brestovskej jaskyne sa získalo množstvo nových poznatkov o jej morfológii a genéze, ako aj o geochronológii jej vývoja. Keďže vývoj jaskyne do značnej miery súvisí aj s vývojom okolitého terénu, najmä vzhľadom na pozíciu výveru podzemných vôd na povrch, tieto poznatky možno využiť aj na skúmanie a rekonštrukciu geomorfologického vývoja okraja Západných Tatier na styku s Podtatranskou brázdou. Načrtnutú geochronológiu vývoja Brestovskej jaskyne možno porovnať s podobnými jaskyňami alogénneho krasu, ktoré sa vytvárali v predpolí mladopleistocénnych horských ľadovcov. Predložené geomorfologické poznatky sú súčasťou komplexnej prezentácie prírodných hodnôt národnej prírodnej pamiatky Brestovská jaskyňa.

LITERATÚRA

ALEY, T. 1964. Echinoliths - an important solution feature in the stream caves of Jamaica. Cave Notes, 6, 1, 3-5.

AUDRA, PH. 1994. Karsts alpins. Genèse de grands réseaux souterrains. Examples: le Tennengebirge (Autriche), l´Ile de Crémieu, la Chartreuse et le Vercors (France). Thèse à l´ Université J. Fourier, Grenoble. Fédération française de spéléologie, Paris - Association française de karstologie, Bordeaux. Karstologia, Mémoires, 5, 280 p.

BELLA, P. 1985. Pokus o morfometrickú klasifikáciu podzemných krasových foriem z hľadiska vertikálnej členitosti. Slovenský kras, 23, 233-242.

BELLA, P. 1995a. Princípy a teoreticko-metodologické aspekty klasifikácie morfologických typov jaskýň. Slovenský kras, 33, 3-15.

BELLA, P. 1995b. Ku genéze ponorných fluviokrasových jaskýň alogénnych území Západných Karpát. In Hochmuth, Z. Ed. Reliéf a integrovaný výskum krajiny. Zborník referátov z vedeckej konferencie, Prešov, 7-18.

BELLA, P. 1998. Základné morfogenetické typy koróznych krasových a fluviokrasových jaskýň Západných Karpát. Prírodné vedy, 30, Folia Geographica, 2, Prešov, 305-315.

BELLA, P. 2001. Rútenie a morfológia jaskynného georeliéfu. Slovenský kras, 39, 15-24.

BELLA, P. 2004. Laterálne výklenky a zárezy vyhĺbené v skalných stenách jaskýň. Aragonit, 9, 9-19.

BELLA, P. 2007a. Zvislé a šikmé žľaby v jaskyniach - základné morfogenetické znaky a typológia. Aragonit, 12, 10-18.

BELLA, P. 2007b. Základné morfologické a hydrografické znaky genézy Brestovskej jaskyne. Abstrakty, 6. vedecká konferencia „Výskum, využívanie a ochrana jaskýň", Ždiar 1. - 5. 10. 2007. Aragonit, 12, 131.

BELLA, P. 2008. Skalné výčnelky, piliere a priečky v jaskyniach - základné morfologické a genetické znaky. Aragonit, 13, 2, 3-10.

BELLA, P. - URATA, K. 2003. Fluktuačné záplavové a postzáplavové vertikálne žľaby v jaskyniach - základné poznatky a typológia. Aragonit, 8, 10-14.

BINI, A. - CAVALLI, M. - GORI, S. 1978. A critical review of hypotheses on the origin of vermiculations. International Journal of Speleology, 10, 1, 11-33.

BÖGLI, A. 1978. Karsthydrographie und physische Speläologie. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 292 s.

BRODŇANSKÝ, J. 1958. Brestovská jaskyňa. Slovenský kras, 1, 114-115.

BRODŇANSKÝ, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 2, 128-130.

BRODŇANSKÝ, J. 1975. Prieskum Brestovskej jaskyne a okolia. Krásy Slovenska, 52, 1, 10-13.

DROPPA, A. 1972. Kras skupiny Sivého vrchu v Západných Tatrách. Československý kras, 23 (1971), 77-98.

DROPPA, A. 1973. Prehľad preskúmaných jaskýň na Slovensku. Slovenský kras, 11, 111-157.

EWERS, R. O. 1966. Bedding-plane anastomoses and their relation to cavern passages. Bulletin of the National Speleological Society, 28, 3, 133-140.

FORD, D. C. 1965. Stream potholes as indicators of erosion phases in limestone caves. Bulletin of the National Speleological Society, 27, 1, 27-32.

FORD, D. C. 1977. Genetic classification of solutional cave systems. In Ford, T. D. Ed. Proceedings of the 7th International Congress of Speleology, Sheffield. International Union of Speleology & British Cave Research Association, 189-192.

FORD, D. C. 2000. Speleogenesis Under Unconfined Settings. In Klimchouk, A. B. - Ford, D. C. - Palmer, A. N. - Dreybrodt, W. Eds. Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, U. S. A., 319-324.

FORD, D. C. - EWERS, R. O. 1978. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. Canadian Journal of Earth Sciences, 15, 1783-1798.

GAMS, I. 1994. Types of contact karst. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 17, 37-46.

GROSS, P. - KÖHLER, E. - SAMUEL, O. - SNOPKOVÁ, P. - BYSTRICKÁ, H. 1993. Podtatranská skupina (vnútrokarpatský paleogén). In Gross, P. - Köhler, E. - Haško, J. - Halouzka, R. - Mello, J. - Nagy, A. a kol.: Geológia južnej a východnej Oravy. GÚDŠ, Bratislava, 68-116.

HALOUZKA, R. 1987. Stratigrafia a geologicko-paleografický vývoj kvartéru v Západných Tatrách a ich predpolí. Čiastková záverečná správa, GÚDŠ, Bratislava, 48 s., 19 príl.

HALOUZKA, R. 1993. Kvartér Oravskej kotliny a dolín horského povodia Oravy. In Gross, P. - Köhler, E. - Haško, J. - Halouzka, R. - Mello, J. - Nagy, A. a kol.: Geológia južnej a východnej Oravy. GÚDŠ, Bratislava, 122-144.

HALOUZKA, R. - RACZKOWSKI, W. 1993. Kvartér. In Nemčok, J. Ed. Vysvetlivky ku geologickej mape Tatier 1:50 000. GÚDŠ, Bratislava, 67-98.

HÄUSELMANN, PH. - JEANNIN, P. Y. - LAURITZEN, S. E. - MONBARON, M. 2002. The role of the epiphreatic zone and the surrounding environment in cave genesis: The Siebenhengste example. In Gabrovšek, F. Ed.: Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation. Založba ZRC, Carsologica. Postojna - Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU, 309-318.

HÄUSELMANN, PH. - JEANNIN, P. Y. - MONBARON, M. 2003. Role of the epiphreatic zone and soutirages in conduit morphogenesis: the Bärenschacht example (BE, Switzerland). Zeitschrift für Geomorphologie, 42, 2, 171-190.

HERCMAN, H. - GRADZIŃSKI, M. - BELLA, P. (2008). Evolution of Brestovská Cave based on U-series dating of speleothems. Geochronometria (in print).

HOCHMUTH, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 22, 151-156.

HOCHMUTH, Z. 1997. Vzťah hladiny podzemných riečisk k pozdĺžnemu profilu dolín v alogénnom krase na príklade Jánskej a Demänovskej doliny. Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešoviensis, Prírodné vedy, 28, Prešov, 103-121.

HOCHMUTH, Z. 2000. Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku. SSS, Prešov - Košice, 164 s.

JAKÁL, J. 1993. Geomorfológia krasu Slovenska. Mapa 1 : 500 000. Slovenský kras, 31, 13-28.

JANOČKO, J. - ŽEC, B. - KAROLI, S. - BARÁTH, I. 1999. Základy environmentálnej sedimentológie. Vydavateľstvo M. Vaška, Prešov, 261 s.

LAURITZEN, S. E. - LUNDBERG, J. 2000. Solutional and erosional morphology. In Klimchouk, A. B. - Ford, D. C. - Palmer, A. N. - Dreybrodt, W. Eds. Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, U. S. A., 408-426.

LISMONDE, B. 2000. Corrosion des cupoles de plafond par les fluctuations de pression de l´ air emprisoné. Karstologia, 35, 39-46.

MAZÚR, E. 1955. Príspevok k morfológii povodia Studeného potoka v Liptovských Tatrách. Geografický časopis, 7, 1-2, 15-45.

MUCKE, B. - VÖLKER, R. - WADEWITZ, S. 1983. Cupola formation in occasionally inudated cave roofs. Evropejska regionalna konferencia po speleologija, Sbornik ot materiali, 2, Sofia, 129-132.

NEMČOK, J. ET AL. 1994. Geologická mapa Tatier 1:50 000. GÚDŠ, Bratislava.

OSBORNE, A. 2004. The troubles with cupolas. Acta carsologica, 33/2, 9-36.

PALMER, A. N. 1987. Cave levels and their interpretation. National Speleological Society Bulletin, 49, 2, 50-66.

PALMER, A. N. 2000. Hydrogeologic Control of Cave Patterns. In Klimchouk, A. B. - Ford, D. C. - Palmer, A. N. - Dreybrodt, W. Eds. Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers. NSS, Huntsville, Alabama, U. S. A., 77-90.

PALMER, A. N. 2001. Dynamics of cave development by allogenic water. Acta carsologica, 30, 2, 13-32.

PALMER, A. N. 2002. Speleogenesis in Carbonate Rocks. In F. Gabrovšek, Ed. Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation. Založba ZRC, Carsologica, Postojna - Ljubljana, 43-59.

PALMER, A. N. - AUDRA, PH. 2004. Patterns of caves. In Gunn, J. Ed. Encyclopedia of Caves and Karst Sciences. Fitzroy Dearbon, New York - London, 573-575.

PANOŠ, V. 2001. Karsologická a speleologická terminologie. Knižné centrum, Žilina, 352 s.

REICHWALDER, P. - JABLONSKÝ, J. 2003. Všeobecná geológia 2. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 247-508.

SLABE, T. 1995. Cave rocky relief and its speleogenetical significance. Zbirka ZRC, 10, ZRC SAZU, Ljubljana, 128 p.

VLČEK, L. - PSOTKA, J. 2006. Geologický prieskum NPP Brestovská jaskyňa. Manuskript, SSJ, Liptovský Mikuláš, 31 s.

WHITE, E. L. - WHITE, W. B. 1968. Dynamics of sediment transport in limestone caves. Bulletin of the National Speleological Society, 30, 4, 115-129.

WHITE, W. B. 1988. Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. Oxford - New York, 464 p.

WÓJCIK, Z. 1968. Rozwój geomorfologiczny wapiennych obszarów Tatr i innych masywów krasowych Karpat Zachodnich. Prace Muzeum Ziemi, 13, 3-169.

GEOMORPHOLOGICAL SETTINGS OF BRESTOVSKÁ CAVE

Summary

The Brestovská Cave is situated at foot of the Western Tatra Mts. near the village of Zuberec (the eastern part of Orava region). The cave presents the throughflow part of underground hydrological system formed by allochtonous ponor waters on the left side of Studený Stream Valley.

The ponor zone in the riverbed of Studený Stream is located near the Ponor Cave of Studený Stream at 886 m a. s. l. Ponors in the Volariská and Múčnica side smaller valleys are located at 925 to 910 m a. s. l. and 976 m a. s. l. The resurgence of underground stream at 851 m a. s. l. is situated ca. 250 m downstream from the entrance of Brestovská Cave. Within the underground hydrological system the ponors, dry cave parts and the resurgence are divided by siphons or water-filled conduits.

Vadose drawdown passages are assumed in the ponor zone that were formed in consequence of hydraulic gradient among the ponors in the main valley and side valleys at the contact non-karst and karst rocks and lower situated segments of subhorizontal and horizontal water circulation in the underground (Bella, 2007 in sense of Ford 1977, 2000 or Ford and Ewers, 1978). The known parts of ponor caves of Studený Stream and Volariská Brook present fragments of the vadose drawdown passages. These mostly subvertical segments are connecting with subhorizontal conduits in the unknown part of the underground hydrological system. Segments of epiphreatic subhorizontal passages divided by several phreatic loops occur in the throughflow and outflow parts of the hydrological system.

The lenght of the cave is more than 1,450 m. Its consists of two storeys. The vertical extent between the lower storey with an active underground allochtonous stream and the inactive upper storey is 5 to 10 m. In several places, the origin of upper storey was conditioned by the lithological contact of Triassic carbonates and overlying Palaeogene carbonate conglomerates of Borovské Formation (Vlček and Psotka, 2007). This cave storey is featured by phreatic morphology of lopsided passages. Its zig-zag longitudinal profile relates to phreatic loops, partly dissected during the younger stages of cave development (cf. Ford and Ewers, 1978 or Ford, 2000). Many ceiling cupolas and pockets, spongework hollows and blind rock holes refer to the phreatic origin of this cave storey without distinct epiphreatic water table features. Only fine-grained deposits are known in the upper storey.

The lower storey consists of wider almost horizontal passages with the underground stream divided by several siphons. The deepest siphon reaches 17 m (Hochmuth, 1984). Primary, the horizontal passages were formed in phreatic conditions. They were remodelled in epiphreatic and vadose conditions during younger developmental phases. The floor of the passages is filled with allochtonous clastic deposits (interbedded clay, sand and gravel). Their total thickness is ca. 1.8 m. The longitudinal profile of underground stream was partially levelled by erosion lowering of bedrock floor protrusions and filling of depressions by fluvial sediments. In more spacious places, original phreatic and epiphreatic passages and halls are partially remodelled by breakdown.

The transitional developmental phase between upper older and lower younger cave passages is sculptured by epiphreatic, partially also vadose corrosion forms resulted by remodelling of original phreatic conduit of the horizontal part of Zuberecká Passage. In this place, lateral notches were deepened into rock walls by slowly flowing or stagning water in front of the barrier rock step of upper part of the passage where an outflow of water was limited by dimensions of floor rock holes leading to the conduit of siphon circulation between the Brodňanského Riverbed and Jazerná Passage.

The underground stream has outflowed to surface through the recent cave entrance or adjacent conduits during older developmental phase, and through the Brestovská Resurgence during younger developmental phase. According to Wójcik (1968) the origin of the lower storey of Brestovská Cave relates to the main stadial of the Würm glacial; the upper storey is older, but it was also remodelled during the last glacial. Similarly, Droppa (1972) supposed the possible rising up of water-table due to the accumulation of glacifluvial sediments in the mouth of the valley. The phreatic developmental phase of upper storey is older than 200 ka (Hercman et al., 2008). In the same time, the original well-permeable passages of lower storey captured the water from the upper storey and formed main drained conduits of underground allochtonous waters inflow to underground through ponors. The lower cave storey must have been partly dewatered around 64 ka (Hercman et al., 2008). The flowstone of this age is located at 1.8 m above the rock bottom of the passage covered by thick series of clays, sands and gravels. The upper part of clastic sediments represented by sands and gravels is younger than this flowstone. The results of radioisitopic dating of carbonate speleothems prove that the cave

was originated earlier than preliminary assumptions of Wójcik (1968) and Droppa (1972). Since the lower storey of Brestovská Cave existed with underground stream around 200 ka, the valley was probably incised in that time approximately to the same level as at present. But the last two glaciations did not cause its further intense downcutting (Hercman et al., 2008).

The corrosion of several generation flowstones located about 7 m above the recent riverbed were caused by repeated flooding of the cave by invasion waters during the decline of the last glacial stage (between 50 ka and Holocene; Hercman et al., 2008). The thick layer of fine-grained deposits transported in suspension were deposited in the several parts of upper storey during their floodings. The common occurrence of vermiculations on the cave walls (various structures of mud cover residues) reaching the level of about 10 to 12 m above the riverbed. The glacifluvial deposits of large fan in the mouth of the valley blocked the resurgence of allochtonous waters. During Holocene the upper storey and the parts of lower storey were again dewatered after the decrease of water supply into the cave and the exhumation of the resurgence from glacifluvial deposits. Dolines started to develop in the outwash fan and they introduced the cobbles from glacifluvial cover into underlying cave passages. The youngest generation of carbonate speleothems were formed in the vadose conditions.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	55 - 60	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

MORFOLÓGIA A GENÉZA FREATICKEJ ČASTI BRESTOVSKEJ JASKYNE

ZDENKO HOCHMUTH

Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta Univerzity P. J. Šafárika, Jesenná 5, 041 00 Košice; hochmuth@upjs.sk

Z. Hochmuth: Morphology and genesis of phreatic parts of Brestovská Cave

Abstract: The research has been focused on the Brestovská Cave since the classic period of the speleodiving in Slovakia. In 1978, the diving club from Trenčín discovered an extensive horizontal continuation and river channel system with abundant siphons. The author of this paper was involved in the surveying and mapping of the siphons and the cave behind them. After further research at different speleosites and speleoareas of similar properties, one can revise previous findings and also bring forward new ideas on formation of siphonal parts of allogenic karst in the contact zone of the Tatry Mountains and their foothill region.

Key words: speleodiving, phreatic zone, siphon, allogenic karst, Brestovská Cave

ÚVOD

Sifonálne úseky v Brestovskej jaskyni pri vyústení Roháčskeho (Studeného) potoka do Podtatranskej brázdy v blízkosti hornooravskej obce Zuberec boli známe od počiatku jej poznávania. Okrem starších prác poľských autorov sa problematiky sifónov v Brestovskej jaskyni dotkol J. Brodňanský (1957, 1959). Popri publikovaní mapy jaskyne v Slovenskom krase a príspevku v Krásach Slovenska jeho aj ostatných autorov píšucich o jaskyni upútali najmä neznáme úseky jaskyne a podzemného vodného toku od ponoru Roháčskeho potoka po prítokový sifón v jaskyni, ako aj od odtokového sifónu pri vchode až po vyvieranie na povrch. O ich vzájomnej súvislosti nebolo pochybností, pretože reguláciou vody v ponore občania Zuberca oddávna regulovali prietok vyvieračky využívanej na pohon píly.

SPELEOPOTÁPAČSKÉ PRIESKUMY

V dňoch 9. - 11. 5. 1968 uskutočnili prieskum prítokového sifónu potápači Zväzarmu zo Žiliny. Pokus zopakovali v auguste 1968 počas Jaskyniarskeho týždňa obnovujúcej sa Slovenskej speleologickej spoločnosti. Potápali sa P. Derkič a L. Sedlačko. Vtedy dosiahli najnižšie miesto sifónu, údajne zasahujúce do hĺbky 23 m a vzdialenosti 55 m (Chovan, 1969).

Ďalší pokus uskutočnila skupina Aquaspel dňa 1. 4. 1974. P. Ošust so Švajčiarom A. Schärerom zaplávali údajne spolu 170 m, podľa T. Sasváriho (1975) až 185 m. Vzdialenosť značne nadsadili, ako sa neskôr ukázalo po podrobnom zameraní sifónu. Avšak podľa publikovanej mapky (Sasvári, 1999, s. 51) skutočne zaplávali až takmer na koniec výstupnej vetvy. Dosiahli aj vzduchovú bublinu pred jej koncom, ale nevynorili sa v suchých častiach.

Ďalšie potápačské prieskumy organizovala oblastná skupina SSS z Trenčína, ktorá sa špecializovala na jaskynné potápanie. Až 120 m dlhý 1. sifón prekonali J. Kucharovič a V. Sláčik

29. 4. 1978. Potom nasledovalo viacero akcií v rokoch 1979 - 1984. Počas akcie v dňoch 12. - 15. 7. 1981 sa časti za 1. sifónom podrobne zamerali. V rokoch 1982 - 1984 sa dvoma rôznymi metodikami zameral aj 1. sifón a vyhotovila sa celková mapa jaskyne (Hochmuth, 1984).

Od tých čias sa uskutočnilo niekoľko pokusov a cvičných akcií: cvičný zostup Speleoaquanautu v roku 1997 s neúspešným potápaním v 5. sifóne, zostup neregistrovaných českých potápačov, ako aj skupiny bratislavských potápačov pod vedením R. Korima v roku 1999, ktorí v spolupráci s oblastnou skupinou SSS Orava pomocou vysielačiek vyhľadávali vhodné miesto na prerážku za 1. sifónom.

V Brestovskej vyvieračke (vyvieračke Števkovského potoka) v rokoch 1987 - 1989 speleopotápačský prieskum vykonávala pracovná skupina SPK Západ (J. Kucharovič, Ľ. Kokavec a F. Ondrejka), o čom existujú technické denníky i plán. V známych častiach sa potápala v roku 1999 skupina R. Korima z Bratislavy.

CHARAKTERISTIKA FREATICKÝCH ÚSEKOV JASKYNNÝCH PRIESTOROV

V publikácii o problémoch speleologického prieskumu podzemných vodných tokov na Slovensku (Hochmuth, 2000) sa podrobnejšie charakterizovali sifóny Brestovskej jaskyne z hľadiska perspektív a organizácie potápačského prieskumu. Všimneme si teraz najmä morfologické črty jednotlivých sifonálnych úsekov.

1. sifón. Známy prítokový sifón v priestoroch tzv. Starej jaskyne je najznámejší, najlepšie preskúmaný a zdokumentovaný. Zároveň aj najdlhší a najhlbší v jaskyni. Jeho poloha je jasná z plánu jaskyne od J. Brodňanského (1959). Od piesčitej pláže a bývalej plošiny pre potápačov nasleduje ešte asi 15 m vzdušného riečiska s hĺbkou cca 0,5 m. Potom sa začína vlastný sifón, smerujúci spočiatku na východ (obr. 1). Sifón klesá pod uhlom asi 30° nadol. Chodba je tu erodovaná, na stenách vyčnievajú vodorovné skalné „brity" a kulisy (pendanty) z odolnejších častí horniny, na dne je riečny štrk a piesok. Rozmery sifónu sú také, že bez problémov možno plávať s klasicky usporiadaným výstrojom. Profil chodby je priemerne asi 1,5 x 2 m (výška x šírka). Zostupná vetva má na dne kal, ale ten rýchlo odnáša prúdiaca voda. V najnižšom mieste sifónu je vpravo zúženie či vodorovná škára. Tu je profil 0,7 x 1,5 m. Zostupná vetva je dlhá 40 m, najhlbšie miesto má hĺbku 17 m.

Výstupná vetva sa stáča smerom na juh, rozširuje sa, keďže je tvorená na mohutnej vertikálnej poruche. Šírka sifónu je tu 1,5 až 2,5 m, výška 4 až 5 m. Dno pokrýva piesok až kal, na dne sú pieskové čeriny. Prúdenie v takomto veľkom profile je slabé. Chodba mierne stúpa, asi po 50 m je v strope vzduchová bublina, po 70 m sa sifón končí na mieste, kde je zaklinený mohutný balvan. Dĺžka sifónu je 118,25 m, podľa dĺžky vodiacej šnúry sa predtým udávala cca 125 m.

Obr. 1. Vstup do 1. sifónu, potápači V. Sláčik a R. Košč. Foto: Z. Hochmuth
Fig. 1. Entrance to 1st siphon, divers V. Sláčik and R. Košč. Photo: Z. Hochmuth

2. sifón. Je dlhý iba asi 5 m a predstavuje zníženinu stropu na riečisku. Sifón nie je presne zameraný - polygónový ťah sa viedol po suchej chodbe. Vstup do sifónu je na mieste, kde sa riečisko značne zužuje

až asi na 70 cm a klesá do hĺbky. Hore sa dá skôr obťažne vyjsť do suchých častí „okienkom". Sifón je pomerne priestranný, priemer chodby asi 2 x 3 m, na dne je piesok. Dá sa obísť po suchu, ale pri presune jaskyňou k záverečnému sifónu aj s potápačským výstrojom je asi vhodnejšie plávať cez tento sifón.

3. sifón. Sifón je dlhý 22 m, hĺbku má okolo 5 m a generálne smeruje na JV. Ani tento sifón nie je celkom presne zameraný, lebo polygónový ťah sa viedol po suchu. Sifón je spočiatku rozľahlý, vstup doň predstavuje jazierko v dne suchej obchádzky, ktoré je vlastne iba istým prelomením stropu - prúdnica ide nižšie, takže pri plávaní cez 2. sifón možno bez výstupu na hladinu pokračovať ďalej do 3. sifónu. Sifón má vľavo dve tesné odbočky (nie je známe, že by cez ne niekto vyliezol), ktoré sa prejavujú ako jazierka v obchádzke. Nakoniec sa sifón mení na vysokú puklinu, ktorá vyúsťuje na plytké riečisko pred miestom, kde v roku 1981 bol tábor.

4. sifón. Vstup do sifónu predstavuje zníženinu na riečisku po krátkom sifónovitom úseku, dlhom asi 5 m, ktorý sme nečíslovali. Vlastný 4. sifón sa nachádza na konci meandrujúceho riečiska. Je dlhý 20 m a veľmi plytký, hlboký iba asi 1 až 2 m. Do šírky je značne rozľahlý. Vedie smerom na SV (proti smeru toku) a končí sa na riečisku v mieste, kde sa zásadne mení jeho smer na juh. Sifón sa dá tiež ľahko obísť dvoma paralelnými chodbami, južnejšia je schodnejšia.

5. sifón. Nachádza sa na konci riečiska smerujúceho proti smeru toku od 4. sifónu na JJZ. Vstup je charakteru pomerne vysokej a úzkej chodby. V 5. sifóne sa potápali potápači z Trenčína (J. Kucharovič). Podľa ich údajov je sifón založený na vertikálnej pukline, ktorá je po cca 20 m neprielezná s klasicky usporiadaným výstrojom. Novšie poznatky priniesol D. Hutňan, ktorý tu v dňoch 14. 8. 1997 a 28. 2. 1998 zorganizoval akcie s členmi skupiny Českej speleologickej spoločnosti (ČSS) Speleoaquanaut (K. Císař, T. Přibyl, J. Polívka, P. Nakládal, P. Krejčík a F. Záhumenský). Pri oboch pokusoch sa potápali v 5. sifóne a skúmali možnosť jeho prekonania. Skončili v jeho dolnej časti na mieste, kde prúd vody tlačí proti potápačovi čiastočky piesku z neprielezného okna na dne. Jedna akcia ČSS v jaskyni sa uskutočnila aj v roku 1999.

Sifón pri vchode. Vstupná chodba jaskyne hneď za vchodom vedie vodorovne. Na jej dne sa objavuje vodný tok, ktorý sa prekonával po drevenom premostení. Podľa plánu jaskyne (Brodňanský, 1959) toto miesto predstavuje vyústenie sifónu, ktorým sa v smere toku končí „vzdušné riečisko". Keďže z hľadiska spojitosti prúdenia vôd je situácia jednoznačná, nebola potreba sifón potápačsky prekonávať a ani nie sú informácie o jeho prieskume.

Odtokový sifón pri vchode. Od „sifónu pri vchode" vedie niekoľko metrov riečisko až takmer pod priepastný vchod do jaskyne. Tu sa vľavo stráca voda v odtokovom sifóne, resp. polosifóne. Nachádza sa tu drevo napadané od vchodu. Máme iba ústne informácie, že tu boli pokusy v období aktivity trenčianskych potápačov (v rokoch 1979 - 1982) potápať sa v smere na vyvieračku. Až v novšom období jaskyniari z oblastnej skupiny SSS Orava prekonali polosifón a preskúmali pomerne dlhú Jazernú chodbu (nepublikované), ktorá sa končí sifónom. V chodbe boli údajne už jaskyniari generácie J. Brodňanského, ale údaje o tom dosiaľ neboli publikované.

Ponorová jaskyňa. Nachádza sa povyše horárne Brestová asi 400 m, na ľavom (južnom) brehu Studeného potoka. Vchod tvorí markantná puklina pod skalnou stienkou, ktorú potok podtína a tu sa aj čiastočne ponára. Chodby za vchodom priepasťovite klesajú do hĺbky asi 12 m. Táto časť jaskyne má tendenciu sa zaľadňovať. Jaskyňa, predstavujúca ponor, je prístupná iba za situácie, keď voda do ponoru netečie. S týmto zámerom tu dávnejšie miestni obyvatelia vybudovali drevenú hrádzu (jej zvyšky dodnes vidieť). Súvislosť ponoru a vyvieračky bola a je nepochybná. Za suchého stavu vodu nevidieť. Predpokladaný sifonálny úsek je nepriechodný aj za stavu pri odrazenom vodnom toku.

Vodný tok v Jaskyni v závrte. Na lúke medzi skanzenom a vchodom do jaskyne sa nachádza osem zalesnených závrtov. A. Droppa (1972) predpokladá, že keďže sa nachádzajú v jednej línii, signalizujú priebeh vodného toku. V jednom z nich je možnosť zostúpiť k vodnému toku (Jaskyňa v závrte) - medzi odtokovým sifónom z Brestovskej jaskyne a vyvieračkou. Možnože ide o závrt, do ktorého sa roku 1952 prepadol povoz aj s koňmi, o čom píše J. Brodňanský (1958). Pokiaľ je známe, na tomto mieste sa dosiaľ speleopotápačský prieskum nerobil.

Sifón v Brestovskej vyvieračke. Nachádza sa asi 250 m Z od Brestovskej jaskyne. Vchod má charakter previsu, z ktorého vyteká vodný tok, a aj nižšie povrchový tok tečie sčasti popod previsy. Tok, ktorý preteká Brestovskou jaskyňou a neznámym sifónovým úsekom, sa v tejto vyvieračke opäť vynára. Výsledky prípadného farbiaceho pokusu nepoznáme, ale asi je situácia jednoznačná. Jaskyňa má iba ponorné časti, teda bez voľnej hladiny.

Vo vstupnom sifóne potápači prenikli do dĺžky 70 m pri hĺbke 9 m a sifón zamerali polygónovým ťahom s 11 bodmi. Podľa technických denníkov F. Kucharovič a Ľ. Kokavec mali preniknúť podstatne ďalej, ako ukazuje ich mapa publikovaná v publikácii Z. Hochmutha (2000). Problematické miesto na konci má šírku 2 m a výšku 40 cm, na dne je nános piesku, ktorý neumožňuje pri danom stave postup.

HYDROLOGICKÉ SÚVISLOSTI

Samotný Studený potok sa čiastočne ponára pri vtekaní na krasové územie v Ponorovej jaskyni. Ponorné sú aj niektoré jeho prítoky (Múčnica, Volariská), ktoré pritekajú od juhu a západu. Podzemné riečisko je známe iba sčasti. Poznáme pomerne dlhý úsek z Brestovskej jaskyne so štyrmi prekonanými sifónmi a vyvieračku Ševkovského potoka, ktorá predstavuje sústredený vývev vôd na povrch. Vzájomnú súvislosť potvrdil J. Brodňanský (1958, 1959) odrazením vody od ponoru, keď dokázateľne stav vody v jaskyni poklesol. Jeho kolorimetrická skúška v ponore v doline Múčnica však nebola úspešná.

Neúspešného pokusu s farbením ponoru v Ponorovej jaskyni v roku 1968 počas Jaskyniarskeho týždňa sa zúčastnil aj autor tohto príspevku. Značne rozdielne sú informácie o prietokoch. V auguste 1958 bol v Múčnici iba 2 $l.s^{-1}$ a vo Volariskách 3 $l.s^{-1}$.Výtok z vyvieračky sa udával na 20 $l.s^{-1}$. Vodu do ponoru odrážali obyvatelia Zuberca, ktorí tým zvyšovali prietok potoka potrebný na pohon píly.

A. Droppa (1972) uvádza iné údaje. Dňa 13. 7. 1969 po dažďoch sa ponáralo cca 1000 $l.s^{-1}$v ponore Studeného potoka, vo Volariskách cca 100 $l.s^{-1}$, pričom viditeľný ponor nezaregistroval (farbiaci pokus asi neuskutočnil). Ponárajúci sa potok Múčnica mal prietok 30 $l.s^{-1}$, ale už 1 km pred vyústením do doliny Studeného potoka. Vo vyvieračke Ševkovského potoka dosahoval prietok cca 1200 $l.s^{-1}$, pričom teplota vody bola 6,0 °C.

POZNÁMKY KU GENÉZE FREATICKÝCH ÚSEKOV BRESTOVSKEJ JASKYNE

Ako som už spomenul v príspevku o sifónoch v Demänovskom jaskynnom systéme (Hochmuth, 1995), tektonická predispozícia sifonálnych úsekov je iba jedna stránka podstatne zložitejšieho problému. Uvažoval som o tektonických princípoch vzniku sifónov na pôvodne vzdušnom riečisku. Poklesávajúca kryha podmieňuje buď obojstranné zostupné vetvy sifónu založené na tektonicky podmienených premodelovaných poruchách, alebo častejšie ide iba o jedinú poruchu, ktorá spravidla vytvára kratšiu, strmšiu vetvu sifónu. Modifikáciou tohto prípadu je situácia, keď je tektonická porucha šikmá, teda nie zvislá. Vtedy je sifón aj v pôdoryse zalomený.

Pri niektorých sifónoch v Brestovskej jaskyni túto schému možno využiť. Je to napríklad 5. sifón, ale čiastočne aj 2. a 3. sifón. Ale 4. sifón vôbec nie je vytvorený na nejakej markantnej poruche. Je veľmi plytký; ide o idealizovaný kolenovitý ohyb podľa Forda a Williamsa (1992).

Obr. 2. Morfológia freatických častí v obchádzke 3. sifónu. Foto: P. Marek
Fig. 2. Morphology of phreatic parts in the bypass of the 3rd siphon. Photo: P. Marek

V čase písania príspevku o genéze sifónov v Demänovskej doline (Hochmuth, 1995) sa nám tento výklad zdal celkom logický. Keďže nad sifónom pred Pekelným dómom sa nachádza Brková chodba, odkiaľ tektonicky neporušená chodba pokračuje cez Spojovaciu chodbu až do Pustej jaskyne, Bella (2000) poukázal na problémy zovšeobecňovania uvedeného názoru na vznik všetkých sifónov. Zamysliac sa nad možným mechanizmom v podmienkach, kde tektonika nie je taká aktívna, potom som náchylný prijať teóriu D. C. Forda (1989) o vývoji freatických kolien od hlbokofreatických až po plytkofreatické ich postupnou likvidáciou, ako to naznačuje obrázok v preklade Fordovej štúdie od P. Bosáka na str. 50 - 52. Vysvetlenie, prečo si voda nehľadá cestu a nepreniká (nepenetruje) ďalej po tektonickej poruche, teda prečo je práve tam „koleno" - ohyb, to dokonale nevysvetľuje. Prečo sa teda nevytvorilo priame spojenie v tektonicky značne porušenom prostredí?

Na príklade 1. sifónu v Brestovskej jaskyni sa pokúsime podať jedno z možných vysvetlení. Charakterom vôbec nezodpovedá uvedenej schéme. Jeho strmšia vetva (proti smeru toku klesajúca) je vytvorená na vrstvových plochách lavicovitých dolomitických vápencov.

V Brestovskej jaskyni i v Demänovskom jaskynnom systéme si možno všimnúť množstvo štrku, resp. piesku, ktorý v sifónoch driftuje. V časoch nižšieho prietoku ide o jemný sediment až kal, v čase väčších prietokov je v emulzii dokonca drobný štrk. Najatakovanejší je práve ohyb, koleno na najnižšom mieste sifónu. Tu nesený sediment vytvára akúsi „dýzu" s premenlivým prierezom. Tento prierez je niekedy taký úzky (zosúvaním na nestabilných svahoch), že práve on limituje potápačský prieskum. Tak je to v Brestovskej jaskyni v 5. sifóne, ako aj v Demänovskom jaskynnom systéme, napr. v Pekelnom sifóne alebo v sifóne v Achátovom dóme.

Práve existencia až priveľkého množstva tohto materiálu môže vytvárať priškrtenie alebo priamo bariéru, čím sa zvýši hladina v prítokovom ramene sifónu, za povodňových stavov aj do značnej výšky. Dokonca s P. Patekom sme sa na príklade 1. sifónu v jaskyni Vyvieranie v Demänovskej doline pokúšali odvodiť matematický vzťah medzi prietokom, prierezom dýzy a rozdielom hladín. Toto „priškrtenie" či bariéra môže viesť k penetrácii krasových vôd na iných plochách nespojitosti, vytvoreniu paralelných sifónov až po opustenie starých, zaštrkovaných.

Extrémne rýchla erózia a korózia možno využívala sčasti chodby staršej genézy. Iné staršie časti sú dnes zaštrkované a zanesené pieskom. O tom, že tvorba sifónov má značnú dynamiku, svedčia pohyby pieskových závejov a ich dynamika napr. v Demänovskom jaskynnom systéme. Pravdepodobne sa treba vrátiť k problematike rýchlosti korózie v týchto podmienkach, ako aj k možnosti vplyvu zmiešanej korózie primiešaním vôd z ponorov Múčnice a Volariská.

LITERATÚRA

Bella, P. 2000. Genetické typy jaskynných priestorov v Demänovskej doline. In Lacika, J. Ed. Zborník referátov z 1. konferencie Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV. Bratislava, 8-20.

Bella, P. 2007. Základné morfologické a hydrografické znaky genézy Brestovskej jaskyne. Abstrakty, 6. vedecká konferencia „Výskum, využívanie a ochrana jaskýň", Ždiar 1. - 5. 10. 2007. Aragonit, 12, 131.

Brodňanský, J. 1958. Brestovská jaskyňa. Slovenský kras, 1, 114-115.

Brodňanský, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne. Slovenský kras 2, 128-130.

Brodňanský, J. 1968. Z činnosti jaskyniarskej skupíny v Dolnom Kubíne. Slovenský kras, 7, 161-167.

Deván, P. 1985. Príspevok k poznaniu driftu bezstavovcov v Brestovskej jaskyni (Roháče). Slovenský kras, 23, 287-299.

Droppa, A. 1972. Kras skupiny Sivého vrchu v Západných Tatrách. Československý kras, 23, 77-98.

Ford, D. C. 1989. Charakteristiky jeskynních systémů vzniklých rozpouštěním karbonátových hornin. Knihovna ČSS, sv. 16, Praha, 66 s.

Ford, D. C. - Williams, P. W. 1992. Karst Geomorphology and Hydrology. Chapman & Hall, London - New York - Tokyo - Melbourne - Madras, 601 s.

Hochmuth, Z. - Kucharovič, J. 1983. Mapping and Documentation of Spelecus Spaces Behind Siphons an Example af the Brestova Cave. Abstracts of Papers, 6th Camp of Cave diving 1983, Lipovce.

Hochmuth, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 22, 151-156, 1 mapa.

Hochmuth, Z. 1995. Some notes Concerning the Research of the Phreatic zone in the Cave System of Demänova Valley. In Bella, P. Ed. Caves and Man. Proceedings of International Conference, Liptovský Mikuláš, 11-15.

Hochmuth, Z. 1999. Contribution on karst hydrography and hydrology in the Janska and Demanovska valleys. Volume of Abstracts. Theoretical-Metodological Problems of Geography, Related Disciplines and their Apliccations. Faculty of Natural Sciences Comenius University, Bratislava, 49-50.

Hochmuth, Z. 2000. Problémy speleologického výskumu podzemných tokov na Slovensku. Slovenská speleologická spoločnosť, Prešov - Košice, 164 s.

Chovan, A. 1969. Správa z jaskyniarskeho týždňa v Brestovej. Slovenský kras, 7, 149-154.

Marek, P. 1983. Brestovská jaskyňa. Speleofórum, 2, Brno, 10-11.

Sasvári, T. 1975. Za Petrom Ošustom. Spravodaj SSS, 6, 2, 37-38.

Sasvári, T. 1999. Historický prehľad činnosti a dosiahnuté výsledky oblastnej skupiny č. 33 Aquaspael. Spravodaj SSS, 30, 1, 50-54.

Technické denníky a správy oblastnej skupiny SSS Trenčín. Archív SMOPaJ, Liptovský Mikuláš.

MORPHOLOGY AND GENESIS OF PHREATIC PARTS OF THE BRESTOVSKÁ CAVE

Summary

The investigation of the siphonal parts of the Brestovská Cave using the directions of tectonic faults and bedding planes has proven the presumption of phreatic zone evolution. The suspended load of the fluvial sediment seems to play an important role as it forms narrowed - nozzle-like parts of the siphons.

In accordance with the recent findings (Ford, 1999; Bella, 2007) in the epiphreatic zone evolution, one can imply that the siphonal parts of the cave of a considerable length and depth (max. 120 m, -17 m) were formed along cross-sections of marked vertical faults and bedding planes. The reason why a direct connection of the channel did not develop in such a tectonically affected environment can be due to extremely fast erosion and corrosion following the corridors of the older genesis. The other parts are likely filled with gravel and sand. The evidence of a highly dynamic evolution of the siphons is given by the movements of sand drifts and their dynamics, e.g. in the Demänová cave system. Supposedly, further research should focus back on the speed of the corrosion in these conditions, and also on the possible effect of mixed corrosion due to mixing of waters from the Múčnica and Volariská ponors.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	61 - 66	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

ZAMERANIE 1. SIFÓNU V BRESTOVSKEJ JASKYNI

ZDENKO HOCHMUTH[1] - PETER PATEK[2]

[1] Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta Univerzity P. J. Šafárika, Jesenná 5, 040 01 Košice; zdenko.hochmuth@upjs.sk
[2] Ústav dopravnej techniky a konštruovania, Strojnícka fakulta SVŠT, Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava 1

Z. Hochmuth, P. Patek: Surveying the 1st siphon of the Brestovská Cave

Abstract: Geodetic surveying and mapping in a flooded subsurface environment such as cave siphons is a specific task. One issue is the moist and flooded environment which makes the use of usual surveying tools impossible. The fact that the speleological measurements are conducted with magnetically sensitive equipment (e.g. compass) means a risk of affecting the measurements by the diving equipment which consists of some magnetic parts (e.g. pressurised gas bottles). The paper describes a new mapping method which employs measurements of angles in a general plane. The method was applied in a case study of the Brestovská Cave.

Key words: geodetic surveying, speleological measurements, speleo-diving, Brestovská Cave

Zameranie l. sifónu Brestovskej jaskyne predstavovalo samostatný problém, ktorý bolo treba vyriešiť, aby sa mohlo napojiť zameranie novoobjavených častí Brestovskej jaskyne (Hochmuth, 1984) na jej dávnejšie známe časti (Brodňanský, 1959), ako aj na povrchové merania krasových javov v okolí (L. Krump, A. Chovan a S. Šrol v roku 1969). Následne by sa mohlo vytýčiť vhodné miesto na prerážku do priestorov za sifónom z povrchu, resp. z častí dávnejšie známych.

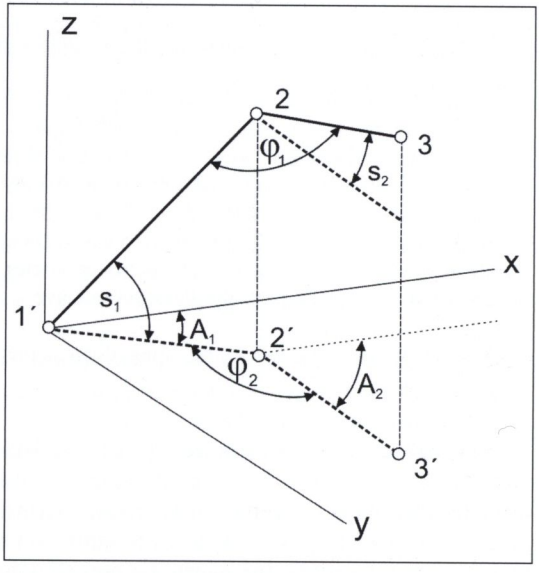
Vzhľadom na predpokladané práce na prerážke sa však požadovala podľa možností i dostatočná presnosť merania. Tú však v takom extrémnom prostredí je veľmi ťažké zabezpečiť. Problémy spôsobuje vlastné speleologické prostredie, ktoré je značne odchylné od bežného. Ide najmä o odlišné optické vlastnosti, nedostatočnú priehľadnosť, ktorá bráni viditeľnosti medzi bodmi. Z toho dôvodu treba vylúčiť prípadné optické zámery a obmedziť sa na zámery s meračskou šnúrou. Tu však navyše pristupuje problém prúdiacej vody - šnúra zaujme tvar krivky reťazovky (v ideálnom prípade). Ďalší problém spôsobujú oceľové fľaše, zásobníky vzduchu, ktoré potápač používa pri činnosti pod vodou. Keďže sa nepodarilo zabezpečiť fľaše iné, antimagnetické, napr. duralové, bolo potrebné i kompasové meranie prakticky vylúčiť a uvažovať o ňom iba ako o kontrolnom, orientačnom, resp. realizovať ho za predpokladu vyriešenia antimagnetického prostredia.

Do toho času neboli známe z československého ani zahraničného prostredia príklady presnejšieho mapovania sifónov. Prevažne sa používali menej presné potápačské kompasy, dĺžka sa merala pomocou značkovanej šnúry a hĺbka hĺbkomerom, ktorého presnosť sa pohybovala rádovo v metroch. Preto objavitelia i neskorší prieskumníci Brestovskej jaskyne z oblastných skupín Slovenskej speleologickej spoločnosti Trenčín a Ružomberok sa podujali na vývoj presnejšej metodiky a jej praktické uplatnenie.

Ako možná sa ukazovala metóda modifikovaného merania uhlov, a to tak vo vertikálnej, ako aj horizontálnej rovine, a dĺžok. Takto získané polárne prvky by sa potom výpočtom transformovali na ortogonálne súradnice bodov meraného polygónového ťahu alebo použili priamo na grafické znázornenie priebehu polygónového ťahu. Takéto zameranie však predpokladalo konštrukciu zvláštneho zariadenia, ktoré by bolo zrejme dosť komplikované, navyše s problematickou obsluhou.

Touto cestou sa vydal M. Lalkovič v spolupráci s Baníckou fakultou TU v Košiciach. Začal vyvíjať a konštruovať zariadenie, ktoré pracovne nazval „meračský tanier". Zavesené na vhodne stabilizovanom bode by umožňovalo odmerať horizontálny uhol medzi ramenami napnutej meračskej šnúry. Sklony by sa merali závesným sklonomerom a dĺžka pásmom. Jeho zariadenie však v čase merania nebolo k dispozícii.

P. Patek preto navrhol špeciálnu metódu merania vrcholových uhlov vo všeobecnej rovine. Metóda je založená na princípe, že sa vôbec nemeria horizontálny uhol φ_2, ale priamo vrcholový uhol na bode, čiže uhol φ_1 medzi ramenami dvoch strán polygónového ťahu 1´ - 2 a 2 - 3, ako to vidieť z priloženej grafickej schémy merania (obr. 1), s použitím relatívne jednoduchého zariadenia na báze uhlomera. Po odmeraní sklonov závesným sklonomerom a dĺžok pásmom je možné výpočtom odvodiť horizontálny uhol medzi zámernými priamkami (vo vodorovnej rovine), resp. za predpokladu, že je známy azimut počiatočnej strany, vypočítať azimuty jednotlivých strán polygónového ťahu. O tejto metóde sme referovali na 6. medzinárodnom speleopotápačskom tábore v Lipovci v Moravskom krase v roku 1983 (Hochmuth a Kucharovič, 1983). Stručne možno charakterizovať spomínaný vzťah takto:



Obr. 1. Grafická schéma princípu merania
Fig. 1. Graphic scheme of measurement principle

Ak poznáme azimut počiatočnej strany takto vytýčeného ťahu (A_1), sklon (S_1), vrcholový uhol (φ), sklon koncovej strany (S_2), potom vypočítame azimut koncovej strany (A_2) podľa vzorca:

$$A_2 = \begin{matrix} + \text{ (doprava)} \\ - \text{ (doľava)} \end{matrix} \frac{(\cos \varphi) - \sin S_1 . \sin S_2}{\cos S_1 . \cos S_2}$$

Dôležité je pritom dbať na orientáciu polygónového ťahu - či sa vo vodorovnej rovine na bode lomí ťah doprava alebo doľava. Keď takto poznáme azimuty polygónových strán, je pomocou meraných sklonov a dĺžok polygónových strán jednoduché polygónový ťah znázorniť graficky alebo jeho body práve ich prostredníctvom pretransformovať výpočtom do ortogonálnej sústavy (obr. 1).

Na splnenie tejto úlohy oblastné skupiny Slovenskej speleologickej spoločnosti Ružomberok a Trenčín začali s vývojom pomôcok. Výsledkom boli dva odlišné uhlomery:

1. Uhlomer oblastnej skupiny SSS Ružomberok. Vešia sa kĺbovým úchytom na bod, samočinne sa stabilizuje do roviny merania uhla a uhly sa odčítajú podobne ako na sklonomeri, prakticky bez dotyku meračskej šnúry.

2. Uhlomer oblastnej skupiny SSS Trenčín. Vešia sa na bod, resp. nasúva na zvláštne ukončenie bodu, ramená prístroja sa fixujú na meračskú šnúru a uhol sa odčíta na ryske. Po vzájomných konzultáciách a kontrolných meraniach prístroje preukázali presnosť merania lepšiu ako 20´; z praktických dôvodov sme uznali za vhodnejší uhlomer 2. typu, i keď tu bolo podozrenie na ovplyvnenie merania trením v kĺbe ramien.

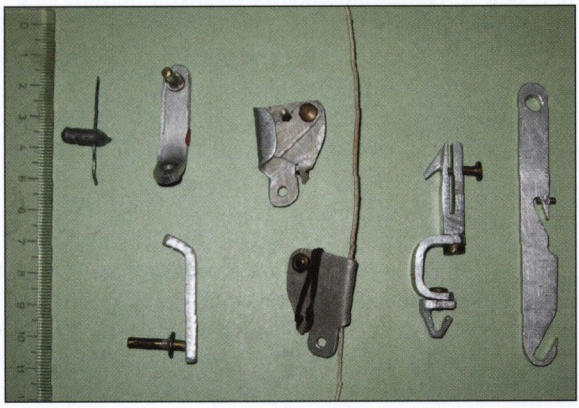
Na meranie sklonu sme použili sklonomer zo súpravy banského závesného kompasu Meopta. Na meranie dĺžok poslúžilo meračské pásmo delené po 1 cm.

Pri kontrolnom meraní sme sa rozhodli využiť aj upravený banský závesný kompas Meopta. Pôvodne sa mal použiť na kontrolu posledného bodu polygónového ťahu a na prípadné premeranie celého polygónového ťahu. Kompas sme vzduchotesne zapuzdrili prilepením hrubého skla na jeho vrchnú plochu a duralovej platne na spodnú plochu na vyváženie i zvýšenie odolnosti voči tlaku. Takto upravený kompas sa neskôr využíval aj inde (jaskyňa Skalistý potok, jaskyňa Vyvieranie v Demänovskej doline).

STABILIZÁCIA BODOV

I napriek predpokladanej vysokej prácnosti rozhodli sme sa stabilizovať všetky meračské body priamo do horniny (stien) sifónu. Vŕtanie otvorov ručnou vŕtačkou sa neosvedčilo, zato sa ukázalo uspokojivé vŕtanie sekáčom otvorov ∅ 5 mm, neskôr sme prešli na priemer 6 mm. Takto sa stabilizovali všetky body okrem bodov č. 2 a 4, ktoré sú uviazané na skalných hrotoch a vyvesené do priestoru. Vlastné meračské body sú v hornine fixované olovenými nitmi. Vývoj týchto bodov bol veľmi komplikovaný, pôvodné, s očkami na zavesenie uhlomera, sa vzhľadom na zvláštne upevnenie uhlomera č. 2 nedali použiť, preto sme vyvinuli nový typ, zakončený čapom ∅ 3 mm, na ktorý sa uhlomer nasúva a okolo ktorého je súčasne ovinutá meracia šnúra (obr. 2). Tieto body sa plne osvedčili.

Na označenie meračských bodov sa v prvej fáze použili plátenné zástavky, definitívne sa označili plastikovými štítkami s rozmermi 10 x 15 cm, červenej farby s vydierovanými číslami.



Obr. 2. Príslušenstvo na upevnenie meracieho zariadenia na meračský bod. Foto: Z. Hochmuth
Fig. 2. Fittings for fixing the measuring equipment to station point. Photo: Z. Hochmuth

PRIEBEH ZAMERIAVANIA

Na vlastné zameranie sifónu a prípravné práce sa vykonali štyri akcie oblastných skupín SSS Ružomberok, Trenčín a Dolný Kubín (obr. 3):

16. - 17. 4. 1982. Inštruktáž k meraniu, stabilizácia časti bodov v sifóne.

7. - 9. 5. 1982. Skončenie stabilizácie bodov, napnutie meračskej šnúry, zameranie prvých štyroch bodov polygónového ťahu, pričom sa zistilo, že meracie zariadenie treba zdokona-

liť. Po tejto akcii nasledovala takmer 2-ročná pauza z objektívnych i subjektívnych príčin. Počas nej došlo k zničeniu meračskej šnúry, ako i časti bodov. Veľká škoda, že vtedy sa meranie nedoviedlo do úspešného konca. Meračské práce sa obnovili až roku 1984.

17. - 19. 2. 1984. Inštruktáž a stabilizácia bodov, oprava zničených bodov.

5. - 8. 4. 1984. Dokončenie stabilizácie, napnutie šnúry, zameranie uhlomerom a utesneným banským závesným kompasom.

Zo všetkých akcií existujú technické denníky v archíve Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši, na ktorých sa podrobne opisujú výsledky akcií.

Obr. 3. Účastníci opisovaných meračských prác v Brestovskej jaskyni, medzi nimi v dolnom rade prvý sprava Z. Hochmuth, v hornom rade štvrtý zľava J. Šťastný, šiesty zľava V. Sláčik a posledný R. Košč. Foto: E. Nemethy

Fig. 3. Participants of described measuring works in the Brestovská Cave, among them in the lower line as the first from the right Z. Hochmuth; in the upper line the fourth from the left J. Šťastný, the sixth from the left V. Sláčik and the last one R. Košč. Photo: E. Nemethy

Aby sa vylúčili subjektívne vplyvy, sifón nezávisle merali Z. Hochmuth s P. Marekom a V. Sláčik. Na základe takto získaných hodnôt sme potom vypočítali súradnice jednotlivých bodov polygónového ťahu od bodu č. 1 až po bod č. 16, ktorý je totožný s bodom 0 zamerania nových častí Brestovskej jaskyne za sifónom (realizované z nameraných hodnôt vrcholových uhlov aj ako kontrolné i z kompasového merania).

Z hľadiska napojenia majú najväčší význam súradnice koncového bodu (16) vzhľadom na bod 0 (0,0,0). Podľa verzie „Hochmuth" sú to:

x = 43,45
y = -85,89
z = +0,40

Súradnicu *z* koncového bodu je však možné vyrovnať (zvislá os), ak predpokladáme pri nízkom prietoku praktickú totožnosť hladín, keďže je známa výška bodu 0 nad hladinou (+0,80 m) a bodu č. 16 pod hladinou (-0,20 m), a takto si urobiť i predstavu o chybe pri výškovom meraní, ktorá je podľa toho 0,60 m (0,20 + 0,40 m), čo vzhľadom na presnosť prístrojov, dĺžku polygónového ťahu, ako aj náročné podmienky môžeme považovať za prijateľné.

Okrem toho sme vyhodnotili i verziu „Sláčik", súradnica *z* koncového bodu sa nemení, hodnoty súradníc *x* a *y* sú:

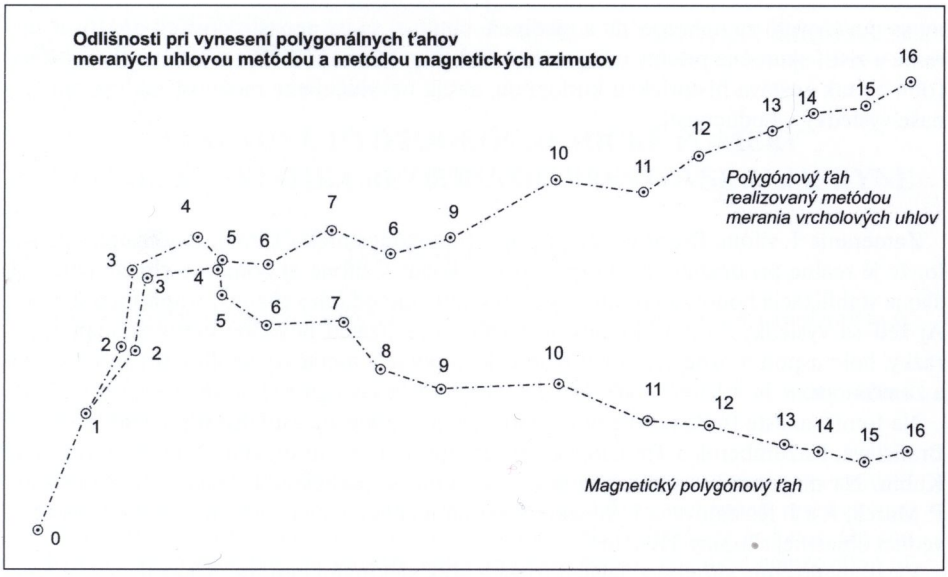
x = 47,87
y = 83,31

Hodnoty sú podobné, aj keď sa dosiahli azda menej presnými pomôckami.

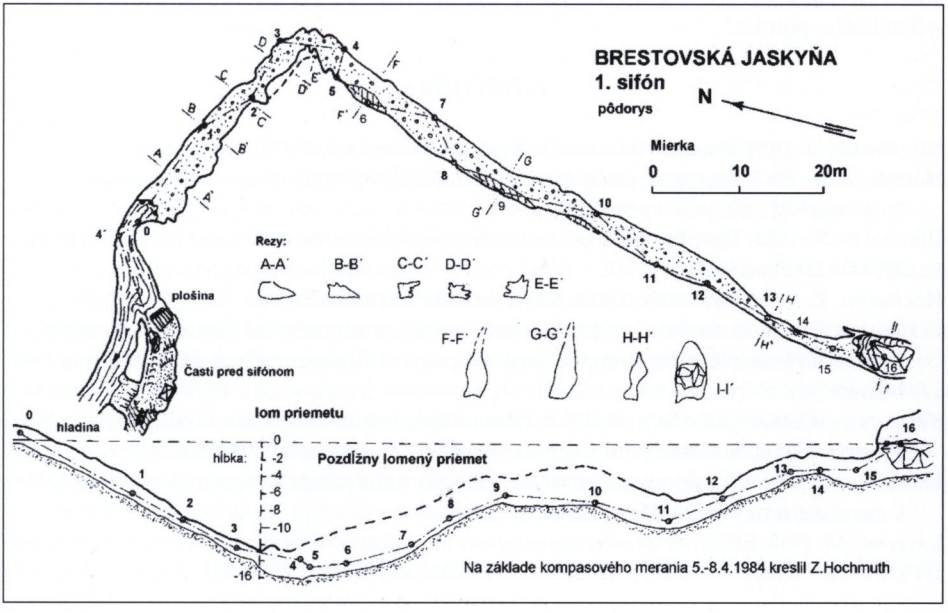
Kompasový ťah, pokladaný od začiatku pre premenlivé magnetické pole za pomocný, ukázal značné odchýlky (obr. 4). Pri nezmenenej hodnote súradnice *z* koncového bodu sú ostatné súradnice:

x = +7,80
y = -86,88

Rozdiel (odchýlka) oproti meraniu banským závesným kompasom je značný - približne 36 m. Je to skutočne neprijateľne veľká hodnota. So zreteľom na to, že výsledky oboch me-



Obr. 4. Polygónové ťahy kompasového a modifikovaného uhlového merania
Fig. 4. Polygonal lines of compass and modified angle measurement



Obr. 5. Pôdorys a rez 1. sifónom
Fig. 5. Ground plan and section of the 1st siphon

raní s využitím metodiky vrcholových uhlov boli podobné, uvažovali sme o tom, že chyba bola v meraní banským závesným kompasom. Neskôr prevládol názor, že problém mohlo spôsobiť relatívne silné prúdenie v sifóne, hlavne v jeho najužšej časti, kde sa aj polygónové ťahy najviac od seba líšia. Tu prúdenie vody mohlo ovplyvniť polohu a tvar meracej šnúry a vzniknutá chyba sa potom ďalej prenášala. V tom čase, keď vôbec prekonanie sifó-

nu sa považovalo za nebezpečnú a ojedinelú činnosť, sa už nenašlo dosť síl opakovať merania a zistiť skutočné príčiny takej veľkej odchýlky. Meranie 1. sifónu Brestovskej jaskyne (obr. 5) tak zostáva historickou kuriozitou, avšak nevylučujeme možnosť nadviazania na naše výsledky v budúcnosti.

ZÁVER

Zameranie 1. sifónu Brestovskej jaskyne, a to dokonca niekoľkými metodikami, potvrdilo, že je reálne pri dostatočnej bezpečnosti vykonať v sifóne aj pomerne zložité činnosti, ako je stabilizácia bodov, a potom vlastné merania metódami s rôznym stupňom presnosti. Aj keď sa výsledky meraní dodnes nevyužili na realizáciu pôvodne predpokladanej prerážky, bolo aspoň možné vyhotoviť plán celej jaskyne a meračsky spojiť časti spred sifónu a za sifónom.

Na tomto mieste treba oceniť množstvo času a energie zúčastnených potápačov skupín Bratislava, Ružomberok a Trenčín, ako aj zabezpečenia zo strany oblastnej skupiny Dolný Kubín. Na mapovaní a stabilizácii bodov v sifóne sa podieľali: J. Sláčik, Z. Hochmuth, P. Marek, J. a J. Košťálovci a J. Šimek; mimo sifónu neúnavný koordinátor akcie J. Šťastný, vedúci oblastnej skupiny Trenčín.

Vývoj mapovania sifónov v ďalších rokoch však šiel inými cestami. Ukázalo sa, že kompasové meranie je predsa len za istých podmienok uskutočniteľné. Závesný kompas sa umiestni na šnúru, stabilizuje sa a rôznymi metódami sa eliminujú magnetické anomálie. Takáto metodika sa úspešne používala pri zameriavaní inej „výzvy" jaskynného potápania - Skalistého potoka.

LITERATÚRA

Brodňanský, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 2, 128-130.

Hochmuth, Z. 1983. Špecifické problémy dokumentácie jaskynných priestorov zatopených vodou. Spravodaj SSS, 3, Liptovský Mikuláš, 20-22.

Hochmuth, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 22, 151-156, 1 mapa.

Hochmuth, Z. 1995. Mapovanie jaskýň. SSS, Liptovský Mikuláš, 82 s.

Hochmuth, Z. - Kucharovič, J. 1983. Mapping and Documentation of Spelecus Spaces Behind Siphons an Example af the Brestova Cave. Abstracts of Papers, 6th Camp of Cave diving 1983, Lipovce.

Krump, L. - Chovan, A. - Šrol, S. 1969. Orientačný prieskum okolia Brestovskej jaskyne. Mapa v mierke 1:1000. Manuskript, Múzeum slovenského krasu, Liptovský Mikuláš.

Lalkovič, M. 1977. Charakteristika meračskej činnosti v speleologických podmienkach vo vzťahu k meračskej terminológii. Slovenský kras, 15, 93-104.

Lalkovič, M. 1988. Efektívne spôsoby zameriavania a zobrazovania jaskynných priestorov. Autoreferát kandidátskej dizertačnej práce. Banícka fakulta, VŠT Košice, 20 s.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	67 - 80	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

ZÁKLADNÉ HYDROGEOCHEMICKÉ POMERY A CHARAKTERISTIKA REŽIMU VÔD BRESTOVSKEJ JASKYNE

DAGMAR HAVIAROVÁ

ŠOP SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; haviarova@ssj.sk

D. Haviarová: Basic hydrogeochemical conditions and characteristics of water regime in the Brestovská Cave

Abstract: The article summarizes hydrological, hydrogeological and hydrogeochemical conditions in the cave and its vicinity. The results of hydrogeochemical research and hydrometric measurements from the time period 2006 - 2007 are in focus. On the basis of water samplings of seepage water and cave stream, chemical composition of cave water was determined, with its qualitative properties and saturation with selected minerals. The regime of Brestovská Resurgence was interpreted.

Key words: Brestovská Cave, water chemistry, water sampling, groundwater, water quality, regime of water

ÚVOD

Brestovská jaskyňa je príkladom fluviokrasovej jaskyne, v ktorej k jedným z dominantných prvkov patrí voda. Svoju zásluhu má na tom bezmenný podzemný vodný tok, ktorý preteká spodnou úrovňou jaskyne, a priesaková voda, ktorá sa miestami objavuje v jaskyni.

Fyzikálno-chemické vlastnosti vodnej zložky v jaskyni sme sledovali v rámci základného účelového monitoringu prebiehajúceho v rokoch 2006 - 2007. Výsledkom bola klasifikácia jaskynných vôd podľa chemického zloženia a kvalitatívnych vlastností.

Na povrchu v povodí jaskyne, ako aj priamo v jaskynných priestoroch sa na vodných tokoch vykonali hydrometrické merania slúžiace na posúdenie skrytých prestupov povrchových a podzemných vôd. Analýza údajov meraní výdatnosti Brestovskej vyvieračky (vyvieračky Števkovského potoka) z 80-tych rokov, realizovaných Slovenským hydrometeorologickým ústavom (ďalej SHMÚ), priblížila režim tejto vyvieračky a zároveň načrtla režim podzemného toku v jaskyni.

V príspevku sú spracované aktuálne výsledky terénnych a monitorovacích prác, doplnené o poznatky z dostupnej literatúry venovanej uvedenej problematike územia.

STRUČNÁ HYDROGEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA OKOLIA JASKYNE

Základné hydrogeologické pomery

Hydrogeologické pomery územia výrazne ovplyvňuje jeho geologicko-tektonická stavba. V okolí jaskyne sa vyskytujú horniny kryštalinika, obalovej série tatrika, karbonátové horniny hronika, paleogénne a kvartérne sedimenty. Kým horniny kryštalinika (reprezentované biotitickými granodioritmi až tonalitmi s prechodmi do muskoviticko-biotitických granodioritov) a obalovej série tatrika (lúžňanské súvrstvie spodného triasu budované zlepencami, pieskovcami a kremencami) sa vyznačujú relatívne malou priepustnosťou a nízkym až

stredným zvodnením, karbonátové horniny hronika (chočský príkrov; ramsauské dolomity s vložkami tmavších vápencov veku vrchný anis - ladin) majú svoju priepustnosť výrazne vyššiu. Bazálne borovské súvrstvie podtatranskej skupiny má prevažne dobré zvodnenie. Priepustnosť takýchto zvodnencov je zväčša puklinová, zvýšené zvodnenie sa viaže na existenciu otvorených tektonických porúch. Kvartérne sedimenty vytvárajú vhodné podmienky na infiltráciu zrážkových vôd, ktoré sa v daných sedimentoch akumulujú, presakujú do puklinového systému alebo vytekajú na povrch v menších sutinových prameňoch. Zvodnence glaciálnych štrkov sa vyznačujú prevažne medzizrnovým typom priepustnosti.

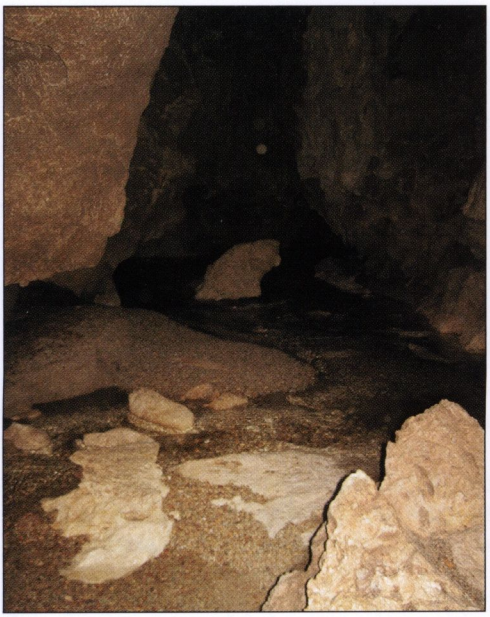
V zmysle hydrogeologickej rajonizácie Slovenska patrí okolie Brestovskej jaskyne k hydrogeologickému rajónu MG-014 Mezozoikum a priľahlé kryštalinikum Západných Tatier. V rámci novovymedzených útvarov podzemných vôd na Slovensku spadá lokalita do jedného z 59 útvarov podzemných vôd predkvartérnych hornín - útvaru SK200270KF, t. j. útvaru s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier oblasti povodia Váh (Kullman ml. et al., 2005).

Režim a obeh podzemných vôd

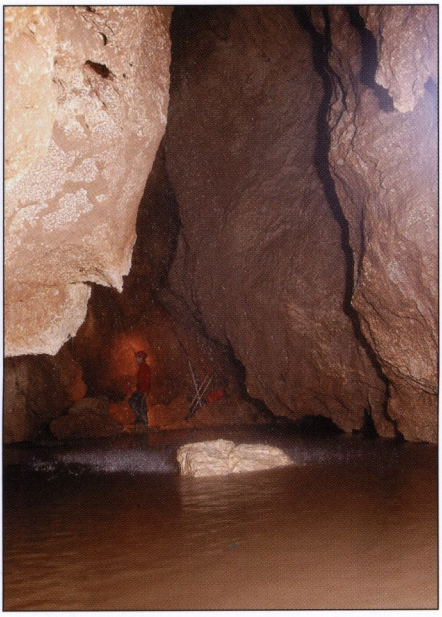
Rozdielne zákonitosti prúdenia podzemných vôd sú vo všeobecnosti medzi horninami kryštalinika a mezozoických komplexov chočského príkrovu. V relatívne vyšších častiach územia s prevažným výskytom granitoidných hornín kryštalinika prevláda plytká cirkulácia vôd. Časť zrážkových vôd v týchto podmienkach infiltruje cez pokryvné útvary aj do puklinového systému granitoidných hornín - do zóny odľahčenia a zvetrávania, čím vytvára zásoby podzemných vôd aj v zimnom období a dlhých bezzrážkových obdobiach. Priaznivý vplyv na doplňanie podzemných vôd v týchto podmienkach majú aj pokryvné kvartérne sedimenty, ktoré spomaľujú veľmi rýchly povrchový odtok zrážkových vôd. Vhodnejšie podmienky na obeh podzemných vôd majú sedimenty mezozoika, respektíve lokálne tektonicky porušené paleogénne sedimenty.

V severozápadnej časti Západných Tatier bolo v sedimentoch mezozoika vyčlenených 5 hydrogeologických štruktúr so samostatným obehom podzemných vôd (Zakovič - Bodiš, 1989). Záujmové územie je súčasťou *hydrogeologickej štruktúry medzi dolinami Mihulčie a Pribisko*. Štruktúru rozdeľuje povrchový Studený potok na jej východnú a západnú časť. Územie v okolí Brestovskej jaskyne leží v jej západnej časti, budovanej stredno- až vrchnotriasovými karbonátmi chočského príkrovu, ktoré spolu s bazálnou litofáciou vnútrokarpatského paleogénu zaberajú plochu 1,1 km^2. Kým východná časť štruktúry leží na kriedových sedimentoch obalovej sekvencie tatrika, západná časť štruktúry leží na horninách kryštalinika. Odvodňujú ju pretekavé pramene s celkovou výdatnosťou 266 l/s (Zakovič et al., 1990). Z hornín vlastnej štruktúry vyviera len časť vody, zvyšná pochádza z infiltračnej oblasti kryštalinika. K tomuto prípadu patria aj vody podzemného toku v Brestovskej jaskyni, ktoré pretekajú jaskyňou a po prechode zatiaľ neznámym sifonálnym úsekom vystupujú na povrch v Brestovskej vyvieračke ležiacej západne od vchodu do jaskyne. Dostupné časti spodnej úrovne jaskyne s vodným tokom ohraničuje prítokový (v smere proti toku) a odtokový sifón (v smere toku). Vo freatickej časti jaskyne sa uskutočnilo niekoľko potápačských prieskumov, počas ktorých potápači za Sieňou potápačov zatiaľ prekonali a zdokumentovali 5 sifónov (Hochmuth, 1984). V rámci doterajších výskumov sa v jaskyni identifikovalo celkovo 7 sifónov v celkovej dĺžke 220 metrov (Hochmuth, 2000).

Režim podzemného toku v jaskyni sa zatiaľ podrobne nesledoval. Išlo vždy len o vizuálne pozorovania, ktoré poukázali na pomerne rýchlu reakciu jeho prietokov na vonkajšie klimatické pomery. Vďaka existencii otvorených aktívnych ponorov dokázateľne prepojených s jaskyňou (ponor Studeného potoka, ponor Volariská) sa počas extrémnych hydrologických situácií na povrchu dostane do jaskyne v krátkom čase väčšie množstvo vody. Zvýšený prietok podzemného toku vzhľa-



Obr. 1. Podzemný tok v čase svojich priemerných prietokov. Foto: D. Haviarová
Fig. 1. Underground stream during its average discharge. Photo: D. Haviarová



Obr. 2. Podzemný tok počas extrémnej situácie, júl 2008. Foto: P. Staník
Fig. 2. Underground stream during extreme situation, July 2008. Photo: P. Staník

dom na limitujúcu kapacitu odtokových sifónov spôsobuje v jaskyni výrazné stúpnutie vodnej hladiny v celej časti jej podzemného riečiska (obr. 1, 2). V priebehu niekoľkých hodín vodná hladina v niektorých častiach stúpne o viac ako 2 metre. Takúto extrémnu situáciu sme v jaskyni zdokumentovali napr. počas intenzívnych zrážok v júli 2008. Na zvýšení vodnej hladiny podzemného toku sa v tomto prípade výrazne podieľali aj priesakové vody, ktorých objem v priestoroch hlavného riečiska predstavoval až niekoľko desiatok l/s. Extrémne situácie staršieho dáta pred sifónom č. 1 dokumentujú na jaskynných stenách výrazné hladinové čiary, ktoré takto upozorňujú na nepravidelné zvyšovanie vodnej hladiny v jaskyni.

Na podrobnejšie zadefinovanie režimu podzemného toku sme v júli 2008 na dvoch miestach riečiska nainštalovali 2 hĺbkové sondy, ktorých dlhodobé kontinuálne záznamy prinesú viac informácií o danej problematike. V súčasnosti môžeme pri základnej charakteristike režimu jaskynného toku vychádzať len analogicky z režimu Brestovskej vyvieračky, ktorý sme vyhodnotili na základe dostupných údajov.

Režim Brestovskej vyvieračky

Brestovská vyvieračka (obr. 3) predstavuje sústredený výver jaskynného podzemného toku na povrch. Vyvieračka je v Zozname jaskýň Slovenskej republiky (Bella et al., 2007) vedená pod číslom 4749 ako 60 metrov dlhá fluviokrasová jaskyňa. Od Brestovskej jaskyne ju oddeľuje zatiaľ neznámy sifónový úsek. Na vyvieračke bol začiatkom 80-tych rokov vybudovaný merný priepad s cieľom jej zaradenia do základnej pozorovacej siete SHMÚ. Prvé merania výdatnosti sa na vyvieračke robili počas hydrologických rokov 1983 - 1985. Merania nemali kontinuálny charakter, vykonávali sa formou odpočtov v pravidelnom intervale siedmich dní. Počas tohto obdobia bol priepad niekoľkokrát poškodený, čím postupne strácal svoju funkčnosť. Zároveň sa zistilo jeho poddimenzovanie. Z uvedených dôvodov sa meranie na tomto profile ukončilo.

Obr. 3. Brestovská vyvieračka. Foto: P. Bella
Fig. 3. Brestovská Resurgence. Photo: P. Bella

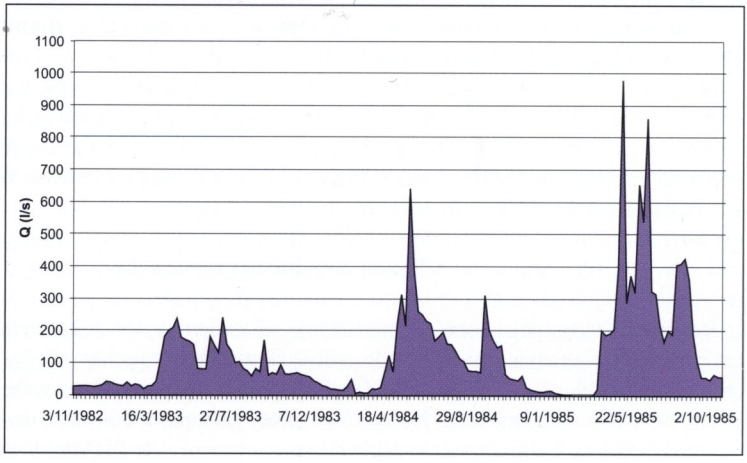
Tab. 1. Základné hodnoty výdatnosti Brestovskej vyvieračky (spracované z podkladov meraní SHMÚ, krok merania každých sedem dní)
Tab. 1. Main values of yield of the Brestovská Resurgence (processed from the Slovak Hydrometeorological Institute data, measurements every seventh day)

Q (l/s)	1983	1984	1985
max	244	646	984
min	19,9	6,7	0
priem	104	121,7	178,6

Všetky historické namerané hodnoty výdatností získané z databázy SHMÚ prešli jednoduchým spracovaním a v ďalšom texte sa interpretujú pre lepšiu predstavu o fungovaní režimu vyvieračky, aj keď vzhľadom na spôsob merania (nie kontinuálny záznam) neprinášajú úplne presné a kompletné informácie.

Stupeň rozkolísanosti Brestovskej vyvieračky je veľký, naznačuje jej značnú nestálosť. Výdatnosti sa pohybujú v širokom intervale v závislosti od vonkajších klimatických pomerov. Najnižšie výdatnosti sa viažu na zimné mesiace (január, február, marec), najvyššie hlavne na obdobie topenia snehu (apríl, máj). Maximálna nameraná výdatnosť za celé sledované obdobie dosiahla 984 l/s. Jej skutočná hodnota však mohla byť so zreteľom na spôsob merania ešte o niečo vyššia. Minimálna výdatnosť v rámci sledovaného obdobia bola podľa údajov 0 l/s. Táto hodnota je s najväčšou pravdepodobnosťou nekorektná, odráža podtekanie merného objektu v čase merania. Medzi jednotlivými hydrologickými rokmi sa zaznamenali pomerne veľké rozdiely maximálnych ročných výdatností. Kým v hydrologickom roku 1983 predstavovala táto hodnota len 244 l/s, v hydrologickom roku 1985 už spomínaných 984 l/s. Priebeh priemerných ročných výdatností v čase sledovania bol podstatne vyrovnanejší (tab. 1).

Podobný priebeh režimu vyvieračky možno očakávať aj v rámci ďalších období (rokov). Vzhľadom na 7-denný krok merania nie je možné z dostupných dát posúdiť, ako rýchlo počas extrému vyvieračka zvyšuje svoje výdatnosti. Priebeh výdatností vyvieračky počas celého pozorovaného obdobia približuje obr. 4.

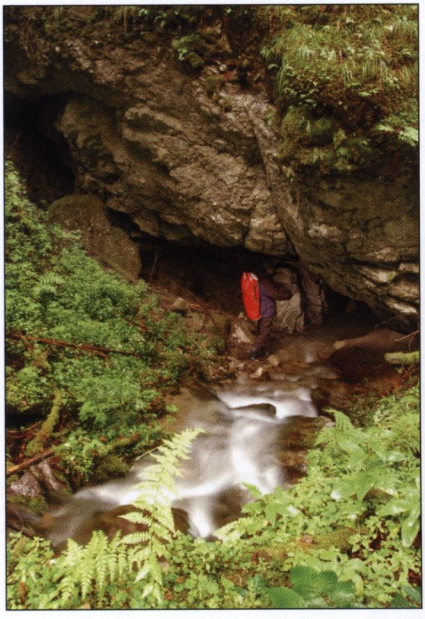


Obr. 4. Priebeh výdatností Brestovskej vyvieračky za hydrologické roky 1983 - 1985, merania každých sedem dní
Fig. 4. Course of yield of the Brestovská spring during hydrological years 1983 - 1985, measurement every seventh day

HYDROLOGICKÁ SITUÁCIA NA POVRCHU A PÔVOD VÔD PODZEMNÉHO TOKU V JASKYNI

Problematika pôvodu vôd podzemného toku Brestovskej jaskyne patrila k jednému z jej základných tematických problémov. Jaskyniari už v minulosti intuitívne spájali jaskynné vody s povrchovými vodami tečúcimi v povodí jaskyne, ktoré majú tendenciu sa v kontaktnej zóne kras-nekras ponárať do podzemia.

Najväčším povrchovým vodným tokom v záujmovom území je Studený potok. Pramení v kryštaliniku severných svahov Plačlivého a Baníkova. Postupne preteká prostredím ľadovcových morén, úzkym pásom karbonátových hornín, následne flyšom Zubereckej kotliny. Pri Habovke preráža flyšové Skorušinské pohorie a pri Podbieli sa stáva súčasťou Oravy (Droppa, 1972). Časť jeho vôd počas vysokých stavov (hlavne na jar v čase topenia snehu, prípadne počas prívalových zrážok) vstupuje do Brestovskej jaskyne cez ponor prepojený na Ponorovú jaskyňu (obr. 5). Väčšinu roka je tento ponor suchý (obr. 6). Ponor sa nachádza v nadmorskej výške 880 m a vo vzdušnej vzdialenosti okolo 732 m od vyvieračky. V minulosti obyvatelia Zuberca do ponoru umelo odrážali vodu Studeného potoka, čím zvyšovali prietok Števkovského potoka využívaného na pohon miestnej píly. Podľa starších prác sa v minulosti v ponore strácala voda počas výdatných dažďov v objeme 500 l/s (Brodňanský, 1959). A. Droppa (1972) udáva objem vôd strácajúcich sa v ponore až na 1000 l/s. Prepojenie ponoru s Brestovskou jaskyňou bolo dokázané stopovacou skúškou počas Jaskyniarskeho týždňa v júli roku 1968, keď sa aplikované farbivo objavilo v jaskyni po 24 hodinách (Chovan, 1969). Pozitívny výsledok rovnakej skúšky sa dosiahol už v roku 1956 (Brodňanský, 1975). Naopak negatívny výsledok stopovacej skúšky na tejto lokalite z augusta 1958 opisuje Brodňanský (1959).



Obr. 5. Ponor Studeného potoka - aktívny. Foto: P. Staník
Fig. 5. Ponor of the Studený Stream during active period. Photo: P. Staník

Druhým povrchovým tokom v povodí jaskyne je potok v doline Volariská, ktorý vystupuje ako ľavostranný prítok Studeného potoka. Podobne ako Studený potok, aj vody potoka v doline Volariská sa formujú v nekrasovom území. Jeho prietoky sa pohybujú od niekoľko litrov za sekundu až do niekoľko desiatok litrov za sekundu. A. Droppa (1972) uvádza hodnotu jeho

Obr. 6. Ponor Studeného potoka - suchý.
Foto: D. Haviarová
Fig. 6. Ponor of the Studený Stream - during dry period.
Photo: D. Haviarová

maximálneho prietoku okolo 100 l/s. V suchých obdobiach sa vo vyšších nadmorských výškach vody potoka tratia v podzemí a spodnejšie časti koryta ostávajú suché. Evidentný je jeho ponor (obr. 7) ležiaci vo výške 915 m n. m., v priamej vzdialenosti okolo 467 metrov od vyvieračky. Počas rekognoskácie terénu sa pozorovali obidva stavy vodného toku - v máji 2006 sa všetka voda (cca 5 l/s) tratila v evidentnom ponore pod skalným zrázom, v auguste 2006 časť jeho vôd pretekala až do Studeného potoka. V októbri 2006 sa v hlavnom ponore strácala voda s objemom do 1 l/s, okolo 3 l/s vody pretekalo ďalej v koryte toku. Tento objem vody sa pozdĺž zvyšnej časti koryta postupne strácal do podzemia, až sa jeho povrchový prietok zredukoval na nulu. V júli 2008 sa dokumentoval povodňový stav, keď dolinou Volariská pretekalo okolo 400 - 500 l/s, čo vysoko prevyšuje údaj maximálneho prietoku v doline udávaný A. Droppom (1972). V čase kulminácie tejto prietokovej vlny sa v časti pred ponorom tvorilo jazero, ktoré takto upozornilo na výrazne obmedzenú kapacitu ponoru. Stopovacia skúška z roku 2007 preukázala podzemné hydrologické prepojenie medzi vodami ponárajúcimi sa v hlavnom ponore vodného toku v doline Volariská s podzemným tokom v jaskyni.

Obr. 7. Hlavný ponor potoka v doline Volariská. Foto: D. Haviarová
Fig. 7. The main ponor of the stream in the Volariská Valley. Photo: D. Haviarová

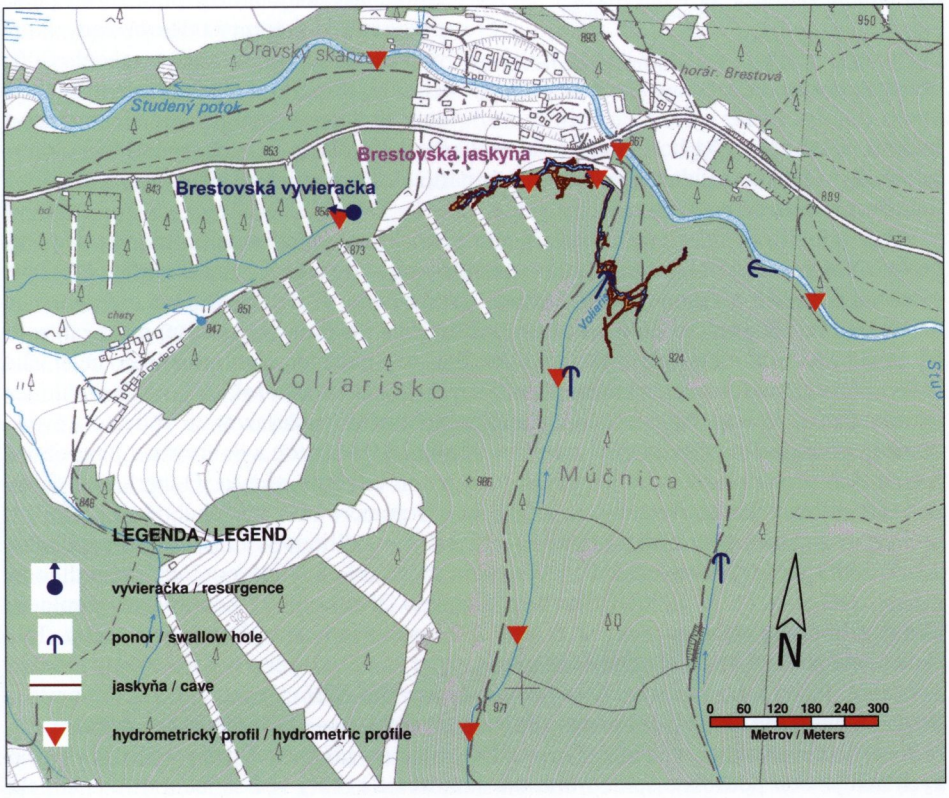
Prepojenie medzi posledným, objemovo najmenším vodným tokom z povodia jaskyne ležiacim v doline Múčnica, ktorý sa rovnako ako potok v doline Volariská po vstupe na krasové územie stráca väčšinou v celom svojom objeme v podzemí, stopovacia skúška nepreukázala. Vzdušná vzdialenosť medzi zdokumentovanou ponornou zónou v čase stopovacej skúšky v roku 2007 (nenachádzajú sa tu žiadne viditeľné ponory) a vyvieračkou predstavovala podľa zamerania GPS okolo 885 metrov. J. Brodňanský (1959) udáva túto vzdialenosť až na 1500 metrov. Uvedené rozdielne hodnoty hovoria o tom, že pri nižších prietokoch sa môže vodný tok ponárať aj vo vyšších partiách doliny ako v tých, ktoré sa zdokumentovali v auguste 2007. V doline Múčnica dochádza rovnako ako v prípade doliny Volariská k viacerým postupným prestupom povrchových vôd do podzemia priamo v koryte vodného toku v závislosti od celkového prietoku. Pri vlastných pozorovaniach sa počas vyšších stavov prietokov vody v doline tratili aj v jej nižších častiach. Rovnako sa zaznamenal stav, keď vody s prietokom 100 až 150 l/s tiekli celou dolinou Múčnica a tvorili tak samostatný ľavostranný prítok Studeného potoka.

J. Brodňanský vo svojom článku v Slovenskom krase venovanom ponorom Brestovskej jaskyne už v roku 1959 vyslovil myšlienku napájania Brestovskej jaskyne troma vodami: ponárajúcimi sa vodami potoka Volariská, Múčnica a Roháčskeho potoka (Studený potok). V dvoch prípadoch stopovacie skúšky jeho tvrdenia potvrdili. V tom istom článku na základe vizuálnych pozorovaní vyslovil zároveň hypotézu, že tieto vody nie sú jedinými vodami podieľajúcimi sa na formovaní podzemného toku v jaskyni. Výsledky hydrometrických prác z roku 2007 a 2008 potvrdili existenciu ďalších vôd podieľajúcich sa na formovaní jaskynného toku okrem vôd vstupujúcich do podzemia cez hlavný ponor Studeného potoka a vôd strácajúcich sa v doline Volariská.

Výsledky hydrometrických meraní

Pôvodne sa hydrometrické merania v jaskyni a jej okolí vykonali len s cieľom stanoviť aktuálne prietoky hlavných tokov v čase realizácie stopovacích skúšok v roku 2007. Vzhľadom na prvotné výsledky, ktoré poukázali na rozdiel objemu ponárajúcich sa vôd v ponore Volariská a prietoku v jaskyni, sa meracie profily zahustili (obr. 8) a získané údaje sa použili aj na interpretáciu vzájomnej interakcie medzi povrchovými a podzemnými vodami v území.

Priemerná hodnota prietoku v jaskyni počas hydrometrických prác v roku 2007 zodpovedala 133 l/s. Výsledky prvého merania z 31. 5. 2007 nad hlavným ponorom v doline Volariská a v jaskyni v Sieni potápačov poukázali na výrazný nepomer ponárajúcich sa vôd do podzemia a prietokom podzemného toku. Tento rozdiel predstavoval 98 l/s. Merania sa zopakovali ešte dvakrát, 5. 7. 2007 a 8. 8. 2007. Priemerný nárast prietoku v jaskyni oproti objemu vôd vstupujúcich do podzemia cez ponor v doline Volariská (ponor Studeného potoka bol počas všetkých meraní suchý) zo všetkých troch meraní robil takmer 120 l/s. Opačný výsledok sa dosiahol v prípade merania v jaskyni, kde bol vytypovaný ešte jeden merací profil na riečisku pri odtokovom sifóne (obr. 9). V tomto prípade sa zistil úbytok prietoku medzi obidvoma profilmi v priemernom objeme 27 l/s. Tento úbytok môže súvisieť s existenciou pravdepodobnej odbočky hlavnej chodby S až SZ smerom (smerom k Studenému potoku). Prekvapivé bolo aj zistenie poklesu prietoku medzi tokom v jaskyni a vyvieračkou.



Obr. 8. Dokumentačná mapka časti povodia jaskyne s ponormi a hydrometrickými profilmi - spracoval P. Gažík
Fig. 8. Documental map of the part of the cave catchment area with ponors and profile of water flow measurement - compiled by P. Gažík

Obr. 9. Hydrometrické práce na podzemnom toku v jaskyni. Foto: Š. Ratkovský
Fig. 9. Water discharge measurements by current meter of underground stream in the cave. Photo: Š. Ratkovský

Jednorazovo sa vykonali aj hydrometrické práce na ďalších 2 profiloch v doline Volariská. Výsledky týchto meraní potvrdili, že sa voda v doline stráca nielen v hlavnom ponore, ale už aj v jej vyšších častiach. Po vstupe povrchového toku na krasové územie dochádza k jeho postupným skrytým prestupom do podzemia. Obdobná situácia nastáva aj na Studenom potoku, kde rovnako jednorazovo vykonané hydrometrické práce potvrdili úbytok cca 60 - 70 l/s vody v úseku toku nad ponorom Studeného potoka a pod Brestovskou jaskyňou.

ZÁKLADNÁ HYDROGEOCHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA JASKYNE

Základnú hydrogeochemickú charakteristiku jaskyne je možné priblížiť na základe výsledkov meraní a odberov vody, ktoré sa vykonávali priebežne v rokoch 2006 a 2007. Analýzy z týchto odberov predstavujú doteraz jediné údaje o chemickom zložení jaskynných vôd horizontálnej aj vertikálnej cirkulácie. Kondenzačná voda, ktorá sa v jaskyni nachádza hlavne vo vstupných partiách (Vstupná sieň, Zuberecká chodba), nebola zahrnutá do pozorovaní.

Výber odberných miest, stanovenie počtu vzoriek a vypracovanie harmonogramu odberov vrátane ich rozsahu vychádzalo z preštudovania základných archívnych materiálov o jaskyni a následnej rekognoskácie terénu - jaskyne a jej okolia. Expedičné merania mernej elektrickej vodivosti (ďalej len EC) na podzemnom riečisku v jaskyni nepreukázali zmeny na jednotlivých meracích miestach, ktoré boli rovnomerne rozmiestnené po celej jeho dĺžke. Preto sa na stanovenie chemického zloženia podzemného toku v jaskyni zvolilo len jedno odberné miesto. Na posúdenie chemického zloženia priesakových vôd sa z dôvodu obmedzeného počtu priesakových miest s celoročnou intenzitou a limitovaného množstva finančných prostriedkov vybralo rovnako len jedno odberné miesto. Odbery sa vykonali 4-krát počas roka za rozdielnych klimatických pomerov na povrchu: 16. 1. 2006 pri mohutnej snehovej pokrývke v celom povodí jaskyne a dlhodobo nízkej teplote vzduchu, 22. 5. 2006 počas topenia posledných zvyškov snehu, 15. 8. 2006 po doznievaní dlhodobejších zrážok a 24. 10. 2006 počas suchej jesene. V roku 2007 boli analýzy doplnené ešte o jednu sadu odberov, vykonanú 6. 3. 2007 počas intenzívneho topenia snehu. Táto sada odberov zahŕňala aj skrátenú účelovú analýzu vôd Studeného potoka a vody z doliny Volariská. Jedna takáto analýza bola vykonaná aj v roku 2006. V roku 2006 sa odobrala aj jedna kumulovaná vzorka zrážkovej vody, zachytávanej do nádoby v miestnej horárni.

Počas všetkých odberov sa in situ merali EC, teplota a pH vody. Všetky výsledky chemických analýz boli podrobne spracované. Na stanovenie kvality vôd sa jednotlivé chemické ukazovatele analýz porovnali s Nariadením vlády SR č. 354/2006 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.

Vody vertikálnej cirkulácie v jaskyni (priesakové vody)

Priesakové vody, t. j. vody vertikálnej cirkulácie, sa v jaskyni vyskytujú len v obmedzenom množstve, hlavne vo vstupných častiach. Vzhľadom na neveľkú hrúbku nadložia v týchto partiách je priesak úmerne závislý od množstva spadnutých zrážok, ktoré sa v jaskyni prejavia pomerne rýchlo. Miest so stálym priesakom je v jaskyni málo a súvisia najmä s prítomnosťou vertikálnych tektonických porúch. V čase intenzívnych zrážok sa výraznejšie aktivuje hlavne priesak vo vstupných partiách jaskyne (Vstupná sieň, Zuberecká chodba) a vo veľkej časti priestorov hlavného riečiska. V časti horného - inaktívneho poschodia je aj v čase intenzívnych zrážok priesak minimálny. Na odber priesakovej vody sa vybralo jedno miesto v hornom „suchom" poschodí jaskyne, v priestore Jazierkovej siene. Priesaková voda v tomto mieste dopadá zo stropu na dno jaskynnej chodby z výšky niekoľkých metrov (7 - 8 m). V mieste jej dopadu sa nachádza svetlá, niekoľko milimetrov hrubá sintrová kôra, ležiaca na jemných sedimentoch. Priesak je celoročný, s rozdielnou intenzitou počas roka. Počas odberov sa najnižšia intenzita zaznamenala počas zimného odberu (12,5 ml/min), naopak najvyššia počas topenia snehu (250 ml/min). Teplota vody bola pomerne stabilná, pohybovala sa v rozpätí 5,2 °C - 5,6 °C. Podľa hodnôt pH mala voda neutrálny až slabo alkalický charakter. Hodnoty EC kolísali v rozpätí 312 - 394 μS/cm. Stupeň mineralizácie sa takmer vo všetkých prípadoch zvyšoval so znižujúcou sa intenzitou priesaku.

Základné chemické zloženie priesakových vôd podmieňuje charakter geologického prostredia nadložných vrstiev a chemické zloženie zrážkových vôd, ktoré vystupujú ako ich zdrojové vody. Výrazný podiel karbonátových hornín, či už strednotriasových karbonátových súvrství alebo paleogénnych dolomitických brekcií bazálnej litofácie, predurčujú v jaskyni vznik karbonátogénnych priesakových vôd, vznikajúcich hlavne v procese rozpúšťania karbonátov. Chemické analýzy odobratých vzoriek potvrdili v rámci aniónov dominanciu hydrogénuhličitanových iónov, z katiónov zasa prevahu vápnika a horčíka. Obsahy vybraných chemických ukazovateľov v odobratých vzorkách približuje tabuľka 2. Pomer Mg/Ca s priemernou hodnotou 0,61 naznačuje formovanie priesakových vôd v prostredí vápencov aj dolomitov, s vyšším podielom dolomitickej zložky.

Pri klasifikácii chemického zloženia priesakových vôd v jaskyni sa použila Gazdova klasifikácia a klasifikácia podľa prevládajúcich iónov. Podľa Gazdovej klasifikácie všetky vzorky z roku 2006 reprezentovali vody základného výrazného Ca-Mg-HCO_3 typu s veľkosťou A_2 zložky v rozpätí 85,6 až 89,9 cz %. Vzorka vody odobratá v roku 2007 bola základného výrazného Ca-HCO_3 typu. Podľa prevládajúcich iónov nad 20 cz % predstavovali priesakové vody všetkých štyroch vzoriek z roku 2006 Ca-Mg-HCO_3 typ, vzorka z roku 2007 bola Ca-HCO_3 typu. Podľa vyššie uvedených klasifikácií sírany ani v jednom prípade nevstupovali do chemického typu vôd.

Priesakové vody v jaskyni sa vyznačovali nedosýtenosťou voči vápencu a dolomitu. Len počas januárového odberu boli vody v rovnováhe (v prípade, že za rovnovážny stav považujeme hodnotu I v intervale -0,5 až 0,5). Tento stav bol výsledkom dlhšieho styku infiltrujúcej vody s horninovým prostredím za veľmi nízkej intenzity priesaku v čase odberu. Dlhší čas zdržania priesakovej vody v nenasýtenej zóne sa v tomto prípade prejavil aj vyššou hodnotou jej teploty. Práve vody, ktoré sa postupne stávajú nasýtenými voči vápencu, majú schopnosť vytvárať sintrovú jaskynnú výzdobu.

V rámci posúdenia kvality priesakových vôd sa všetky stanovené ukazovatele porovnali s limitnými hodnotami (medznými hodnotami, prípadne najvyššími medznými hodnotami) Nariadenia vlády SR č. 354/2006 Z. z. Celkovo môžeme hovoriť o dobrej kvalite týchto vôd, keďže vo všetkých stanovených ukazovateľoch vyhovovala kvalita vody medzným a najvyšším medzným limitným hodnotám. Nízke koncentrácie dosahovali aj také ukazovatele, ako napríklad $CHSK_{Mn}$ (priemerná hodnota nepriameho ukazovateľa obsahu organických látok bola 1,84 mg/l).

Tab. 2. Chemické zloženie jaskynných vôd z odberov za roky 2006 a 2007
Tab. 2. Chemical composition of cave`s water from the water samplings during time period 2006 - 2007

	priesak/seepage water			vodný tok/underground stream		
	n (počet analýz/mumber of analyzes) = 5			n (počet analýz/mumber of analyzes) = 5		
	min.	max.	priemer	min.	max.	priemer
pH	6,9	7,7	7,1	6,6	7,6	7,2
EC (mS/m)	31,2	39,4	35,8	9,2	10,6	10,2
Ca^{2+} (mg/l)	46,00	64,10	54,88	14,00	18,00	16,80
Mg^{2+} (mg/l)	7,29	24,32	19,45	2,43	4,86	4,13
HCO_3^- (mg/l)	195,20	244,40	229,52	42,80	54,90	50,10
SO_4^{2-} (mg/l)	9,61	21,13	14,03	8,17	14,89	12,39
Cl^- (mg/l)	2,30	7,80	4,30	1,20	3,20	2,00
Na^+ (mg/l)	0,43	2,37	0,95	0,52	2,21	1,66
K^+ (mg/l)	0,28	0,62	0,45	0,31	0,69	0,43
NH_4^+ (mg/l)	0,01	0,14	0,06	0,00	0,09	0,02
NO_2^- (mg/l)	0,00	0,08	0,02	0,00	0,01	0,00
NO_3^- (mg/l)	5,13	7,12	6,07	2,30	3,28	2,76
SiO_2 (mg/l)	1,56	4,47	2,89	7,70	11,40	10,28
$CHSK_{Mn}$ (mg/l)	1,30	3,00	1,84	0,30	2,60	0,98

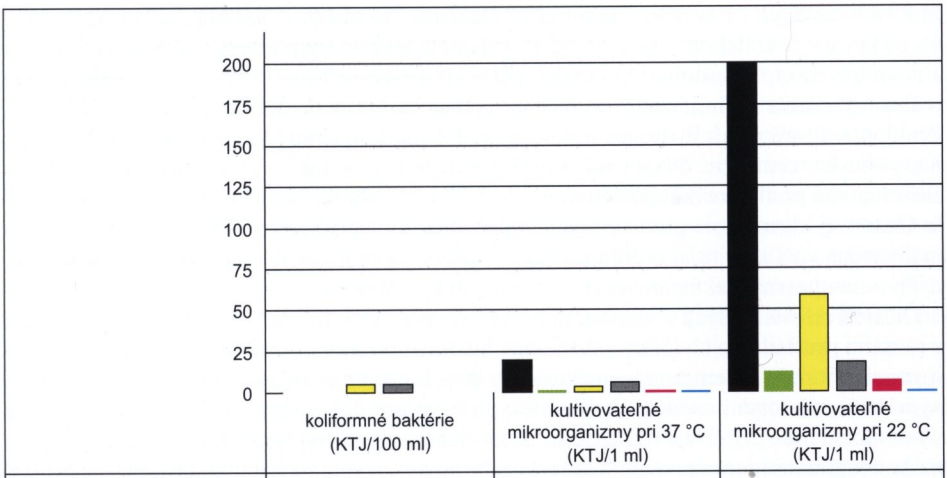
Vody horizontálnej cirkulácie v jaskyni

Vody horizontálnej cirkulácie sú v jaskyni zastúpené bezmenným podzemným tokom. Jeho fyzikálno-chemické vlastnosti sa zhodnotili na základe výsledkov odberov z priestorov pri prvom sifóne (Sieň potápačov), ktorý limituje ďalší prirodzený postup speleológov (potrebné potápačské vybavenie) proti toku v jaskyni. Vody podzemného toku charakterizuje nízka hodnota EC, ktorá je v čase pomerne stála. Jej hodnoty sa počas meraní pohybovali v intervale 92 - 106 µS/cm. Teplota vody kolísala v rozpätí 4,6 - 5,7 °C. Najvyššia teplota bola zaznamenaná v lete, najnižšia na jar po topení snehu. Priemerná teplota vody 5,1 °C poukazuje na plytký a relatívne krátky obeh vôd formujúcich podzemný tok.

Chemické zloženie vôd podzemného toku v jaskyni demonštruje ich alochtónny pôvod. Formujú sa prevažne v prostredí granitoidných hornín, kde ako hlavný mineralizačný proces vystupuje hydrolytický rozklad silikátov. Vplyv prípadných glacifluviálnych sedimentov vo vyšších polohách na chemické zloženie je ťažké identifikovať pre ich analogický chemický charakter s podzemnými vodami kryštalinika. Počas prechodu vôd krasovým územím sa výrazne nezvyšuje ich mineralizácia, s čím súvisí pravdepodobne uplatnenie väčšmi ich mechanického ako chemického pôsobenia na okolitý masív. Vody podzemného toku ostávajú preto aj napriek ich prestupu karbonátovým masívom nízko mineralizované a výrazne nedosýtené voči kalcitu, dolomitu aj sadrovcu. Z aniónov vo vode rovnako ako v prípade priesakových vôd dominujú hydrogénuhličitany, z katiónov sú to vápenaté ióny. V porovnaní s priesakovými vodami sa pri vodách aktívneho toku zistila vyššia koncentrácia SiO_2 (10,9 -11,4 mg/l), čo súvisí s ich pôvodom v horninách kryštalinika. Zastúpenie vybraných chemických ukazovateľov vôd podzemného toku približuje tabuľka 2.

Podľa Gazdovej klasifikácie chemického zloženia vôd boli vody z jednotlivých odberov základného výrazného Ca-HCO_3 typu, len v jednom prípade, 16. 1. 2006, reprezentovali

Obr. 10. Vybrané mikrobiologické ukazovatele podzemného toku v jaskyni (KTJ - kolóniu tvoriaca jednotka)
Fig. 10. Selected microbiological parameters of underground stream in the cave (KTJ/CFU - colony forming unit)



	koliformné baktérie (KTJ/100 ml)	kultivovateľné mikroorganizmy pri 37 °C (KTJ/1 ml)	kultivovateľné mikroorganizmy pri 22 °C (KTJ/1 ml)
Nariadenie vlády č. 354/2006	0	20	200
16. 1. 2006	0	1	12
22. 5. 2006	6	4	60
15. 8. 2006	5	6	18
24. 10. 2006	0	1	7
6. 3. 2007	0	1	1

vody základný nevýrazný Ca-Mg-HCO_3 typ. Hodnota Palmer-Gazdovej charakteristiky A_2 sa pohybovala v rozpätí 64,4 až 72,79 cz %. Sírany vystupovali v zložke $S_2(SO_4)$ s hodnotami 17,73 - 24,08 cz %. Podľa klasifikácie prevládajúcich iónov nad 20 cz % išlo vo všetkých prípadoch o vody Ca-Mg-HCO_3-SO_4 typu, iba vzorka z odberu 22. 5. 2006 predstavovala Ca-HCO_3 typ.

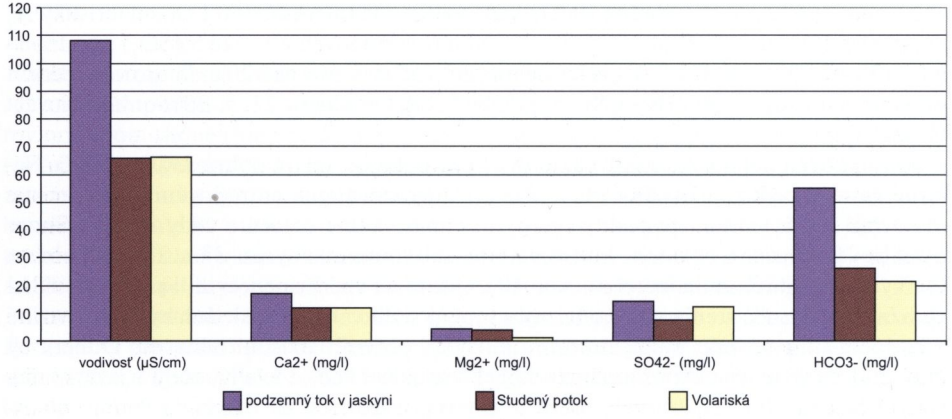
Vody podzemného toku mali počas všetkých odberov veľmi dobrú kvalitu podľa Nariadenia vlády SR č. 354/2006 Z. z. Žiadny z ukazovateľov antropogénneho znečistenia nebol ani v jednom prípade zvýšený. Aj mikrobiálne oživenie vody v stanovenom rozsahu (koliformné baktérie, kultivovateľné mikroorganizmy pri 37 a 22 °C) bolo vo všetkých prípadoch zanedbateľné (obr. 10). Odobraté vzorky nepotvrdili ani predpoklad výraznejšieho znečistenia vôd po jarnom topení snehu. Tento výsledok by bolo vhodné v budúcnosti z dôvodu vyššej reprezentatívnosti potvrdiť ďalšími odbermi. Odbery by mali podchytiť hlavne extrémne hydrologické situácie, keď je kvalita vody v jaskyni najviac ohrozená.

HYDROCHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA POVRCHOVÝCH VÔD V OKOLÍ JASKYNE

Podrobná hydrochemická charakteristika vôd Studeného potoka, vodného toku v doline Múčnica a Volariská zatiaľ vzhľadom na chýbajúce chemické analýzy absentuje. Počas odberov v jaskyni sa uskutočnili len merania EC a teploty vody Studeného potoka a vodného toku v doline Volariská, pri ktorých bolo preukázané ich prepojenie s jaskyňou. Rozdiely medzi obidvoma vodami v hodnotách EC sú minimálne. Merná elektrická vodivosť Studeného potoka sa počas meraní pohybovala v rozpätí 40 - 74 µS/cm, pri vodách v doline Volariská dosahovali jej hodnoty 41 - 72 µS/cm. Tieto výsledky meraní hovoria o takmer

rovnakom stupni mineralizácie obidvoch tokov a pravdepodobne aj ich obdobnom chemickom zložení. Ide pritom o dôsledok rovnakých alebo veľmi blízkych podmienok v procese formovania ich celkového chemického zloženia. Na zistenie podielu základných iónov na celkovom chemickom zložení vôd sa vykonala jedna kompletnejšia chemická analýza z povrchového toku v doline Volariská. pH vody v čase odberu ukázalo na jej slabo kyslú reakciu. Celková mineralizácia vody bola nízka, jej hodnota dosiahla necelých 67 mg/l. Z aniónov dominovali hydrogénuhličitany (24,4 mg/l) a sírany (13,45 mg/l). Z katiónov najvyššiu koncentráciu dosahoval vápnik (10,0 mg/l). V rámci klasifikácie chemického zloženia vôd podľa prevládajúcich iónov nad 20 cz % išlo o vodu Ca-HCO_3-SO_4 typu. Podľa Gazdovej klasifikácie predstavovala voda základný nevýrazný Ca-HCO_3 typ. Voda bola nedosýtená voči kalcitu aj dolomitu. Nízky stupeň mineralizácie a podiel obsahov základných iónov potvrdil jej formovanie v horninách kryštalinika.

Ďalšie účelové analýzy vôd Studeného potoka a vody v doline Volariská sa vykonali len v rozsahu prevládajúcich iónov zahrnujúcich koncentrácie vápnika, horčíka, síranov a hydrogénuhličitanov. Priemerné koncentrácie z dvoch takýchto analýz v porovnaní s priemernými koncentráciami uvedených chemických ukazovateľov podzemného toku odobratých v rovnakom čase približuje obrázok 11. Z grafickej prílohy vyplýva, že najvýraznejšia zmena koncentrácie medzi podzemným tokom a povrchovými vodami nastáva pri hydrogénuhličitanoch, kde dochádza k jej viac ako dvojnásobnému prírastku. Ešte stále však ide o pomerne nízke koncentrácie, rovnako ako v prípade nízkych hodnôt EC. Tieto hodnoty v spojení s chýbajúcim objemom vôd podzemného toku (rozdiel medzi objemom ponárajúcich sa vôd v doline Volariská a ponore Studeného potoka a prietokom podzemného toku) dávajú indície na to, že aj táto „chýbajúca" voda sa veľkým podielom formuje v nekarbonátových horninách.



Obr. 11. Porovnanie vybraných parametrov chemického zloženia vodných tokov v Brestovskej jaskyni a jej okolí (priemerné hodnoty z odberov 15. 8. 2006, 6. 3. 2007)

Fig. 11. Comparison of selected parameters of chemical composition of water streams in the Brestovská Cave and its vicinity (average values from the samplings 15. 8. 2006, 6. 3. 2007)

ZÁVER

Brestovská jaskyňa patrí medzi jaskyne zaujímavé z pohľadu výskytu vôd horizontálnej aj vertikálnej cirkulácie. Ich spoločným znakom je atmosférogénny pôvod. Geneticky ide o vody s petrogénnou mineralizáciou, ktorých chemické zloženie sa vo veľkej miere formuje v závislosti od mineralogicko-petrografických podmienok ich obehových ciest. Vody

horizontálnej cirkulácie sú v jaskyni formované prevažne v prostredí hornín kryštalinika. Ich dominantným chemickým typom (nad 20 cz %) je chemický typ Ca-Mg-HCO_3-SO_4. Vody vertikálnej cirkulácie reprezentujú vody s karbonátogénnou mineralizáciou formujúce sa v nadložných strednotriasových karbonátových horninách, respektíve paleogénnych dolomitických brekciách bazálnej litofácie. Dominantným chemickým typom týchto vôd je chemický typ Ca-Mg-HCO_3. Podľa rozdielnych hodnôt celkovej mineralizácie je možné vody z jaskyne a jej vodozbernej oblasti rozdeliť do troch skupín. Veľmi nízku hodnotu mineralizácie (okolo 50 - 70 mg/l) majú povrchové vody, formujúce svoje chemické zloženie v geologických podmienkach kryštalického jadra Západných Tatier. Nízka hodnota mineralizácie (okolo 100 mg/l) sa spája s vodami podzemného toku v jaskyni, t. j. s vodami, ktoré sa formujú v geologických podmienkach kryštalinika, odkiaľ pritekajú a čiastočne pretekajú skrasovateným karbonátovým komplexom. Tretiu skupinu tvoria o niečo vyššie mineralizované vody karbonátových komplexov a paleogénnych dolomitických brekcií bazálnej litofácie s hodnotou mineralizácie okolo 300 - 350 mg/l (vody vertikálnej cirkulácie v jaskyni). Spoločným znakom všetkých vôd z hľadiska termodynamických vlastností je ich charakteristická nedosýtenosť voči kalcitu, dolomitu a sadrovcu. Agresívne vlastnosti voči karbonátovým minerálom sú tlmené v prípade priesakových vôd v čase veľmi pomalého priesaku, keď voda čiastočne zvyšuje svoje nasýtenie. Pri takýchto podmienkach môže v konečnej fáze dochádzať k jej vyzrážaniu a tvorbe sintrových foriem. Pri vyššej intenzite priesaku vzhľadom na mocnosť nadložia a celkovú mineralizáciu je stupeň nasýtenia voči kalcitu pomerne nízky. Vo všetkých prípadoch je rovnako nízka aj hodnota genetického koeficienta SO_4/M, ktorá sa pri vodách podzemného toku pohybovala v hodnotách od 0,08 do 0,13, v prípade priesakových vôd od 0,02 do 0,05. Dokumentované výsledky s veľkou pravdepodobnosťou vylučujú pôvod síranov v týchto vodách z procesu rozpúšťania sadrovca, respektíve anhydridu a spájajú ich viac s procesom oxidácie sulfidov.

Ďalším spoločným znakom priesakových vôd a vôd podzemného jaskynného toku je ich dobrá kvalita. Žiaden zo základných ukazovateľov chemického znečistenia spojených s antropogénnou činnosťou človeka nebol ani v jednej chemickej analýze neprimerane zvýšený. Dobrá kvalita vôd je v tomto prípade odrazom „únosného" antropogénneho zaťaženia v predmetnom území. Minimálne sa javí aj mikrobiálne oživenie vôd podzemného toku v ukazovateľoch koliformné baktérie a kultivovateľné mikroorganizmy pri 22 a 37 °C, ktoré vystupujú ako sprievodný znak sekundárneho organického znečistenia. Hodnotenie nezahŕňa prípad posúdenia kvality vôd podzemného toku v čase aktívneho ponoru Studeného potoka. Tento stav bude treba v prípade ďalších odberov zdokumentovať a vyhodnotiť. Vzhľadom k tomu, že uvedený ponor býva aktívny len v čase vysokých prietokov Studeného potoka, dá sa počas jeho aktivity v spojení s jarným topením snehu a intenzívnymi zrážkami očakávať aj celkové zhoršenie kvality jaskynných vôd. Nízky počet doterajších analýz aj napriek ich rovnomernému rozloženiu počas roka a chýbajúca analýza kvality vody v čase aktívneho ponoru Studeného potoka môže čiastočne znižovať reprezentatívnosť doterajších výsledkov. Je však dobrým základom pre ďalšie pozorovania a posúdenia ohrozenia kvality jaskynných vôd v určitých sezónnych obdobiach.

Doteraz vykonané stopovacie skúšky na lokalite potvrdili prepojenie podzemného toku v jaskyni s vodami ponárajúcimi sa v ponore Studeného potoka a v doline Volariská. Výsledky hydrometrických prác potvrdili aj existenciu ďalšieho alochtónneho zdroja podzemných vôd v jaskyni, ktorý sa podieľa na formovaní podzemného jaskynného toku. Podrobnejšie opísanie jeho režimu je podmienené dlhodobejšou prevádzkou automatických hĺbkových sond, ktoré boli v jaskyni osadené. Doterajšie vizuálne pozorovania, ako aj výsledky krátkodobého monitorovania režimu Brestovskej vyvieračky už teraz naznačujú existenciu občasných extrémnych situácií, ktoré niekoľkonásobne prekračujú priemerný vodný stav v jaskyni.

Slovenské múzeum
ochrany prírody a jaskyniarstva
031 01 Liptovský Mikuláš

BASIC HYDROGEOCHEMICAL CONDITIONS AND CHARACTERISTICS OF WATER REGIME IN THE BRESTOVSKÁ CAVE

Summary

The Brestovská Cave represents important fluviokarstic cave with permanent active underground stream. The seepage water is found locally in the cave, mainly in its entrance parts. These waters are commonly characterized as being of atmospherogenic genesis, with major petrogenous mineralization. Studied waters can be divided into three groups according to values of total mineralization: surface water with total mineralization of about 50 - 70 mg/l with chemical composition formed under the conditions of granitoids rocks, water of underground cave stream with total mineralization of about 100 mg/l and cave water of vertical circulation (seepage water) with total mineralization of about 300 - 350 mg/l with chemical composition formed predominantly in the conditions of carbonate complex and carbonatic conglomerates and breccias.

Dripping water in the cave is predominantly of Ca-HCO_3 type, water of cave stream is predominantly of Ca-Mg-HCO_3-SO_4 type. The value of the genetic coefficient SO_4/M (underground stream - from 0.08 to 0.13, dripping water - from 0.02 to 0.05) showed that sulphates in water come probably from oxidation of sulphate. All water is predominantly undersaturated with respect to calcite and dolomite. The water quality is very good including microbiological parameters.

Three surface streams are located in the vicinity of the cave - the Studený Stream, stream in the Volariská Valley and Múčnica Valley. These streams have allochthonous origin. Water of the stream in the Volariská Valley was of Ca-HCO_3-SO_4 type. The Brestovská Resurgence (the resurgence of Števkovský Brook) presents concentrated outflow of cave stream on the surface. Spring has relatively great range of discharge, from several l/s to 1,000 l/s and more. Minimal discharges of the spring are in winter months (January, February, March), maximal discharges in spring months are connected with snowmelt (April, May).

Results of hydrometric measurement confirmed disproportion between volume of sinking water in the Volariská Valley and the ponor of the Studený Stream and relatively greater volume of water of underground cave stream. The decrease in water volume was established in cave stream between inflow and outlet siphon too.

LITERATÚRA

Bella, P. - Hlaváčová, I. - Holúbek, P. 2007. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky (stav k 30. 6. 2007). SMOPaJ - SSJ - SSS, Liptovský Mikuláš, 1-364.

Brodňanský, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 1, Martin, 114-115.

Brodňanský, J. 1975. Správa o Brestovskej jaskyni, 1975, Manuskript, archív SMOPaJ.

Droppa, A. 1972. Kras skupiny Sivého vrchu v Západných Tatrách. Československý kras, 23, Praha, 77-98.

Hochmuth, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 22, Martin, 151-156.

Hochmuth, Z. 2000. Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku. SSS a Katedra geografie PF UPJŠ, Prešov - Košice, 164 s.

Chovan, A. 1969. Správa z jaskyniarskeho týždňa v Brestovej, Slovenský kras, 7, Martin, 149-154.

Kullman ml., E. - Malík, P. - Patschová, A. - Bodiš, D. 2005. Vymedzenie útvarov podzemných vôd na Slovensku v zmysle Rámcovej smernice o vodách 2000/60/ES. Podzemná voda, Bratislava, 5-18.

Nariadenie vlády SR č. 354/2006 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.

Zakovič, M. et al. 1990. Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej mape SR 1 : 200 000, list 26 Žilina. GÚDŠ, Bratislava, 146 s.

Zakovič, M. - Bodiš, D. 1989. Podzemné vody karbonátov mezozoika severovýchodných svahov Západných Tatier. Západ. Karpaty, Séria hydrogeológie a inžinierskej geológie 7. GÚDŠ, Bratislava, 129-155.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	81 - 86	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

NAJNOVŠIE VÝSLEDKY STOPOVACÍCH SKÚŠOK Z POVODIA BRESTOVSKEJ JASKYNE

DAGMAR HAVIAROVÁ[1] - PETER PRISTAŠ[2]

[1] ŠOP SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; haviarova@ssj.sk
[2] Ústav fyziológie hospodárskych zvierat SAV, ul. Šoltésovej 4-6, 040 01 Košice; pristas@saske.sk

D. Haviarová, P. Pristaš: The newest results of the tracing tests in the catchment area of the Brestovská Cave

Abstract: Unclear origin of water in underground stream of the Brestovská Cave was the reason for realization of new tracing tests. The tracing tests were realized during 2007, in two independent periods. The bacteriophages were used as a special biological tracer. The tracer was applied in the Volariská Valley and the Múčnica Valley. Water samples were taken from the cave according to planned timetable. Analyses results of water samples confirmed only the underground hydrological connection between sink water in the Volariská Valley and the stream in the cave.

Key words: Brestovská Cave, tracing test, bacteriophages, underground stream

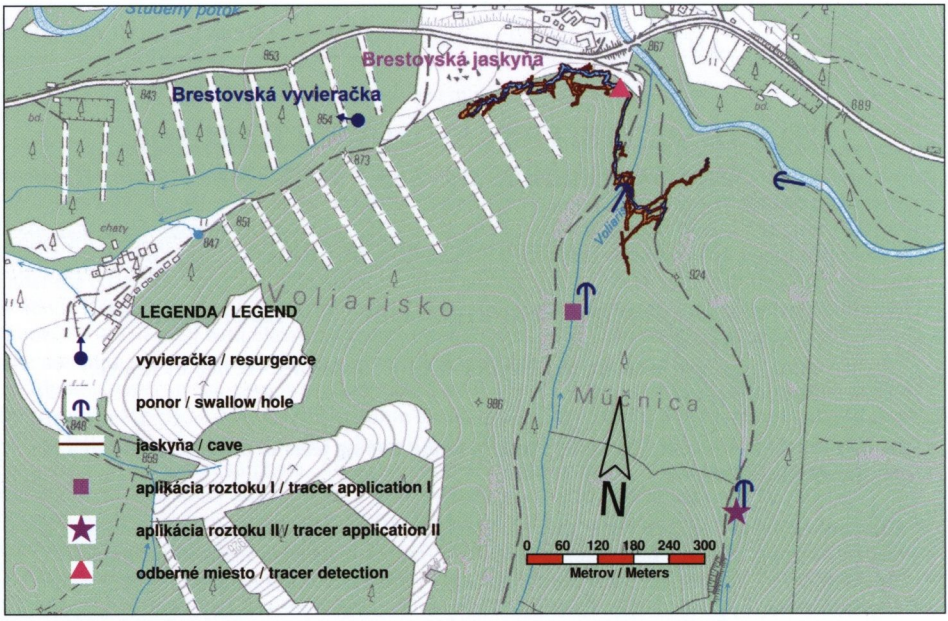
ÚVOD

Nedoriešená otázka pôvodu vôd podzemného toku v Brestovskej jaskyni bola hlavným dôvodom na naplánovanie a realizáciu stopovacích skúšok v povodí jaskyne v roku 2007. Ďalším dôvodom bola požiadavka realizácie uvedených skúšok zo strany Krajského úradu životného prostredia v Žiline v spojitosti s pripravovaným návrhom ochranného pásma jaskyne.

Cieľom plánovaných stopovacích skúšok bolo overenie prípadnej komunikácie povrchových vôd prestupujúcich v kontaktnej zóne kras-nekras do podzemia s vodným tokom v jaskyni a stanovenie prípadného času zdržania vody v systéme od jej ponorenia až po objavenie sa v jaskynnom sifóne č. 1 (označenie sifónu podľa mapky Z. Hochmutha (1984) zodpovedá najdlhšiemu, 120 metrov dlhému sifónu v jaskyni). Výber lokalít na aplikáciu stopovacej látky vychádzal z doterajších poznatkov o hydrologických, hydrogeologických a speleologických pomeroch územia, ako aj z niektorých starších publikovaných prác venujúcich sa problematike Brestovskej jaskyne (Brodňanský, 1959, 1975; Droppa, 1972; Hochmuth, 1984, 2000). V dolinke Múčnica a Volariská sa vytypovali najvhodnejšie miesta na aplikáciu stopovača do povrchových vodných tokov. Do skúšok nebola zahrnutá lokalita hlavného ponoru Studeného potoka, keďže v minulosti sa už preukázalo jej podzemné hydrologické prepojenie s Brestovskou jaskyňou. Skúšky sa vykonali na základe povolenia príslušného vodohospodárskeho orgánu.

DOTERAJŠIE STOPOVACIE SKÚŠKY NA LOKALITE

Už pred polstoročím sa v povodí Brestovskej jaskyne uskutočnil prvý známy farbiaci pokus (Brodňanský, 1975). Z pokusu existuje len strohá informácia, ktorá hovorí o zafar-



Obr. 1. Situačná mapka
Fig. 1. Map of the territory

bení vody v ponore Studeného potoka v roku 1956 a pozorovaní zafarbenej vody v Zuberci nasledujúceho dňa. Ďalší pokus prebehol v auguste roku 1958 (Brodňanský, 1959). Jeho zámerom bolo zistiť čas podzemného prietoku, a tým čiastočne aj dĺžku priestorov medzi ponorom v dolinke Volariská a podzemnými vodami v jaskyni. Podľa historických údajov farbiaca skúška nebola úspešná. Rovnako negatívny výsledok sa dosiahol počas farbiaceho pokusu v dolinke Múčnica (Mikula 2007, in verb.). Pozitívny výsledok farbiacej skúšky z Brestovskej jaskyne udáva A. Chovan (1969), ktorý opisuje farbiacu skúšku realizovanú počas Jaskyniarskeho týždňa z júla 1968. Počas tejto skúšky jaskyniari zapustili farbivo do ponoru Studeného potoka. Čas jeho objavenia pri 1. sifóne v jaskyni predstavoval 24 hodín. Stopovacia skúška tak potvrdila vizuálne pozorovania jaskyniarov, ktorí poukazovali na závislosť zvýšenia výdatnosti Brestovskej vyvieračky (vyvieračky Števkovského potoka) v čase aktivity ponoru Studeného potoka.

Aj keď vďaka jaskyniarom miestnej jaskyniarskej skupiny speleologický prieskum na lokalite pokračoval pomerne intenzívne aj v nasledujúcom období, dostupná literatúra venovaná tematike Brestovskej jaskyne neudáva už žiadnu ďalšiu stopovaciu skúšku na lokalite po roku 1968.

CHARAKTERISTIKA POUŽITEJ STOPOVACEJ LÁTKY

Na stopovacie skúšky v roku 2007 sme zvolili špecifický biologický stopovač. Išlo o fágy H40/1, ktoré sú špecifické pre morské baktérie *Pseudoalteromonas gracilis*, nie sú schopné interakcie s baktériami žijúcimi v sladkých vodách a nedokážu sa v takýchto podmienkach rozmnožovať. Ich výhodou je, že nepredstavujú žiadne riziko pre človeka a životné prostredie (Gillmann, 2007). Bakteriofág H40/1 aj baktéria *Pseudoalteromonas gracilis*, použité počas skúšky, boli darom Dr. Zopfího z Univerzity v Neuchateli vo Švajčiarsku.

Baktérie *Pseudoalteromonas gracilis* sa kultivovali v laboratórnych podmienkach v médiu SWB (Sea Water Broth). Počas každej skúšky sa pri aplikácii použilo 8 litrov fágovej sus-

penzie s početnosťou fágov 10^{10} na mililiter suspenzie. Fágová suspenzia bola pripravená zo 4 litrov SWB média, ktoré sa inokulovali 4 mililitrami nočnej kultúry *Pseudoalteromonas gracilis* a 4 mililitrami fágovej suspenzie bakteriofága H40/1. Takto pripravená zmes sa inkubovala pri izbovej teplote 24 hodín za výdatnej aerácie.

METODIKA

Realizácia stopovacích skúšok na lokalite bola rozdelená do dvoch samostatných etáp. V rámci prvej etapy sa stopovacia látka aplikovala v dolinke Volariská, druhá etapa predstavovala aplikáciu stopovača v dolinke Múčnica. Vzorky vody sa odoberali z jaskyne pri 1. sifóne podľa vopred stanoveného harmonogramu. Na odbery sa použili odberné nádoby z PVC s objemom 15 ml. Každá vzorka sa po odbere popísala vrátane presného záznamu času odberu. Následne sa umiestnila do uzatvárateľného vrecúška, čím sa zabezpečila jej izolácia od ostatných vzoriek. Všetky vzorky sa po odbere až po ich spracovanie uložili do prenosnej chladničky, kde bola zabezpečená potrebná konštantne nízka teplota a ochrana pred slnečným svetlom. Vzorky vody sa zanalyzovali v laboratóriách Ústavu fyziológie hospodárskych zvierat SAV v Košiciach, kde bola pripravená aj fágová suspenzia použitá pri aplikácii v rámci obidvoch etáp. Miesta aplikácie fágov sa zamerali prístrojom GPS. Údaje o prietokoch povrchových tokov a podzemného toku v jaskyni v čase skúšok sa stanovili prostredníctvom hydrometrických prác.

Stanovenie početnosti (titra) fágov v odobratých vzorkách

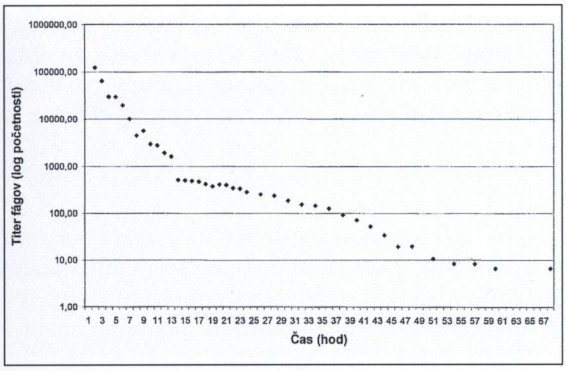
Pri stanovení početnosti fágov v odobratých vzorkách sa k 1 mililitru vzorky vody pridalo 100 mikrolitrov čerstvo pripravenej kultúry *Pseudoalteromonas gracilis.* Zmes sa inkubovala 15 minút pri izbovej teplote. Potom sa rovnomerne naniesla na povrch kultivačnej platne s médiom SWA (Sea Water Agar) a prekryla sa 4 mililitrami „soft" agaru SWA (SWB médium s prídavkom 6 gramov agaru na liter média). Po stuhnutí média sa platne inkubovali 24 hodín pri izbovej teplote. Prítomnosť fágov sa prejavila ako jasne viditeľná zóna prejasnenia (plaky) na súvislej vrstve rastúcich baktérií. Pokiaľ sa počet plakov vzhľadom na ich veľké množstvo nedal spočítať, pripravili sa ďalšie vzorky riedením pôvodnej vzorky v SWA médiu. Všetky stanovenia sa opakovali minimálne dvakrát. V rámci druhej etapy skúšky sa stanovenia opakovali minimálne trikrát, pričom pre nízku početnosť fágov bola pri stanovení ich počtu použitá metóda MPN - Most Probable Number (Blodgett, 2005).

PRIEBEH SKÚŠOK A VÝSLEDKY

Stopovacia skúška v dolinke Volariská

V rámci prvej etapy stopovacích skúšok sa overovala komunikácia medzi podzemným tokom v jaskyni a vodami povrchového toku pretekajúceho dolinkou Volariská, ktorý sa sčasti alebo v celom svojom objeme tratí v evidentnom ponore vo výške okolo 856 m n. m. V snahe dosiahnuť čo najlepší výsledok sa v čase skúšky do ponoru odrazil celý povrchový prietok v objeme 32 l/s. Prietok podzemného toku v jaskyni bol 129 l/s. Hydrologická situácia na povrchu vo vzťahu k prietoku vodného toku v dolinke Volariská zodpovedala v čase skúšky odhadovanému dlhodobému priemeru. Skúška prebehla od 28. 5. 2007 do 31. 5. 2007. Počas prvého dňa sa o 19. hodine do ponoru jednorazovo aplikovala suspenzia fágov (obr. 2). V priebehu nasledujúcich 24 hodín sa z jaskyne odoberali vzorky vody v pravidelných hodinových intervaloch. Po nich nasledoval 2-hodinový interval odberov počas ďalších 24 hodín.

Obr. 2. Aplikácia bakteriofágov v dolinke Volariská. Foto: D. Haviarová
Fig. 2. Application of bacteriophages in the Volariská Valley. Photo: D. Haviarová



Obr. 3. Početnosť fágov v odobratých vzorkách v závislosti od času uplynutého od aplikácie, prvá etapa skúšky, logaritmická mierka
Fig. 3. Number of phages in taken samples in dependency from time elapsed since application, the first phase of the test, logarithmic scale

Zvyšné vzorky sa odoberali v 3-hodinovom intervale. Celkove sa v rámci tejto etapy odobralo z jaskyne 41 vzoriek vody. Nevýhodou skúšky okrem priebežných manuálnych odberov vzoriek bola ich nutná analýza v laboratórnych podmienkach a 24-hodinová inkubácia pri stanovovaní početnosti fágov v odobratých vzorkách. Vzorky sa preto museli odoberať až do prvého známeho výsledku z analýz. Výsledky potvrdili prítomnosť fágov v jaskyni už po 2 hodinách od aplikácie. Početnosť fágov v tejto vzorke dosahovala hodnotu $1{,}24.10^5$ na mililiter vzorky. Po ďalšej hodine klesla koncentrácia fágov približne na polovicu, po 8 hodinách od aplikácie sa znížila približne 20-krát a postupne ďalej klesala. Fágy úplne nevymizli ani po 67 hodinách, kedy sa v odobratých vzorkách vyskytovali s početnosťou 6.10^0 na mililiter vzorky (obr. 3).

Stopovacia skúška v dolinke Múčnica

Ako druhá v poradí sa vykonala stopovacia skúška v dolinke Múčnica. Skúška sa uskutočnila po časovom odstupe jedného mesiaca od ukončenia prvej etapy skúšky v dolinke Volariská. Vlastnej skúške predchádzali štyri kontrolné odbery vzoriek vody z jaskyne, respektíve z Brestovskej vyvieračky, ktorých cieľom bolo overiť prípadný výskyt zvyškových fágov z prvej etapy skúšky. V odobratých vzorkách bola identifikovaná maximálne 1 fágová častica na 1 mililiter vody. Tento výsledok umožnil vykonať skúšku.

Fágová suspenzia sa aplikovala niekoľko metrov nad miestom, kde sa tratila posledná povrchová voda v dolinke Múčnica (obr. 4). Objem ponárajúcej sa vody v čase aplikácie zodpovedal jej dlhodobým vizuálne pozorovaným priemerným hodnotám, predstavoval okolo 4 l/s. Prietok podzemného toku v jaskyni v mieste odberu sa na základe hydrometrických prác stanovil na

Obr. 4. Aplikácia bakteriofágov v dolinke Múčnica. Foto: D. Haviarová
Fig. 4. Application of bacteriophages in the Múčnica Valley. Photo: D. Haviarová

cca 160 l/s. Ponorná zóna v dolinke Múčnica ležala vo výške zhruba 983 m n. m., vzdušná vzdialenosť medzi týmto miestom a 1. sifónom bola okolo 694 metrov. Aplikácia stopovača prebehla jednorazovo 2. júla o 20. hodine. Odbery vzoriek vody z podzemného toku v jaskyni pri 1. sifóne sa počas prvých 12 hodín vykonávali v 2-hodinovom intervale, ďalších 24 hodín v 1-hodinovom intervale a nasledujúcich 24 hodín v 2-hodinovom intervale. Ďalšie odbery sa robili priebežne v intervale 4 dní až do 5. augusta 2007.

Obr. 5. Odber vzoriek vody v Brestovskej jaskyni. Foto: P. Staník
Fig. 5. Water sampling in the Brestovská Cave. Photo: P. Staník

Laboratórne analýzy ani jednej z odobratých vzoriek nepotvrdili výskyt fágových častíc H40/1 v dostatočne vysokej početnosti. Len sporadicky sa detegovali individuálne fágové častice v početnosti nižšej ako 1 fág na mililiter, čo predstavovalo pravdepodobne len nepatrné zvyškové fágy z prvej etapy stopovacej skúšky.

ZÁVER

Výsledky stopovacích skúšok potvrdili komunikáciu medzi vodami v dolinke Volariská a podzemným tokom v Brestovskej jaskyni. Pri vzdušnej vzdialenosti medzi miestom aplikácie a odberným miestom v jaskyni zhruba 330 metrov a prevýšení necelých 60 metrov sa detegovala prvá a zároveň maximálna početnosť fágov v jaskyni už po 2 hodinách od aplikácie. Tento časový interval naznačuje rýchlu komunikáciu vôd medzi ponorom a jaskyňou a pravdepodobne jednoduchý priebeh komunikačných ciest.

Naopak druhá stopovacia skúška v dolinke Múčnica nepriniesla pozitívny výsledok. Za opísanej hydrologickej situácie a v časovom horizonte jedného mesiaca sa nepreukázalo podzemné hydrologické prepojenie medzi ponárajúcimi sa vodami v dolinke a podzemným tokom v jaskyni.

Poďakovanie: Na realizácii stopovacích skúšok sa podieľali P. Staník, V. Mikula a V. Michalec, ktorým touto cestou ďakujeme za pomoc počas prípravných prác a odberov.

LITERATÚRA

Blodgett, R. J. 2005. Serial dilution with a confirmation step. Food Microbiology 22, 547–522.

Brodňanský, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne, Slovenský kras, 2, 128–130.

Brodňanský, J. 1975. Správa o Brestovskej jaskyni, 1975. Manuskript, archív SMOPaJ, Liptovský Mikuláš.

Droppa, A. 1972. Kras skupiny Sivého vrchu v Západných Tatrách. Československý kras, 23 (1971), 77–98.

Gillmann, A. 2007. Etude du comportement des substances particulaires et solubles dans le systeme karstique de la source de la Noiraigue. Travail de diplôme, Centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel, 89 p.

HOCHMUTH, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne, Slovenský kras, 22, 151-156.

HOCHMUTH, Z. 2000. Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku. SSS a Katedra geografie PF UPJŠ, Prešov - Košice, 164 s.

CHOVAN, A. 1969. Správa z jaskyniarskeho týždňa v Brestovej, Slovenský kras, 7, 149-154.

THE NEWEST RESULTS OF THE TRACING TESTS IN THE CATCHMENT AREA OF THE BRESTOVSKÁ CAVE

Summary

The Brestovská Cave represents 1,450 m long fluviokarstic cave with active underground stream. The origin of water has been connected with streams in the Volariská Valley, the Múčnica Valley and water of the Studený Stream (Brodňanský, 1959, 1975; Droppa, 1972). A part of discharge of these streams disappears underground in the contact zone karst - non-karst. The older dye test confirmed only hydrological connection between the ponor of the Studený Stream and the cave stream (Chovan, 1969).

The new tracing tests were realized in the catchment of the cave in 2007. The sea bacteriophages H40/1 were selected for the test. The tests were divided into two periods. The first phase was realized during time period from 28th May 2007 to 31st May 2007. The bacteriophages were applied to the main ponor of the stream in the Volariská Valley. 41 water samples were taken from the cave. The laboratory analyses of water samples confirmed very fast underground hydrological connection between the stream in the Volariská Valley and the underground stream (air distance about 330 meters). The bacteriophages were detected in water samples already 2 hours after their application. The second phase of tracing tests was realized during time period from 2nd June 2007 to 5th August 2007. The bacteriophages were applied to the sinking stream in the Múčnica Valley. The results of these analyses didn't confirm hydrological connection between the stream of the Múčnica Valley and the cave.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	87 - 96	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

PRVÉ VÝSLEDKY MIKROKLIMATICKÉHO MONITORINGU V BRESTOVSKEJ JASKYNI

JÁN ZELINKA

ŠOP SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; zelinka@ssj.sk

J. Zelinka: First results of microclimatic monitoring in the Brestovská Cave

Abstract: A continuous microclimatic monitoring was carried out in the NNM Brestovská Cave from January 2006 to July 2007 within the framework of its complex research. Dataloggers R 3120 with own power source by COMET SYSTEM, ltd., Rožnov pod Radhoštěm, Czech Republic were used. Air temperature and relative air humidity were measured and recorded in one hour intervals in the cave and on the surface. Parameters of outside climate were monitored about 300 m from cave entrance. Three automatic dataloggers were placed in the cave in freely accessible places between entrance and siphon. Minimum temperature changes were recorded during the monitoring period. Small influence of outside climate to cave microclimate was recorded only near the entrance in winter season. On the basis of results, we can characterize the monitored part of the cave as static one without important outside influences on cave microclimate changes.

Key words: Brestovská Cave, datalogger, microclimate, monitoring, air temperature

ÚVOD

Vchod do Brestovskej jaskyne sa nachádza v katastrálnom území Zuberca v nadmorskej výške 867 m. V rámci klimatických oblastí Slovenska (Lapin et al., 2002) jaskyňa leží v chladnom horskom klimatickom okrsku s priemernou ročnou teplotou vzduchu od 4 do 6 °C, čo potvrdili aj naše kontinuálne merania.

Účinok možných zmien základných parametrov vonkajšej klímy (teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu) na speleoklímu jaskyne je lokálne ovplyvnený umiestnením jej vchodu. Ten sa nachádza v severne orientovanom, trvale zalesnenom úpätí Západných Tatier - Roháčov, pri Múzeu oravskej dediny Zuberec - Brestová. Pri terajšom umiestnení meracích stanovíšť sa vplyv zmien základných parametrov vonkajšej klímy síce nepotvrdil, no možno ho predpokladať v iných častiach jaskyne, napr. v Jazernej chodbe prechádzajúcej popod závrty, cez ktoré vzdušné hmoty z povrchu pravdepodobne komunikujú z jaskynným ovzduším najmä v zimnom období. Detailný monitoring mikroklimatických ukazovateľov vo vzťahu k jaskyni sa uskutočnil prvýkrát.

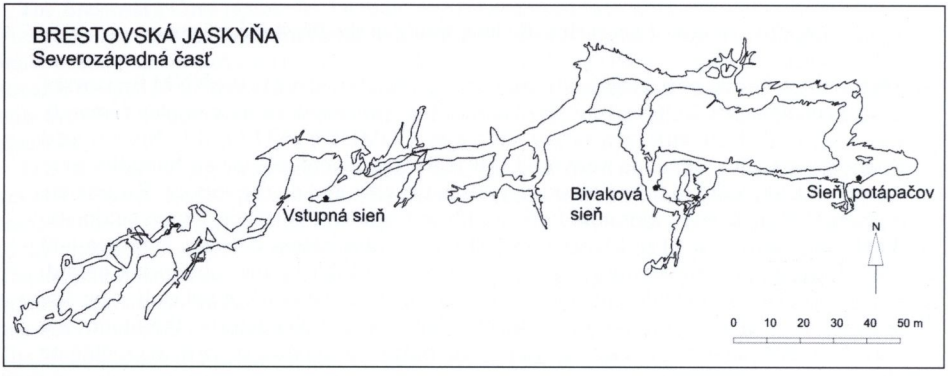
SPÔSOB MERANIA A LOKALIZÁCIA POZOROVANÍ

Na meranie a uchovávanie údajov sa použil záznamník teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu typ R3120 od výrobcu COMET SYSTEM Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika (www.cometsystem.cz). Namerané hodnoty kontinuálne zaznamenával do vnútornej pamäte v nastavenom intervale 1 hodina. Umiestnenie dataloggerov bolo približne rovnaké: cca 160 cm nad dnom priestoru a cca 50 cm od steny. Monitoring sa realizoval v období

od 16. januára 2006 do 3. júla 2007. Na výpočet priemerných ročných hodnôt teploty sa použil hodinový záznam údajov za obdobie od 1. februára 2006 do 31. januára 2007.

Na registráciu sledovaných veličín mikroklímy sme zvolili štyri stanovištia. Pre jej vonkajšie parametre bol datalogger umiestnený na severnej strane neďalekej horárne (asi 300 m na SV od vchodu do jaskyne). Vo vlastnej jaskyni sme meraciu a záznamovú techniku umiestnili tak, aby namerané hodnoty detailne odrážali možný vplyv iných faktorov na priebeh jej mikroklímy, napríklad vplyv vonkajšej klímy, resp. aktívneho vodného toku v jaskyni: vo Vstupnej sieni, v Sieni potápačov a v relatívne izolovanej, vyššie situovanej časti - v Bivakovej sieni (obr. 1).

Keďže snímače použitej monitorovacej techniky nie sú vhodné na meranie relatívnej vlhkosti vzduchu nad 95 %, v jaskyni sa skúmali iba teplotné pomery.



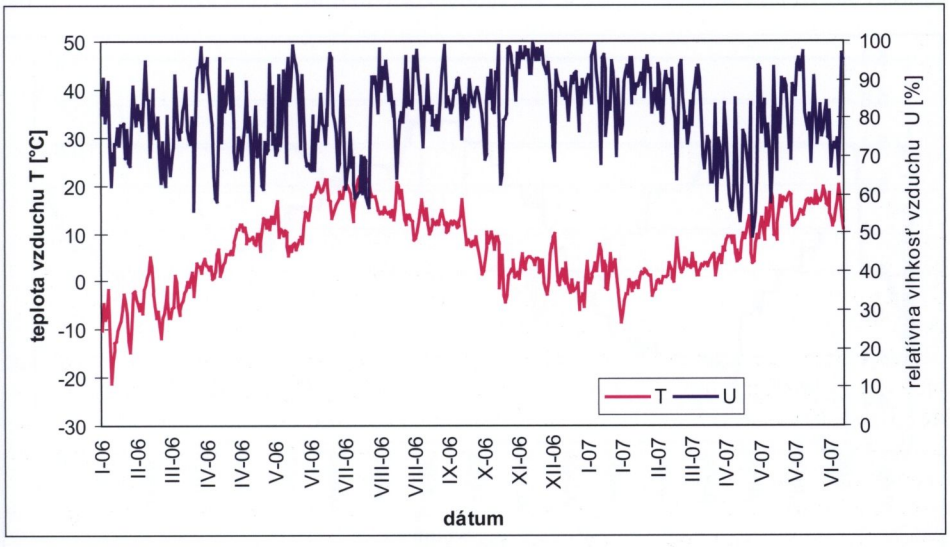
Obr. 1. Pôdorys Brestovskej jaskyne s lokalizáciou monitorovaných stanovíšť
Fig. 1. Ground plan of Brestovská Cave with location of monitored sites

TEPLOTNÉ A VLHKOSTNÉ POMERY VONKAJŠEJ KLÍMY

Teplota vzduchu. Z nameraných a zaznamenaných hodinových hodnôt teploty vzduchu v blízkom okolí vchodu do jaskyne vychádza za vyhodnocované obdobie jej priemerná ročná hodnota 6,76 °C. Keďže monitorované stanovište bolo umiestnené na náprotivnom svahu oproti vchodu do jaskyne, ktorý má južnú expozíciu, a nachádzalo sa na otvorenom priestranstve (obr. 2), tento údaj pomerne dobre koreš-ponduje aj so zaradením v rámci klimatických oblastí Slovenska - do klimatického chladného horského okrsku. Jeho priebeh je sínusoidný a počas celého monitorovaného obdobia sú jeho kulminácie (zimná v januári, resp. februári, letná v júli) zhodné. No v rámci priemerných mesačných hodnôt teploty vzduchu počas relatívne po sebe nasledujúcej „chladnej" a „teplej" zime sa odrazili aj v ich priemerných mesačných hodnotách (obr. 3, tab. 1). Absolútne minimum za vyhodnocované obdobie -18,6 °C dosiahla teplota vzduchu 6. februára 2006 a absolútne maximum 31,0 °C 20. júla 2006. Najchladnejším mesiacom s priemernou teplotou vzduchu bol január 2006: -10,43 °C (január 2007: 0,63 °C!), najteplejším júl 2006: 18,2 °C (júl 2007: 15,73 °C).

Relatívna vlhkosť vzduchu. Priebeh relatívnej vlhkosti vzduchu za vyhodnocované obdobie odrážal zmeny teploty - jej extrémy, ako aj dni so zrážkami. Jej priemerná ročná hodnota dosiahla pomerne vysokú hodnotu 82,16 %. Absolútne minimum 21,4 % dosiahla 24. marca 2006. Celkovo najvlhším mesiacom za monitorované obdobie bol november 2006, kedy jeho priemerná hodnota dosiahla až 92,92 %. Najsuchším bol apríl 2007 s priemernou vlhkosťou vzduchu 68,1 %.

Obr. 2. Lokalizácia vchodu do Brestovskej jaskyne a umiestnenia dataloggera pre záznam teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu vonkajšej klímy na ortofotomape územia
Fig. 2. Location of entrance to Brestovská Cave and place of datalogger for temperature and relative humidity of outside climate on orthophoto map



Obr. 3. Graf priemerných denných hodnôt teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu pred vchodom do jaskyne
Fig. 3. Graph of average daily values of temperature and relative air humidity in front of cave entrance

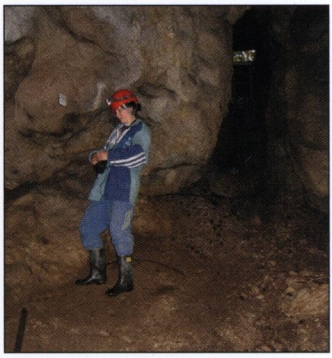
Tab. 1. Tabuľka priemerných mesačných hodnôt teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu pred vchodom do jaskyne
Tab. 1. Table of average monthly values of temperature and relative air humidity in front of cave entrance

Mesiac	I-06	II-06	III-06	IV-06	V-06	VI-06	VII-06	VIII-06	IX-06	X-06	XI-06	XII-06	I-07	II-07	III-07	IV-07	V-07	VI-07	VII-07
T_{priem} [°C]	-10,43	-4,71	-2,09	5,81	10,31	14,35	18,20	14,31	12,47	7,80	2,57	0,33	0,63	0,06	3,18	6,95	12,76	15,54	15,73
U_{priem} [%]	76,70	78,24	78,52	79,40	77,14	80,73	70,82	86,10	84,60	83,55	92,92	86,51	87,19	88,70	81,46	68,09	76,76	81,15	81,45

TEPLOTNÉ POMERY V JEDNOTLIVÝCH ČASTIACH JASKYNE

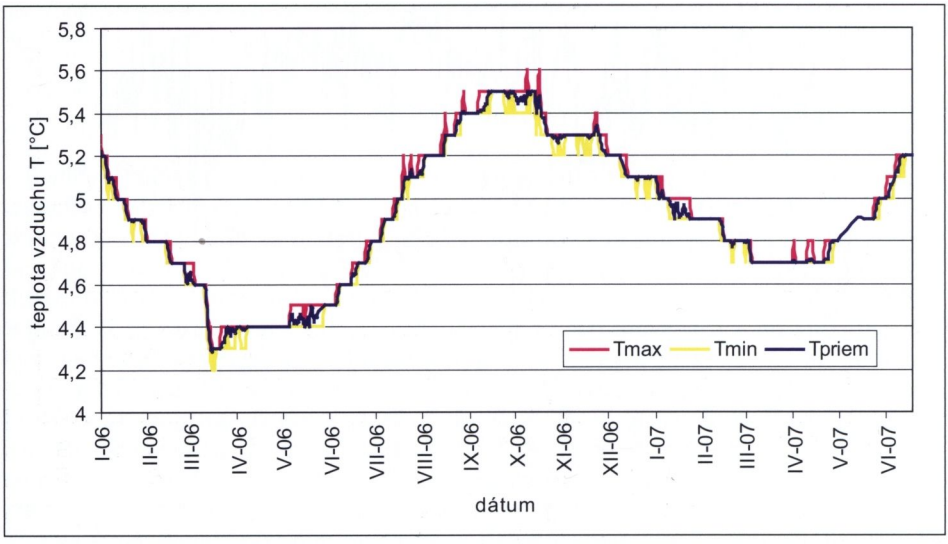
Vstupná sieň

Datalogger bol umiestnený asi 10 m od vchodu do jaskyne vpravo v bočnom skalnom výbežku (obr. 4). V súčasnosti je vchod do jaskyne zabezpečený neprielezným uzáverom, nad ktorým sú ponechané vletové otvory pre netopiere. Práve tie sú jediným komunikačným otvorom aj pre možnú výmenu vzdušnín medzi povrchovou a jaskynnou klímou.



Obr. 4. Umiestnenie dataloggera vo Vstupnej sieni jaskyne. Foto: P. Staník
Fig. 4. Placing the datalogger in Entrance Hall. Photo: P. Staník

Počas vyhodnocovaného obdobia bola na monitorovanom stanovišti zaznamenaná priemerná teplota vzduchu 4,93 °C. Jej kulminácie (jarná a jesenná) vychádzali na apríl, resp. na október. Na priebehu hodinových hodnôt teploty vzduchu za celé monitorované obdobie sme síce nezaznamenali veľké rozdiely medzi jej dennými extrémami, no v jarných kulmináciách, ako dôsledku dvoch teplotne odlišných zím, sa i tu prejavil rozdiel medzi priemernými aprílovými mesačnými hodnotami o 0,3 °C (obr. 5, tab. 2). Absolútne minimum teploty vzduchu 4,2 °C sa zaznamenalo 2. apríla 2006. Absolútne maximum 5,6 °C dosiahla teplota vzduchu 24. októbra 2006. Najchladnejším mesiacom bol apríl 2006: 4,37 °C (apríl 2007: 4,70 °C), najteplejším október 2006: 5,48 °C.



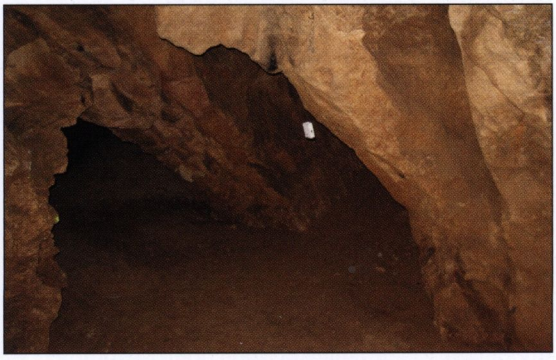
Obr. 5. Graf priemerných, maximálnych a minimálnych denných hodnôt teploty vzduchu vo Vstupnej sieni
Fig. 5. Graph of average, maximum and minimum daily values of air temperature in Entrance Hall

Tab. 2. Tabuľka priemerných mesačných hodnôt teploty vzduchu vo Vstupnej sieni
Tab. 2. Table of average monthly values of air temperature in Entrance Hall

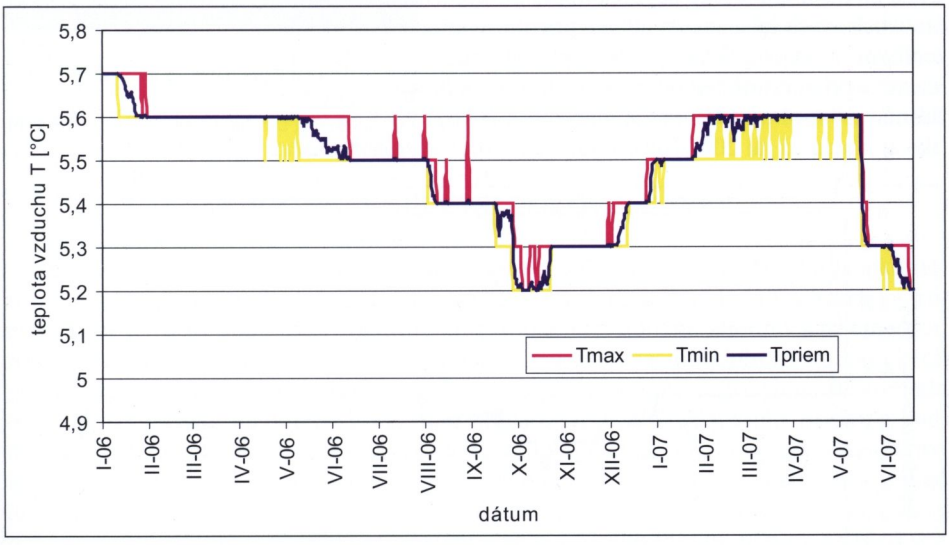
Mesiac	I-06	II-06	III-06	IV-06	V-06	VI-06	VII-06	VIII-06	IX-06	X-06	XI-06	XII-06	I-07	II-07	III-07	IV-07	V-07	VI-07	VII-07
T_{priem} [°C]	5,70	5,61	5,6	5,6	5,60	5,53	5,50	5,46	5,40	5,27	5,29	5,33	5,46	5,55	5,59	5,60	5,59	5,28	5,2

Bivaková sieň

Druhé miesto v jaskyni, kde sme realizovali kontinuálny monitoring teploty vzduchu, sa nachádza na staršom, vyššom poschodí (obr. 6), v sieni, do ktorej ústia štyri horizontálne, resp. šikmo uklonené chodby, a je relatívne izolované od iných prírodných vplyvov na priebeh teploty. Počas vyhodnocovaného obdobia bola v Bivakovej sieni priemerná ročná teplota vzduchu 5,46 °C. Od začiatku monitorovania hodinové hodnoty teploty vzduchu pozvoľne klesali až do októbra 2006, keď dosiahli absolútne minimum 5,2 °C (19. - 23. októbra 2006). Následne za relatívne krátke časové obdobie pomerne rýchlo stúpli na 5,6 °C (koniec februára až máj 2007), no absolútne maximum 5,7 °C dosiahli úplne na začiatku sledovaného obdobia, od 16. januára do 13. februára 2006. V priebehu dvoch mesiacov sme zaznamenali ich relatívne prudký pokles, tiež na hodnotu absolútneho minima. V priebehu vyhodnocovaného obdobia bol najchladnejším mesiacom október 2006: 5,27 °C (júl 2007: 5,2 °C). Najteplejší mesiac bol január 2006: 5,61 °C (apríl 2007: 5,60 °C) (obr. 7, tab. 3).



Obr. 6. Umiestnenie dataloggera v Bivakovej sieni. Foto: P. Staník
Fig. 6. Placing the datalogger in Bivaková Hall. Photo: P. Staník



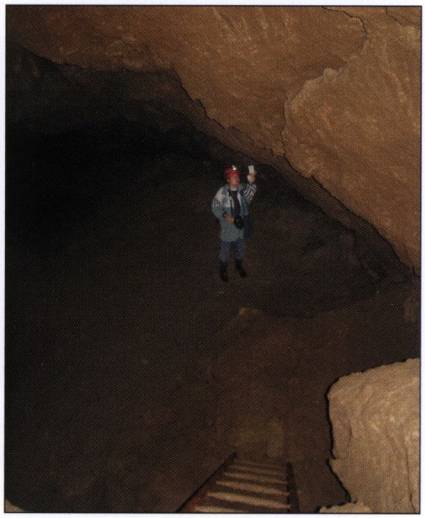
Obr. 7. Graf priemerných, maximálnych a minimálnych denných hodnôt teploty vzduchu v Bivakovej sieni
Fig. 7. Graph of average, maximum and minimum daily values of air temperature in Bivaková Hall

Tab. 3. Tabuľka priemerných mesačných hodnôt teploty vzduchu v Bivakovej sieni
Tab. 3. Table of average monthly values of air temperature in Bivaková Hall

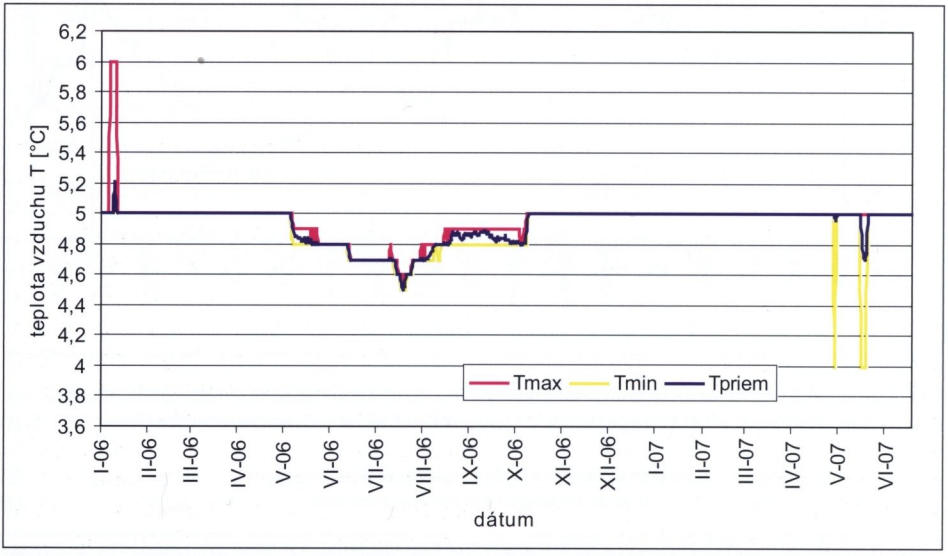
Mesiac	I-06	II-06	III-06	IV-06	V-06	VI-06	VII-06	VIII-06	IX-06	X-06	XI-06	XII-06	I-07	II-07	III-07	IV-07	V-07	VI-07	VII-07
T_{priem} [°C]	5,23	5	5	5	4,95	4,80	4,69	4,69	4,86	4,87	5	5	5	5	5	5	5	4,97	5

Sieň potápačov

Posledná monitorovaná lokalita v jaskyni bola pri vodnom sifóne na jej koncovom, voľne dostupnom mieste. Datalogger sme umiestnili v skalnom výklenku napravo pod zostupovým rebríkom z vyššej úrovne jaskyne a nad „povodňovou čiarou", aby sme sa vyhli riziku jeho poškodenia za prípadných extrémnych stavov podzemného toku (obr. 8). V rámci vertikálneho rozvrstvenia teploty vzduchu v jaskyni by mal teda zaznamenávať relatívne vyššie teploty, ako keby bol umiestnený tesne nad tokom. Priemerné teploty vzduchu za vyhodnocovaný rok tu dosiahli hodnotu 4,9 °C. Priemerné denné hodnoty teploty vzduchu boli najvyššie na začiatku monitorovaného obdobia (január 2006). V tomto období sme zaznamenali aj najvyššie maximálne teploty vzduchu (až do 6,0 °C), ktoré boli dosiahnuté počas dlhodobejších výskumných aktivít, čím potvrdzujú možnosť jej krátkodobého antropogénneho ovplyvnenia. Počas vyhodnocovaného obdobia boli priemerné denné teploty vzduchu viac-menej vyrovnané. Absolútne minimum 4,5 °C dosiahli v dňoch 2. - 5. augusta 2006, zato absolútne maximá sme opakovane zaznamenali v období od februára do apríla 2006 a tiež od novembra 2006 do mája 2007. Ako najchladnejšie mesiace štatisticky vyšli júl a august 2006 s priemernými teplotami vzduchu 4,69 °C. Najteplejšími mesiacmi s priemernou teplotou vzduchu 5 °C boli február až apríl a november až december 2006, ako aj január až júl 2007 (obr. 9, tab. 4).



Obr. 8. Umiestnenie dataloggera v Sieni potápačov. Foto: P. Staník
Fig. 8. Placing the datalogger in Potápačov Hall. Photo: P. Staník



Obr. 9. Graf priemerných, maximálnych a minimálnych denných hodnôt teploty vzduchu v Sieni potápačov
Fig. 9. Graph of average, maximum and minimum daily values of air temperature in Potápačov Hall

Tab. 4. Tabuľka priemerných mesačných hodnôt teploty vzduchu v Sieni potápačov
Tab. 4. Table of average monthly values of air temperature in Potápačov Hall

Mesiac	I-06	II-06	III-06	IV-06	V-06	VI-06	VII-06	VIII-06	IX-06	X-06	XI-06	XII-06	I-07	II-07	III-07	IV-07	V-07	VI-07	VII-07
T_{priem} [°C]	5,1	4,86	4,62	4,37	4,41	4,51	4,80	5,14	5,39	5,48	5,31	5,22	5,05	4,91	4,76	4,70	4,74	5,03	5,2

Voľba monitorovania na tomto stanovišti mala za cieľ nielen spoznať priebeh hodinových hodnôt teploty vzduchu, ale aj posúdiť možný vplyv zmien teploty vody v podzemnom toku jaskyne na zmeny teploty vzduchu. V tabuľke uvádzame teploty vody namerané počas experimentálnych hydrologických pozorovaní spolu s priemernými dennými hodnotami teploty vzduchu pri sifóne počas príslušných dní:

	16. 1. 2006	22. 5. 2006	15. 8. 2006	24. 10. 2006	6. 3. 2007
Teplota vody [°C]	4,8	4,6	5,7	5,5	4,9
Teplota vzduchu [°C]	5,96	4,95	4,71	4,92	5,0

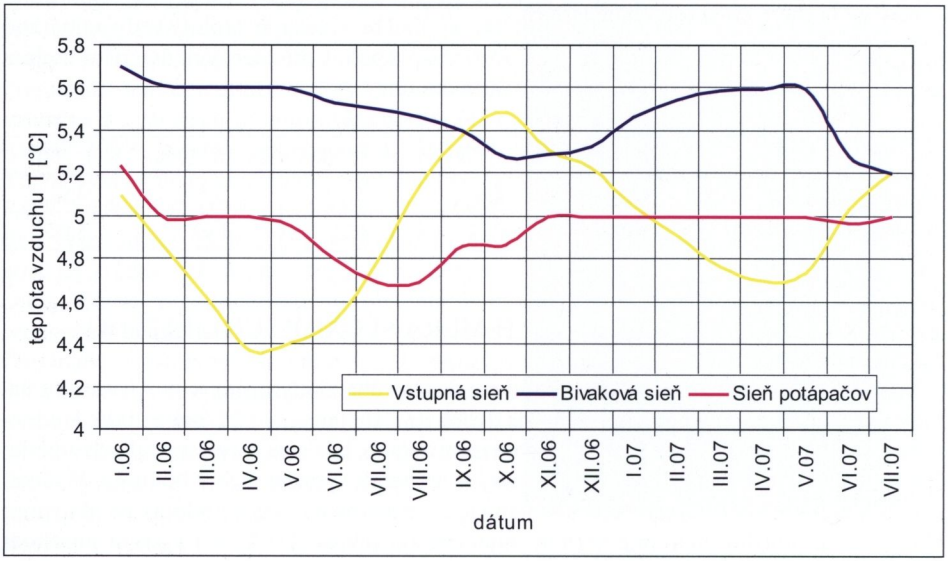
VÝSLEDKY EXPEDIČNÝCH MERANÍ OXIDU UHLIČITÉHO

Merania CO_2 sme vykonávali pomocou automatického analyzátora typu Airwatch s nameranými hodnotami v percentách počas dvoch dní: 16. januára a 22. mája 2006. Hodnoty sme zaznamenávali v rámci celej jaskyne na miestach, kde sme zaregistrovali ich zmenu. Pri vonkajšej úrovni CO_2 0,4 % sme v jaskyni namerali výrazne vyššie hodnoty. V rámci dvoch meraní boli v priemere zaznamenané jeho relatívne najvyššie hodnoty na aktívnom toku. Tie sa pohybovali v priemernom intervale od 0,9 do 1,0 %. Na vyššom poschodí jaskyne a pri sifóne dosahovali hodnoty od 0,6 do 0,7 %. Všeobecne ide o relatívne vysoké hodnoty. Pre objasnenie genézy CO_2 v jaskyni a jeho množstva plánujeme v budúcnosti rozšírenie meraní aj o jeho kontinuálny monitoring.

ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV A ZÁVER

Na základe nami kontinuálne zaznamenaných a vyhodnotených údajov okolitej vonkajšej a jaskynnej klímy má Brestovská jaskyňa, ležiaca v chladnom horskom klimatickom okrsku, priemernú ročnú teplotu vzduchu približne zhodnú s priemernou ročnou teplotou vzduchu v príslušnej oblasti. Na základe dlhodobých klimatických pozorovaní najbližších meteorologických staníc sa jej hodnota pohybuje v intervale od 4 do 6 °C. Nami nameraná priemerná ročná teplota vonkajšej klímy dosiahla hodnotu 6,76 °C. Vychádzala však z krátkodobého pozorovania a bola ovplyvnená relatívne teplou zimou. Zato s dlhodobými pozorovaniami korešpondujú priemerné ročné teploty jaskynnej klímy, na ktoré mal okamžitý priebeh teplôt vonkajšej atmosféry počas monitorovaného obdobia minimálny vplyv. Po vyhodnotení údajov zo všetkých monitorovaných stanovíšť v jaskyni sa jej hodnoty pohybovali v intervale od 4,9 do 5,5 °C. Vplyv vonkajšej klímy sa čiastočne prejavil len za vchodom do jaskyne. Tu bolo namerané aj absolútne minimum teploty vzduchu: 4,2 °C, a zároveň aj najväčší rozdiel medzi priemernými dennými teplotami vzduchu v rámci jaskyne, ktorý robil 1,4 °C. Na rozdiel od ostatných stanovíšť sme tu zaznamenali aj posun v rámci období s minimálnou i maximálnou kulmináciou. Minimálna pripadla na apríl (Sieň potápačov: júl, Bivaková sieň: október) a maximálna na október (Sieň potápačov: november až máj, Bivaková sieň: marec až máj).

Najchladnejšou časťou jaskyne sa javia priestory v okolí aktívneho podzemného toku, v ktorých podľa nameraných údajov z oblasti Siene potápačov dosiahla priemerná ročná teplota 4,9 °C. Priemerná teplota vody z piatich expedičných meraní bola 5,1 °C. V priestoroch Siene potápačov i Bivakovej siene sa zistil aj najmenší rozdiel medzi najvyššími a najnižšími priemernými dennými teplotami za celé vyhodnocované obdobie - len 0,5 °C. Logicky najteplejšími časťami jaskyne sú jej najvyššie položené úrovne, v priestore stanovišťa Bivaková sieň bola priemerná ročná teplota 5,46 °C (obr. 10).



Obr. 10. Graf priemerných mesačných hodnôt teploty vzduchu v jednotlivých monitorovaných častiach jaskyne
Fig. 10. Graph of average monthly values of air temperature in individual monitored parts of the cave

Záverom môžeme konštatovať, že na detailný, pomerne vyrovnaný priebeh teploty vzduchu v sledovaných častiach jaskyne majú zmeny vonkajšej teploty minimálny, resp. len lokálne obmedzený vplyv. Ani zmeny teploty podzemného toku zatiaľ nepotvrdili výraznejší vplyv na teploty vzduchu v jeho okolí, no pre potvrdenie, respektívne vyvrátenie takéhoto záveru bude potrebné v budúcnosti vykonať podrobnejšie merania. Priemerné teploty vzduchu v jaskyni majú stúpajúci trend v rámci vertikálneho vzdušného profilu od najnižších častí s aktívnym vodným tokom smerom k starším, vyššie situovaným poschodiam.

Z termodynamického hľadiska monitorovanú časť jaskyne charakterizujeme ako statickú. Tento fakt však nemusí platiť v ostatných častiach, napríklad v Jazernej chodbe, ktoré javia znaky sezónnej dynamiky a v tejto fáze neboli predmetom monitoringu.

K predloženým záverom sme dospeli na základe detailného kontinuálneho monitoringu, v rámci ktorého sa zaznamenalo a spracovalo 102 284 údajov.

LITERATÚRA

Brodňanský, J. 1958. Brestovská jaskyňa. Slovenský kras, 1, 114-115.

Lapin, M. - Faško, P. - Melo, M. - Šťastný, P. - Tolmain, J. 2002. Klimatické oblasti. In Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava - Ministerstvo životného prostredia SR, Banská Bystrica - Slovenská agentúra životného prostredia (mapa č. 27, s. 95).

FIRST RESULTS OF MICROCLIMATIC MONITORING IN THE BRESTOVSKÁ CAVE

Summary

On the basis of continually recorded and processed data of the outside and cave climate, the Brestovská Cave, lying in the cold climatic region, has the average annual air temperature approximately identical with average annual air temperature of this region. This temperature ranges outside in interval from 4 to 6 °C on the basis of long-term climatic observations of closest meteorological stations. We measured the average annual temperature of the outside climate to 6.76 °C. However, it comes out of short-term observation influenced by relatively warm winter. The average annual temperature of cave climate, which showed minimal influence from instant course of temperatures of the outside atmosphere during monitoring period, corresponds with long-term observations. The values of this temperature ranged in interval 4.9 - 5.5 °C after interpretation of data from all monitoring sites. Influence of the outside climate partially showed only close to cave entrance. Also the absolute minimum of air temperature was recorded here: 4.2 °C, and at the same time the biggest difference between average daily air temperatures within the cave, which reached 1.4 °C. Another recorded difference was the shift within periods with minimal and maximal culmination. The minimal one fell to April (Potápačov Hall: July, Bivaková Hall: October) and the maximal one to October (Potápačov Hall: November to May, Bivaková Hall: March to May).

The coldest part of the cave look to be the spaces near active water flow, where according to measured data from the Potápačov Hall reached the average annual temperature 4.9 °C. The average water temperature from five expedition measurements was 5.1 °C. The least difference between the highest and the lowest average daily temperatures during the whole evaluated period - only 0.5 °C, was in the Potápačov Hall and Bivaková Hall. Logically, the warmest parts of the cave are the highest levels, the average annual temperature of the site in the Bivaková Hall was 5.46 °C (Fig. 10).

At last, we can state that the changes of outside temperature have minimal or only locally limited influence on detail, relatively stable course of air temperatures in monitored parts of the cave. Also the changes of underground stream temperatures haven't yet confirmed more substantial influence on air temperatures in its surrounding, however this result needs to be approved or disproved by more detailed measurements in the future. The average air temperatures in the cave have increasing trend within the framework of vertical air profile, from the lowest parts with active water flow towards the older, higher situated levels.

The monitored part of the cave can be characterized from the thermodynamic point of view as a static one. However, this fact needn't be true for other parts of the cave, which were not the subject of this monitoring, like the Jazerná Passage, which shows signs of seasonal dynamics.

Submitted conclusions were derived from detailed continuous monitoring, within which 102,284 data records were processed.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	97 - 110	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

SPOLOČENSTVÁ FAUNY BRESTOVSKEJ JASKYNE (ZÁPADNÉ TATRY)

ĽUBOMÍR KOVÁČ[1,2] - ANDREJ MOCK[1] - ZUZANA VIŠŇOVSKÁ[3] - PETER ĽUPTÁČIK[1]

[1] Katedra zoológie, ÚBEV, Prírodovedecká fakulta UPJŠ, Moyzesova 11, 040 01 Košice; lubomir.kovac@upjs.sk
[2] Ústav zoológie SAV, Löfflerova 10, 040 01 Košice
[3] ŠOP SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; visnovska@ssj.sk

Ľ. Kováč, A. Mock, Z. Višňovská, P. Ľuptáčik: Animal communities of the Brestovská Cave (Západné Tatry Mts.)

Abstract: The fluviokarstic Brestovská Cave with active underground stream is located in the Západné Tatry Mts. (entrance 867 m a.s.l; total length 1,450 m). Investigations of invertebrate communities of the Brestovská Cave were carried out in 2000, 2006 and 2007 using pitfall trapping, baiting, extraction of organic material and visual searching as collecting methods for terrestrial fauna. Pitfall traps and baits were installed at 5 sites along the cave from its deeper parts to the entrance. Aquatic forms were collected from the stream and the gravel stream bed (interstitial habitat) by planktonic net.

Key words: cave fauna, benthos, interstitial fauna, Chiroptera, Brestovská Cave, Západné Tatry Mts., Slovakia

ÚVOD

Brestovská jaskyňa bola dlho mimo záujmu biológov. Prvé údaje publikovali Mlejnek a Ducháč (2001, 2003) - doložili tu výskyt jaskynnej rovnakonôžky *Mesoniscus graniger*. Ide o jednu z najsevernejších lokalít výskytu tohto druhu (a suchozemskej kavernikolnej rovnakonôžky v Európe zrejme vôbec). Iné údaje o suchozemských bezstavovcoch jaskyne publikované zrejme neboli. R. Mlejnek realizoval v jaskyni krátky výskum chrobákov, zistil tu jeden druh drobčíkov (ústna inf.).

Vodná fauna v Brestovskej jaskyni sa do roku 2005 systematicky neskúmala. Jediný hydrobiologický výskum (Deván, 1982, 1985) sa zameral na sledovanie driftu vodných bezstavovcov v jaskynnom toku, t. j. organizmov unášaných alochtónnym tokom z povrchových biotopov do subteránneho prostredia. Zároveň autor skúmal zloženie makrozoobentosu a drift na povrchu v blízkosti ponorov Studeného potoka a jeho prítokov (Múčnica, Volariská), napájajúcich jaskynný tok. V jaskyni zistil prevažné zastúpenie splavovaných druhov živočíchov, autochtónnu speleofaunu nezaznamenal. O prítomnosti rýb v podzemnom toku Brestovskej jaskyne, konkrétne pstruha potočného (*Salmo trutta* m. *fario*), sa zmieňujú Brodňanský (1958), Deván (1985) a Gulička (1986).

Výskytu netopierov v Brestovskej jaskyni sa okrajovo venovali v minulosti viacerí autori (Gaisler a Klíma, 1965; Štollmann, 1968; Hanák, 1971; Gaisler a Hanák, 1972, 1973; Bobáková et al., 2002). Celkovo tu zaznamenali 9 druhov netopierov.

Cieľom faunistického výskumu bolo získať základný prehľad o diverzite a štruktúre spoločenstiev terestrickej a vodnej bioty a chiropterofauny v Brestovskej jaskyni. Prvú časť výskumu v roku 2000 sme uskutočnili na podnet Správy slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši v súvislosti s plánovaným sprievodcovským sprístupnením jaskyne, druhá časť sa vykonala v roku 2006 ako súčasť plánu hlavných úloh Správy slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši.

CHARAKTERISTIKA JASKYNE

Národná prírodná pamiatka Brestovská jaskyňa (číslo štvorca podľa Databanky fauny Slovenska DFS 6783) sa nachádza v Západných Tatrách - Roháčoch (severná oblasť Sivého vrchu), v katastri obce Zuberec. Puklinový vstupný otvor jaskyne je situovaný na dne zrúteného závrtu v smrekovom lese na svahu kopca Madajka v nadmorskej výške 867 m. Jaskyňa patrí k najrozsiahlejším krasovým jaskynným systémom v slovenských Západných Tatrách, jej aktuálna dĺžka je 1450 m (Bella et al., 2007). Predstavuje typickú fluviokrasovú jaskyňu s relatívne málo vyvinutou kvapľovou výplňou, ktorá vznikla najmä eróznou činnosťou Studeného potoka. Pozostáva zo spodnej riečnej chodby, ktorou preteká alochtónny vodný tok, a z vyššie položených suchých chodieb puklinového charakteru. Z hľadiska dynamiky prúdenia vzduchu ju možno považovať za statickú jaskyňu (Droppa, 1972).

Brestovská jaskyňa je typom prietočnej jaskyne. Jaskynný tok napájajú ponorné vody Studeného (Roháčskeho) potoka a jeho menších ľavobrežných prítokov Múčnica, Volariská a pravdepodobne aj ďalší vodný zdroj z masívu Brestovej (Brodňanský, 1959; Chovan, 1969; Droppa, 1972). V jaskyni preteká minimálne piatimi vodnými sifónmi, z ktorých najväčší siaha až do hĺbky 17 m (Hochmuth, 1984). Podzemný tok vyteká na povrch v Brestovskej vyvieračke (vyvieračke Števkovského potoka), vzdialenej asi 200 m juhozápadne od vchodu do jaskyne.

V jaskyni sme v roku 2006 merali vlhkosť (%) a teplotu vzduchu (°C) na úrovni dna pomocou digitálneho prístroja COMMETER D3631, teplotu vody (°C) digitálnym teplomerom značky Checktemp. Počas siedmich meraní v období 16. 1. 2006 - 8. 8. 2007 sa pohybovala teplota vzduchu v jaskyni v rozmedzí 5,0 - 6,4 °C. Vlhkosť vzduchu nameraná 13. 9. 2006 bola vo všetkých skúmaných priestoroch jaskyne vyššia ako 95 %, s výnimkou Dómu potápačov s hodnotou 94,4 %. Podľa Košela (1996) možno väčšinu priestorov jaskyne na základe teploty vzduchu zaradiť medzi studené podzemné lokality. Teplota vody podzemného toku v rokoch 2006 - 2007 bola 4,9 - 6,2 °C. Intersticiálne vody v štrkovo-piesčitých nánosoch na brehu mimo aktívneho riečiska dosahovali teplotu 5,6 - 6,1 °C. Kontrolné merania teploty vody v Brestovskej vyvieračke preukázali zhodu, prípadne minimálnu odchýlku (± 0,2 °C) v porovnaní s aktuálnou teplotou toku zistenou v Brestovskej jaskyni. Dňa 13. 9. 2006 sme vo vyvieračke 5 m od vchodu namerali teplotu vzduchu 7,8 °C a vlhkosť > 95,0 %.

Jaskyňa je pomerne chudobná na organický materiál, v najväčšom množstve sa v podobe napadaných a nanosených driev nachádza v jej vstupných priestoroch. Významný prísun organického materiálu - potenciálneho zdroja potravy jaskynnej fauny - do jaskyne zabezpečuje podzemný tok.

MATERIÁL A METÓDY

Biospeleologický výskum sme vykonali v priestoroch Brestovskej jaskyne na úseku od vchodu až po prvý sifón. Celková dĺžka týchto priestorov dosahuje 445 m (Brodňanský, 1959). Na sledovanie terestrickej fauny počas dvoch návštev v roku 2000 (21. 9. a 26. 10.)

sa vybralo päť stanovíšť, podobne ako pri výskume v roku 2006 (pozri ďalej), zber sa uskutočnil pomocou zemných pascí (2 na stanovište), návnad (papier, syr) a priameho zberu v jaskyni.

Počas dvoch návštev v roku 2006 (22. 5. a 13. 9.) sa prieskum terestrickej fauny uskutočnil na piatich stanovištiach: 1. Sieň potápačov (piesčitý substrát s malým množstvom dreva, cca 3 m nad hladinou vody), 2. Križovatka - pri Spálni (piesčito-hlinitý substrát), 3. Meander nad Sieňou Brodňanského (piesčitý substrát s trusom bezstavovcov, cca 2 m nad hladinou vodného toku), 4. Retiazková chodba (vlhká až premočená hlinitá sutina s malým množstvom dreva) a 5. Vstupná chodba - 5 m od vchodu (vlhká sutina s drevom). Na každom stanovišti sme exponovali zemné pasce (obr. 1) s tromi odlišnými fixačnými tekutinami: 2 ks s 95 % benzínalkoholom, 2 ks so 4 % formaldehydom a 1 ks so zmesou Stabil - pivo v pomere 1:1. K pasciam sa umiestnila návnada (hobliny premiešané s ovsenými vločkami, droždím a sirupom). Okrem toho sme prítomné bezstavovce zbierali individuálne na suchu (na drevách, v substráte, na stenách).

Obr. 1. Pasce a návnada na odchyt terestrických bezstavovcov. Foto: A. Mock
Fig. 1. Pitfall traps and bait for sampling of terrestrial invertebrates. Photo: A. Mock

Obr. 2. Zber vodnej fauny z podzemného toku Brestovskej jaskyne. Foto: A. Mock
Fig. 2. Collection of aquatic fauna from the underground stream. Photo: A. Mock

Hydrobiologický výskum sa realizoval v rokoch 2006 (16. 1., 22. 5., 13. 9., 24. 10.) a 2007 (8. 8.). Kvalitatívne vzorky bentickej fauny sa odoberali v riečisku podzemného toku vo Vstupnej sieni, ďalej na úseku brodenia toku pod rebríkom vedúcim do suchých horných častí jaskyne vo Vysokom dóme a pred prvým sifónom v Dóme potápačov. Narušaním štrkového alebo piesčito-hlinitého dna a vírením hornej vrstvy sedimentov (jemný kal, detrit, hrubší rastlinný materiál - úlomky dreva, konáriky, ihličie) na úsekoch toku s pomalým i rýchlejším prúdením vody sme planktónnou sieťou aktívne zachytávali uvoľnený a prúdom strhnutý materiál (obr. 2). Ďalší materiál vodných bezstavovcov sa získal filtrovaním vody z jamiek čerstvo vykopa-

Obr. 3. Jamka vyhĺbená v štrkovom brehu toku na odber vzorky intersticiálnej fauny. Foto: Z. Višňovská
Fig. 3. Hole dug in gravel bed of the stream for sampling of the interstitial fauna. Photo: Z. Višňovská

ných v štrkopieskových nánosoch na brehu v tesnej blízkosti aktívneho toku vo Vysokom dóme (obr. 3). Cieľom bolo zachytiť aj intersticiálnu faunu obývajúcu mikropriestory v pórovitých sedimentoch nasýtených vodou. Niektoré väčšie živočíchy sme pozorovali „in situ" a získali priamo ručným zberom. Vzorky sa konzervovali 40 % roztokom formaldehydu, následne sa triedili a determinovali pomocou stereomikroskopickej lupy a mikroskopu. Ploskulice (Turbellaria) sme determinovali na základe pozorovania živých jedincov pod stereomikroskopom.

Chiropterologický prieskum jaskyne metódou vizuálneho sledovania sa uskutočnil v termínoch uvádzaných v tabuľke 3.

VÝSLEDKY

Suchozemská fauna

V roku 2000 sa zistilo spolu 18 taxónov bezstavovcov v nízkych počtoch s výnimkou Diptera a chvostoskoka *Protaphorura janosik*, ktoré mali v jaskyni zároveň najvyššiu frekvenciu. Z panciernikov sa *Acrogalumna longipluma* a *Achipteria coleoptrata* zachytili do pascí na stanovišti v blízkosti vchodu (5), naproti tomu *Oppia nitens* sa vyskytla hlbšie v jaskyni (stanovište 3). Z celkového počtu foriem bezstavovcov bolo 13 viazaných na vstupnú časť jaskyne. Prítomnosť vlhkomilných povrchových druhov chvostoskokov *Tetrodontophora bielanensis* a *Isotomurus* cf. *palustris* odrážala charakter prostredia (vlhké stanovište v blízkosti vody). Iba 4 taxóny sa zaznamenali hlbšie v jaskyni (stanovištia 1 - 3): euryekný pancierník *Oppia nitens*, neurčený roztoč skupiny Gamasina a dva druhy chvostoskokov, *Protaphorura janosik* (obr. 4) a *Arrhopalites pygmaeus*.

V roku 2006 bolo v Brestovskej jaskyni zachytených spolu 31 taxónov bezstavovcov (tab. 1), z toho 15 bolo limitovaných svojím výskytom na vstupnú chodbu jaskyne a 12 foriem sa zaznamenalo hlbšie v jaskyni. Z mezofauny sme vo vnútorných častiach jaskyne zistili iba zástupcov roztočov (Gamasida, Actinedida) v minimálnych počtoch a tri druhy chvostoskokov, *Protaphorura armata*, *P. janosik* a *Arrhopalites pygmaeus*. Druhý z nich je západokarpatským endemitom, možno ho označiť za charakteristický druh jaskyne, keďže sme ho zistili na väčšine stanovíšť s použitím všetkých troch metód zberu. Vchodová časť jaskyne (stanovište 5) bola podľa očakávania na faunu najbohatšia. Dominovali tu povrchové formy živočíchov, väčšina z nich s výraznejšou preferenciou vlhkých a chladnejších stanovíšť. V týchto priestoroch jaskyne boli hojné aj dva druhy chvostoskokov s výraznou afinitou k subterránnym habitatom (eutroglofily) - *P. janosik* a *A. pygmaeus*. Makrofauna sa v jaskyni vyskytuje len ojedinele, prevažne ide o povrchové druhy, jednotlivo zatúlané do jaskyne. V hlbších častiach jaskyne sa pravidelne a početne vyskytujú a rozmnožujú len dvojkrídlovce a pozdĺž vodného toku aj dážďovky. Bohatšie sú spoločenstvá fauny vo vstupných priestoroch. Charakteristické druhy osídľujú steny (pavúky, dvojkrídlovce) i sutinu. Pozornosť si zasluhuje najmä nález rovnakonôžky *Mesoniscus graniger*,

Obr. 4. Chvostoskok *Protaphorura janosik*. Foto: Ľ. Kováč
Fig. 4. Springtail *Protaphorura janosik*. Photo: Ľ. Kováč

charakteristický je aj pomerne početný výskyt troglofilného kosca *Ischyropsalis manicata*, z pavúkov tu boli prítomné len väčšie, tieňomilné druhy z čeľade Araneidae. Z mnohonôžok sme v jaskyni našli len nedospelého povrchového zástupcu rodu *Leptoiulus* (obr. 5). Kavernikolné formy chrobákov sme v jaskyni nezistili. Priamo v jaskyni boli odchytené dva bystruškovité druhy, *Nebria rufescens* a *Pterostichus foveolatus*; oba sú karpatskými prvkami fauny. Vzácny druh *N. rufescens* sa u nás vyskytuje len v Tatrách. Ide o lesné, vlhkomilné, povrchové druhy, do jaskyne prenikajúce sporadicky.

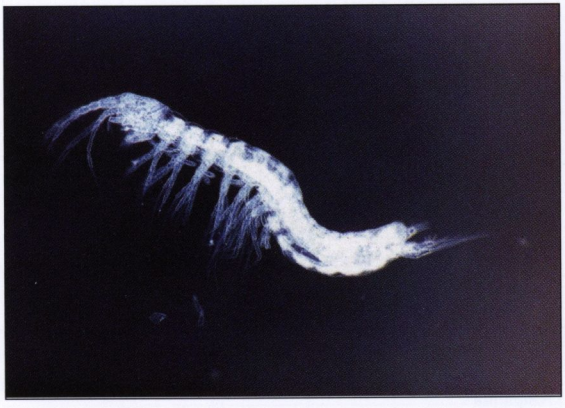
Obr. 5. Mnohonôžka z rodu *Leptoiulus*. Foto. A. Mock
Fig. 5. Millepede of the genus *Leptoiulus*. Photo: A. Mock

Vo vstupnej chodbe sme opakovane pozorovali výskyt niekoľkých subadultných jedincov skokana hnedého (*Rana temporaria*). Vzhľadom na kompaktný kovový uzáver jaskyne je otázne, kadiaľ do nej prenikajú; pravdepodobne cez horný komín alebo riečisko. Zaujímavý bol nález čerstvo uhynutého jedinca hryzca vodného (*Arvicola terrestris*) na návnade neďaleko pascí vo Vstupnej chodbe.

Vodná fauna

V rokoch 2006 - 2007 sme v spoločenstvách zoobentosu vodného toku a intersticiálu (hyporeálu) Brestovskej jaskyne zaznamenali výskyt 18 taxónov bezstavovcov z 13 živočíšnych skupín (tab. 2). K stygobiontným (freatobiontným) formám patria kôrovce *Niphargus tatrensis*, *Bathynella natans* a *Diacyclops languidoides*. Povrchové druhy *Gammarus fossarum* (kôrovce), *Crenobia alpina* (ploskulice), *Trichodrilus tatrensis, Haplotaxis gordioides* a *Rhynchelmis vagensis* (máloštetinavce) možno vzhľadom na charakter ich výskytu v Brestovskej jaskyni zaradiť ku stygofilným formám.

Majoritnou zložkou vodnej fauny v jaskyni sú kôrovce (Crustacea). V aktívnom podzemnom riečisku a intersticiálnych vodách v blízkosti toku sa relatívne hojne vyskytujú lastúrničky (Ostracoda) a plazivky (Copepoda - Harpacticoida). Zriedkavejšie sú nálezy cyklopoidných veslonôžok (Copepoda - Cyclopoida). Zatiaľ sa podarilo identifikovať podzemný druh *Diacyclops languidoides*. V podzemnom toku sa vyskytujú rôznonožce (Amphipoda) zastúpené stygobiontným druhom *Niphargus tatrensis* a povrchovým krivákom *Gammarus fossarum*. Z fauny intersticiálnych vôd je významný nález hlbinovky *Bathynella natans* (obr. 6).



Obr. 6. Kôrovec *Bathynella natans* - zástupca fauny intersticiálu. Foto: Z. Višňovská
Fig. 6. Crustacean *Bathynella natans* - representative of the interstitial fauna. Photo: Z. Višňovská

Tab. 1. Prehľad terestrických článkonožcov (Arthropoda) a ich kvantitatívne zastúpenie v Brestovskej jaskyni v roku 2006 (čísla stanovíšť - pozri Materiál a metódy, p - pasce, n - návnady, o - organický materiál, z - ručný zber, • - eutroglofilné formy, + 1 jedinec, ++ 2-9 jedincov, +++ viac ako 10 jedincov, * - pozorované, nezbierané jedince)
Tab. 1. List of terrestrial arthropods (Arthropoda) and their numbers in the Brestovská Cave in 2006 (site numbers - see chapter Materiál a metódy, p - pitfall traps, n - baits, o - organic material, z - hand collecting, • - eutroglophilous forms, + 1 individual, ++ 2-9 individuals, +++ more than 10 individuals, * - observed, not collected individuals)

	Stanovište - Metóda zberu / Site - Collecting method															
Taxóny / Taxa	**1**			**2**				**3**			**4**			**5**		
	p	**n**	**z**	**p**	**n**	**o**	**z**	**p**	**n**	**z**	**p**	**n**	**z**	**p**	**n**	**z**
GASTROPODA	+	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	++
OLIGOCHAETA																
Lumbricidae																
Aporrectodea caliginosa (Savigny, 1826)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++
Eiseniella tetraedra (Savigny, 1826)	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lumbricus rubellus Hoffmeister, 1943	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Enchytraeidae	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
ARTHROPODA																
Acarina																
Oribatida																
Xenillus tegeocranus (Hermann, 1804)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Gamasida	-	++	-	+	-	+	+	-	-	-	-	++	-	++	+++	-
Actinedida	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	+	-	+
Araneae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-
Opiliones																
Ischyropsalis manicata C. L. Koch, 1865	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	+*
Oniscidea																
• *Mesoniscus graniger* (Frivaldszky, 1865)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Diplopoda																
Leptoiulus sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Diplura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Collembola																
Ceratophysella granulata Stach, 1949	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	++	-
Protaphorura armata (Tullberg, 1869)	-	-	-	-	-	-	++	-	-	+++	-	++	-	-	+	++
• *Protaphorura janosik* Weiner, 1990	+	-	++	+	-	-	++	++	-	+++	-	-	-	+++	-	+++
Folsomia quadrioculata (Tullberg, 1871)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Desoria tigrina Nicolet, 1842	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-
Pseudosinella sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Tomocerus sp. juv.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
• *Arrhopalites pygmaeus* (Wankel, 1860)	++	+	-	-	-	-	++	+	-	++	-	-	-	+++	+	-
Megalothorax minimus Willem, 1900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	-	-
Diptera - adulty	-	-	+	+++	-	-	-	++	-	-	++	+	-	+++	-	++
- larvy	-	++	-	-	++	-	-	++	+++	-	+++	+++	-	+++	+++	-
Coleoptera																
Nebria rufescens (Stroem, 1768)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Pterostichus foveolatus (Duftschmid, 1812)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Coleoptera-larvae	-	++	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hymenoptera	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Plecoptera	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
VERTEBRATA																
Amphibia																
Rana temporaria Linnaeus, 1758	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	++*
Mammalia																
Arvicola terrestris (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Spolu (Total)	**10**			**8**				**6**			**4**			**28**		

Tab. 2. Prehľad vodných bezstavovcov zistených v Brestovskej jaskyni v rokoch 2006 - 2007 (• - stygobiontné formy, + výskyt * - nález na brehu)
Tab. 2. List of aquatic invertebrates recorded in the Brestovská Cave in 2006 - 2007 (• - stygobitic forms, + presence * - record on the stream bank)

Taxóny / Taxa	Vodný tok / Water stream	Intersticiál / Interstitial waters
TURBELLARIA		
Crenobia alpina (Dana, 1766)	+	+
NEMATODA	+	+
OLIGOCHAETA		
Rhynchelmis vagensis Hrabě, 1961	+	+ *
Trichodrilus tatrensis Hrabě, 1937	+	
Haplotaxis gordioides (Hartmann, 1821)	+	
Enchytraeidae gen. sp. juv.	+	
TARDIGRADA		+
SYNCARIDA		
• *Bathynella natans* Vejdovský, 1882		+
OSTRACODA	+	+
COPEPODA		
nauplius stadium	+	+
Harpacticoida	+	+
Cyclopoida	+	+
• *Diacyclops languidoides* (Lilljeborg, 1901)	+	+
AMPHIPODA		
Gammarus fossarum C. L. Koch, 1835	+	
• *Niphargus tatrensis* Wrześniowski, 1888	+	
ACARINA	+	+
COLLEMBOLA		+
PLECOPTERA	+	+
EPHEMEROPTERA	+	
DIPTERA		
Chironomidae	+	
Spolu (Total)	**17**	**12 + 1***

Tab. 3. Výskyt netopierov a ich počet v Brestovskej jaskyni v rokoch 2006 - 2007
Tab. 3. Occurrence of bats and their numbers in the Brestovská Cave in 2006 - 2007

Druh / Species	16. 1. 2006	22. 5. 2006	13. 9. 2006	24. 10. 2006	15. 12. 2006	6. 3. 2007	8. 8. 2007
Moytis myotis (Borkhausen, 1797)	8	-	-	4	10	13	-
Myotis mystacinus/brandtii	1	-	-	1	1	2	-
Celkový počet jedincov (Total):	**9**	**0**	**0**	**5**	**11**	**15**	**0**

Získaný materiál máloštetinavcov (Oligochaeta), reprezentujúcich bentickú faunu, tvoria zástupcovia čeľadí Lumbriculidae (*Trichodrilus tatrensis*, *Rhynchelmis vagensis*), Haplotaxidae (*Haplotaxis gordioides*) a Enchytraeidae. V jaskyni sa koncentrujú v jemných piesčito-hlinitých sedimentoch v pomalších úsekoch vodného toku. V drobnej mláčke v štrkových nánosoch mimo aktívneho riečiska vo Vysokom dóme bol odchytený dospelý jedinec *R. vagensis* s dĺžkou tela 6 cm (obr. 7).

Obr. 7. Vodný obrúčkavec *Rhynchelmis vagensis*. Foto: Z. Višňovská
Fig. 7. Aquatic oligochaete worm *Rhynchelmis vagensis*. Photo: Z. Višňovská

Obr. 8. Ploskuľa vrchovská - *Crenobia alpina*. Foto: Z. Višňovská
Fig. 8. Planarian *Crenobia alpina*. Photo: Z. Višňovská

Ploskulice (Turbellaria) sme najčastejšie pozorovali v zhlukoch hrubšieho rastlinného materiálu usadeného na dne v pomalších úsekoch vodného toku a pobrežných zátočinách, zriedkavejšie aj v intersticiálnych vodách. Ploskuľa vrchovská (*Crenobia alpina*) vytvára v jaskyni životaschopnú populáciu, vyznačujúcu sa pravidelným výskytom a relatívne hojným zastúpením juvenilných i adultných vývinových štádií (obr. 8).

Súčasťou spoločenstva podzemného toku sú aj larvy vodného hmyzu, ktoré možno zaradiť ku stygoxénnej zložke. Patria sem larvy podeniek (Ephemeroptera), pošvatiek (Plecoptera) a pakomárov (Diptera - Chironomidae). Ojedinele sme v podzemí nachádzali zvyšky tiel dospelých jedincov, ktoré sa tu z nich vyliahli.

Chiropterofauna

V zimnom období rokov 2006 a 2007 sme v jaskyni zistili prítomnosť 2 druhov netopierov. Pravidelne tu hibernoval iba netopier veľký (*Myotis myotis*, obr. 9 a 10) v maximálnom počte 13 jedincov (tab. 3). Druh *Myotis mystacinus/brandtii* (obr. 11) sa vyskytoval sporadicky. Na zimovanie využívajú suché chodby v horných častiach jaskyne, priestorom nad aktívnym vodným tokom sa spravidla vyhýbajú. Výskyt netopierov v letnom a prechodnom období sme nezaznamenali.

Obr. 9. Netopier veľký - *Myotis myotis*. Foto: Z. Višňovská
Fig. 9. Greater mouse-eared bat - *Myotis myotis*. Photo: Z. Višňovská

Obr. 10. Netopier veľký, detail hlavy. Foto: Z. Višňovská
Fig. 10. Greater mouse-eared bat, detail view on the head. Photo: Z. Višňovská

Obr. 11. Netopier fúzatý/Brandtov - *Myotis mystacinus/brandtii*. Foto: Z. Višňovská
Fig. 11. Whiskered/Brandt´s bat - *Myotis mystacinus/brandtii*. Photo: Z. Višňovská

DISKUSIA

Brestovskú jaskyňu obývajú málo diverzifikované spoločenstvá suchozemských bezstavovcov. Chýbajú tu obligátne jaskynné formy živočíchov, aké poznáme z iných jaskýň, resp. krasových území Slovenska (Kováč et al., v tlači). Súvisí to zrejme s oligotrofnými pomermi, t. j. nízkou ponukou potravových zdrojov. V jaskyni je prítomný početnejší organický substrát iba v jej vchodovej časti, kam bol pasívne transportovaný z povrchu. Tu sme zaznamenali aj najvyššiu diverzitu týchto spoločenstiev. V menšej miere sa na transporte organického materiálu (drevo, lístie) do podzemia a jeho sedimentácii v jaskyni podieľa aj podzemný tok. Guáno netopierov, významný zdroj potravy pre saprofágne a mikrofytofágne živočíchy, v jaskyni chýba pre absenciu netopierov v období ich aktivity (jar - jeseň). Nízka diverzita fauny a absencia troglobiontov môže súvisieť aj s pomerne nízkou teplotou jaskyne. Avšak údaje z iných jaskýň s podobnou teplotou vzduchu nasvedčujú, že tento faktor zrejme nie je rozhodujúci. Zistilo sa, že nízka teplota vzduchu znižuje diverzitu prítomnej fauny, nie je však rozhodujúca z hľadiska výskytu troglobiontov. Napríklad obligátne jaskynné druhy chvostoskokov sa vyskytovali aj v studených kvapľových častiach Demänovskej ľadovej jaskyne (Kováč, Hudec et al., 2002) a Dobšinskej ľadovej jaskyne (Kováč et al., 2006). Zaujímavým sa javí eutroglofilný druh chvostoskoka *Protaphorura janosik*, ktorý vzhľadom na výskyt viazaný prevažne na studené jaskyne je zrejme glaciálnym reliktom v kavernikolnej faune Západných Karpát. Problematika taxonómie tohto druhu nie je ešte uzavretá; v slovenských jaskyniach evidujeme dve blízko príbuzné formy. Niekoľko jedincov populácie druhu *P. janosik* z Brestovskej jaskyne javilo značnú podobnosť s príbuzným troglofilným druhom *P. armata* (chetotaxia 1. segmentu hrude). Ďalší frekventovanejší druh chvostoskokov v jaskyni - *Arrhopalites pygmaeus* predstavuje častého obyvateľa jaskýň Európy, v severských oblastiach (Škandinávia) žije vo vlhkých machoch a pôde otvorených habitatov (Bretfeld, 1999). Chvostoskok *Ceratophysella granulata* je častým obyvateľom vstupných priestorov jaskýň, v rámci Európy má širší areál výskytu. Z hľadiska biogeografie jaskynnej fauny na území Západných Karpát je významný nález žižiavky jaskynnej - *Mesoniscus graniger* (Isopoda). V jaskyni sa vyskytuje vzácne, zrejme len vo vstupných častiach. Hlbšie v sutinovom substráte sme tu odchytili len 1 samičku. Brestovská jaskyňa patrí medzi najsevernejšie lokality s výskytom tohto druhu v Európe (Mlejnek a Ducháč, 2001, 2003). Najnovšie sa tento druh podarilo do-

ložiť z flyšových Západných Karpát v Poľsku (Piksa a Farkas, 2007). Hlbšie v jaskyni (Sieň potápačov) sa na bahnitom brehu toku našiel amfibický druh dážďovky *Eiseniella tetraedra*. Je to druh s častým výskytom v jaskyniach (Pižl, 2002). V jaskyni sa nezistil žiaden zástupca kavernikolného rodu chrobákov *Duvalius*, ani jaskynných pavúkov rodu *Porrhomma*. Nízka početnosť predátorských skupín roztočov (Gamasina, Actinedida), ktoré boli pomerne dobre zastúpené v Dobšinskej ľadovej jaskyni (Kováč et al., 2006) a Demänovskom jaskynnom systéme (Kováč, Hudec et al., 2002) s podobnými klimatickými podmienkami, pravdepodobne súvisí s vyššie spomínaným nedostatkom potravového substrátu, a tým aj nízkou početnosťou potenciálnej koristi.

Vodnú faunu Brestovskej jaskyne tvorí kvalitatívne pestré spoločenstvo zoobentosu na povrchu dna aktívneho riečiska a fauny intersticiálnych vôd v hlbších sedimentoch na dne a brehoch podzemného toku (hyporeál). Väčšina zistených taxónov makrozoobentosu pochádza z povrchových tokov, komunikujúcich s podzemnými vodami (Deván, 1985). Najvýznamnejšou zložkou hydrofauny sú kôrovce (Crustacea), medzi ktorými sme zaznamenali aj autochtónne prvky. Stygobiontné formy *Diacyclops languidoides, Niphargus tatrensis* a *Bathynella natans* sa zaraďujú k typickým predstaviteľom reliktnej akvatickej fauny jaskýň Tatier (Štěrba, 1956; Chodorowska a Chodorowski, 1960; Dumnicka a Skalski, 1999). Intersticiálne vody predstavujú v jaskyniach prostredie s najbohatším zastúpením vodnej mikrofauny (Chodorowska a Chodorowski, 1960). V Brestovskej jaskyni je tento priestor obývaný prevažne drobnými kôrovcami zo skupín Copepoda, Ostracoda a Bathynellacea (Syncarida), ktoré sú pre tento typ prostredia charakteristické. Ploskuľa *Crenobia alpina* je typickým obyvateľom pramenných vôd, vyvieračiek a chladných horských potokov v krasových oblastiach Slovenska (Gulička, 1975). Na rozdiel od typickej povrchovej formy tohto druhu s tmavým sfarbením tela, miestnu jaskynnú populáciu tvoria značne depigmentované až albinotické jedince. Pár očí im však zostáva zachovaný a maximálna dĺžka tela pri natiahnutí dosahuje okolo 1 cm. Krivák *Gammarus fossarum* je bežný a rozšírený povrchový druh, žijúci v prameňoch a všetkých typoch tečúcich vôd, od malých potôčikov po veľké rieky (Brtek, 2001). V Brestovskej jaskyni sa oba druhy dobre prispôsobili aj podmienkam v podzemných vodách. Ich výskyt tu nie je iba náhodný, pravidelne sme ich pozorovali v relatívne početných populáciách, tvorených jedincami s čiastočnou alebo úplnou depigmentáciou tela, čo svedčí o stygofilnom charaktere miestnych populácií týchto druhov. Máloštetinavec *Rhynchelmis vagensis* je charakteristický svojím chobotovitým výbežkom na čelovom laloku (obr. 7). Spolu s druhom *Trichodrilus tatrensis* ide o chladnomilné vodné červy, žijúce prevažne v horských potokoch a čistých riekach, odkiaľ sa ponornými vodami môžu dostávať aj do podzemných vôd a za priaznivých podmienok sa tam trvalejšie usadiť. Výskyt oboch spomínaných druhov je dosiaľ známy iba z vodných biotopov tatranského, resp. podtatranského regiónu (Hrabě, 1939; Hrabě, 1961; Košel, 1977; Šporka, 1982). Zaujímavá je konfrontácia našich zistení s výsledkami hydrobiologického výskumu Devána (1985) v rokoch 1981 - 1982, ktorý z jaskynného toku uvádza iba sporadické nálezy máloštetinavcov (Oligochaeta) a kriváka *Gammarus fossarum*. Prítomnosť ploskulíc (Turbellaria) a autochtónnej makrofauny (*Niphargus tatrensis*) nezaznamenal vôbec, a to aj napriek tomu, že v Brestovskej vyvieračke a povrchových úsekoch Studeného potoka, Múčnice a Volarísk bolo osídlenie dna týmito zložkami makrozoobentosu (okrem nifargusov) relatívne bežné a hojné. To ostro kontrastuje so štruktúrou makrozoobentosu v jaskynnom toku v rokoch 2006 - 2007, kedy sme pozorovali konštantné zastúpenie všetkých štyroch foriem fauny. Čiastočné vysvetlenie týchto rozdielov možno hľadať v rozdielnej metodike odberov vzhľadom na cieľové skupiny skúmanej fauny, keďže Deván sa zameral predovšetkým na drift bezstavovcov a odchytával iba na jednom odberovom mieste v strednej časti jaskyne. Je však pravdepodobnejšie, že v období po roku 1982 mohli nastať niektoré zmeny podmienok prostredia, ktoré následne

umožnili týmto živočíchom trvalejšie osídliť dno jaskynných vôd. Napríklad Deván (1985) uvádza, že v jaskynnom toku sa nachádzalo veľmi málo detritu a hrubšieho rastlinného materiálu (významný potravový zdroj pre subteránnu faunu). Počas nášho výskumu bol naopak výskyt organickej hmoty v riečisku pomerne bohatý. Zo zástupcov vodného hmyzu sme v podzemnom riečisku zistili larvy pošvatiek (Plecoptera), podeniek (Ephemeroptera) a pakomárov (Diptera - čeľ. Chironomidae). V jaskyni sa vyskytujú skôr náhodne, silnejší prúd vody ich z povrchových tokov strháva do subteránneho prostredia (tzv. drift vodných bezstavovcov), preto ich možno zaradiť medzi stygoxény (Deván, 1985).

V minulosti sa viackrát zistil výskyt rýb v jaskyni. Brodňanský (1958), Deván (1985) a Gulička (1986) pozorovali vo vyvieračke aj priamo v jaskynnom riečisku pstruha potočného (*Salmo trutta* m. *fario*), ktorého jedince sem aktívne prenikali z povrchového toku. Počas nášho výskumu sme výskyt rýb v podzemnom riečisku nezaznamenali. V súčasnosti k ich prenikaniu do jaskyne už pravdepodobne nedochádza pre umelé odstavenie hlavného ponoru Studeného potoka a prehradenie toku hrádzou v celom profile Števkovského potoka v blízkosti vyvieračky, čo pre ryby, podobne ako pre väčšinu vodných bezstavovcov, predstavuje neprekonateľnú bariéru.

Brestovská jaskyňa patrí medzi podzemné úkryty s druhovo najpestrejšou skladbou netopierov na Orave (Bobáková et al., 2002). Doteraz sa tu zistilo 9 druhov netopierov: podkovár veľký (*Rhinolophus ferrumequinum*), podkovár malý (*R. hipposideros*), netopier veľký (*Myotis myotis*), netopier riasnatý (*M. nattereri*), netopier Brandtov (*M. brandtii*), netopier fúzatý (*M. mystacinus*), večernica severská (*Eptesicus nilssonii*), večernica pozdná (*E. serotinus*) a uchaňa čierna (*Barbastella barbastellus*) (Gaisler a Klíma, 1965; Hanák, 1971; Gaisler a Hanák, 1972, 1973; Bobáková et al., 2002). Najvyšší známy počet netopierov v jaskyni je 35 jedincov z februára 2001 (Bobáková et al., 2002). V zimných sezónach 2005/2006 a 2006/2007 sme zaznamenali iba 2 druhy s maximálnym počtom 15 jedincov.

Košel (2000) zaradil krasové územie Západných Tatier do zoogeografického nadregiónu centrálnokarpatského (Eucarpaticum), podrobnejšie do vysokotatranského krasového regiónu, ktorý charakterizuje ako chudobný na kavernikolnú faunu. Analýza spoločenstiev fauny Brestovskej jaskyne je v súlade s touto charakteristikou územia, rovnako ako viaceré údaje z posledných rokov, napr. z Belianskej a Alabastrovej jaskyne a Ľadovej pivnice v Belianskych Tatrách (Kováč, Mock et al., 2002; Fenďa a Košel, 2004, 2005). Vysokotatranský krasový región považuje Košel (2000) z hľadiska endemickej vodnej bioty za centrum výskytu rôznonožca *Synurella ambulans* forma *tenebrarum*. Tento druh sa v Brestovskej jaskyni zatiaľ nepotvrdil. Doterajšie poznatky o distribúcii jaskynnej fauny na území Západných Karpát naznačujú, že nízka diverzita fauny krasových oblastí Tatier súvisí s paleoklímou počas starších štvrtohôr, ale najmä s celkovou paleogenézou tohto územia od starších treťohôr.

ZÁVER

Významnou súčasťou systému Brestovskej jaskyne je podzemný tok, ktorý umožňuje pasívny transport mnohých vodných bezstavovcov - trogloxénov z povrchových habitatov do podzemia, a zvyšuje tak diverzitu fauny jaskyne. Ak však vynecháme toto spektrum pre jaskyňu nepôvodných vodných bezstavovcov, predstavujúcich tzv. drift, potom je diverzita spoločenstiev fauny Brestovskej jaskyne značne nízka. Príčinou sú oligotrofné pomery jaskyne (nízka ponuka potravových zdrojov), jaskynná mikroklíma (nízka teplota vzduchu), ale zrejme aj historický vývoj územia v dávnejších geologických dobách. Z hľadiska biogeografie je významný nález druhu *Mesoniscus graniger* (Isopoda), ktorý potvrdzuje jeho výskyt na tejto lokalite, patriacej medzi najsevernejšie v Európe.

Stygofauna Brestovskej jaskyne je tvorená typickými zástupcami makrofauny podzemných tokov (*Niphargus tatrensis*), intersticiálnej a bentickej mikrofauny (*Bathynella na-*

tans, *Diacyclops languidoides*, Harpacticoida, Ostracoda), ako aj stygofilnými zložkami zoobentosu povrchových vôd (*Crenobia alpina*, *Gammarus fossarum*, Oligochaeta) a driftu tvoreného prevažne stygoxénnymi druhmi (Ephemeroptera, Plecoptera, Chironomidae). Brestovská jaskyňa je vhodnou lokalitou na sledovanie ekologických foriem niektorých povrchových druhov vodnej fauny (napr. z rodu *Gammarus, Crenobia, Rhynchelmis, Trichodrilus*), ktoré aktívne alebo pasívne prenikajú z povrchových tokov do podzemného toku, kde vytvárajú trvalejšie jaskynné mikropopulácie.

Z chiropterologického hľadiska predstavuje táto lokalita jeden z druhovo najpestrejších podzemných úkrytov netopierov (Chiroptera) na Orave. Pravidelne tu však zimuje iba netopier obyčajný (*Myotis myotis*), využívajúci suché chodby v horných častiach jaskyne.

Zistené údaje o diverzite a štruktúre spoločenstiev fauny Brestovskej jaskyne naznačujú celkový charakter vysokotatranského krasového regiónu. Fauna tohto regiónu je značne ochudobnená v porovnaní s krasom južnejšie lokalizovaných pohorí Západných Karpát a vyznačuje sa absenciou obligátne jaskynných foriem suchozemskej fauny.

Poďakovanie: Za sprievod v teréne a technickú pomoc patrí naša vďaka RNDr. J. Zelinkovi (Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš) a jaskyniarom z oblastnej skupiny SSS Orava (V. Mikula, M. Demian, V. Michalec). Za determináciu ploskulíc a máloštetinavcov ďakujeme RNDr. Vladimírovi Košelovi, CSc. (Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava), dážďoviek RNDr. Václavovi Pižlovi, CSc. (Biologické centrum AV ČR - Ústav půdní biologie, České Budějovice), chrobákov Mgr. Tomášovi Jászayovi (Šarišské múzeum, Bardejov) a za revíziu nálezu hryzca vodného RNDr. Michalovi Stankovi, CSc. (Ústav zoológie SAV, Košice).

LITERATÚRA

Bella, P. - Hlaváčová, I. - Holúbek, P. 2007. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky. Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš, 364 s.

Bobáková, L. - Hapl, E. - Brinzík, M. - Valachovič, P. 2002. Zimoviská netopierov Západných Tatier. Vespertilio, 6, 343-344.

Bretfeld, G. 1999. Symphypleona. In Dunger, W. Ed. Synopses on Palaearctic Collembola. Vol. 2., Abh. Ber. Naturkundemus. Gőrlitz, 71, 1, 1-318.

Brodňanský, J. 1958. Brestovská jaskyňa. Slovenský kras, 1, 114-115.

Brodňanský, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 2, 128-130.

Brtek, J. 2001. Príspevok k poznaniu amphipod Slovenska (I. - Gammaroidea, Crangonyctoidea, Corophioidea). Acta Rer. Natur. Mus. Nat. Slov., 47, 65-89.

Deván, P. 1982. Pozorovanie driftu evertebrát v toku - nádejná pomôcka pre výskum podzemných priestorov. Spravodaj SSS, 13, 3, 37-38.

Deván, P. 1985. Príspevok k poznaniu driftu bezstavovcov v Brestovskej jaskyni (Roháče). Slovenský kras, 23, 287-299.

Droppa, A. 1972. Kras skupiny Sivého vrchu v Západných Tatrách. Československý kras, 23, 77-98.

Dumnicka, E. - Skalski, A. 1999. Fauna podziemna Tatr. In Grodzicki, J. Ed. Jaskinie Tatrzańskiego Parku Narodowego, 7, 13-30.

Fenďa, P. - Košel, V. 2004. Mites (Acarina: Mesostigmata) inhabiting caves of the Belianske Tatry Mts. (Northern Slovakia). Biologia, Bratislava, 59, suppl. 15, 35-40.

Fenďa, P. - Košel, V. 2005. Roztoče (Acarina, Mesostigmata) centrálnych Západných Karpát I. Belianske Tatry, jaskynná fauna. Entomofauna Carpathica, 17, 40-47.

Gaisler, J. - Hanák, V. 1972. Netopýři podzemních prostorů v Československu. Sborn. Západočesk. Muz., Plzeň, Přír., 7, 1-46.

Gaisler, J. - Hanák, V. 1973. Aperçu de chauves-souris des grottes slovaques. Slovenský kras, 11, 73-84.
Gaisler, J. - Klíma, M. 1965. Letní nálezy některých méně známých netopýrů na Moravě a Slovensku v období 1961-1964. Lynx, 5, 19-29.
Gulička, J. 1975. Fauna slovenských jaskýň. Slovenský kras, 13, 37-85.
Gulička, J. 1986. O výskyte rýb v jaskynných a podzemných vodách so zreteľom na Slovensko. Slovenský kras, 24, 77-92.
Hanák, V. 1971. *Myotis brandtii* (Eversmann, 1845) (Vespetilionidae, Chiroptera) in der Tschechoslowakei. Věst. Čs. Společ. Zool., 35, 3, 175-185.
Hochmuth, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 22, 151-156.
Hrabě, S. 1939. Vodní Oligochaeta z Vysokých Tater. Sborn. Čs. spol. zool., 6/7, 209-236.
Hrabě, S. 1961. Dva nové druhy rodu Rhynchelmis ze Slovenska. Spisy Přír. Fak. Univ., Brno, 421, 129-146.
Chodorowska, W. - Chodorowski, A. 1960. Ugrupowania fauny wodnej w jaskiniach tatrzańskich (Biospeleologica Polonica V). Speleologia, 2, 1, 57-62.
Chovan, A. 1969. Správa z jaskyniarskeho týždňa v Brestovej. Slovenský kras, 7, 149-154.
Košel, V. 1977. Faunistický prieskum v jaskyni Javorinka (Vysoké Tatry). Spravodaj SSS, 4, 20-22.
Košel, V. 1996. Podzemné biotopy. In Ružičková, H. - Halada, Ľ. - Jedlička, L. - Kalivodová, E. Eds. Biotopy Slovenska - príručka k mapovaniu a katalóg biotopov. Ústav krajinnej ekológie SAV, Bratislava, 133-135.
Košel, V. 2000. Regionalizácia jaskynnej a krasovej fauny Západných Karpát. In Mock, A. - Kováč, Ľ. - Fulín, M. Eds. Zbor. konf. Fauna jaskýň (Cave Fauna), Východoslovenské múzeum v Košiciach, Košice, 67-84.
Kováč, Ľ. - Hudec, I. - Ľuptáčik, P. - Mock, A. - Košel, V. - Fenďa, P. 2002. Spoločenstvá kavernikolných článkonožcov (Arthropoda) Demänovských jaskýň. In Bella, P. Ed. Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, 14.-16. novembra 2001, Stará Lesná, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 155-164.
Kováč, Ľ. - Mock, A. - Ľuptáčik, P. - Hudec, I. - Košel, V. - Fenďa, P. 2002. Článkonožce (Arthropoda) Belianskej jaskyne. Aragonit, 7, 27-29.
Kováč, Ľ. - Mock, A. - Ľuptáčik, P. - Višňovská, Z. - Fenďa, P. 2006. Bezstavovce (Evertebrata) Dobšinskej ľadovej jaskyne (Slovenský raj). In Bella, P. Ed. Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov 5. vedeckej konferencie, 26.-29. 9. 2005, Demänovská Dolina, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 179-186.
Kováč, Ľ. - Mock, A. - Hudec, I. - Košel, V. - Ľuptáčik, P. - Fenďa, P. (in press): Slovakia. In Juberthie, C. - Decu, V. Eds. Encyclopaedia Biospeologica, Vol. I (new edition). Société Internationale de Biospéologie, Moulis - Bucarest.
Mlejnek, R. - Ducháč, V. 2001. *Mesoniscus graniger* (Crustacea: Isopoda: Oniscoidea) v Západních Karpatech. Natura Carpatica, 42, 75-88.
Mlejnek, R. - Ducháč, V. 2003. Troglobiontní a endogenní výskyt druhu *Mesoniscus graniger* (Crustacea: Isopoda: Oniscoidea) na území Západních Karpat. Acta Mus. Reginaehradecensis, serie A, 29, 71-79.
Piksa, K. - Farkas, S. (2007): First record of the cave isopod *Mesoniscus graniger* (Crustacea: Isopoda: Oniscidea) in Poland. Fragmenta Faunistica, 50, 87-90.
Pižl, V. 2002. Žížaly České republiky. Sborník Přírodovědného klubu v Uherském Hradišti, suppl. 9, 1-154.
Šporka, F. 1982. Máloštetinavce (Oligochaeta) rieky Belej. Zborník prác o Tatranskom národnom parku, 23, 181-185.
Štěrba, O. 1956. Vzácní a noví korýši z našich krasových vod. Biologia, Bratislava, 11, 7, 385-403.
Štollmann, A. 1968. Poznámky k výskytu netopierov (Chiroptera) na severozápadnom a strednom Slovensku. Slovenský kras, 6, 37-40

ANIMAL COMMUNITIES OF THE BRESTOVSKÁ CAVE (ZÁPADNÉ TATRY MTS.)

Summary

Diversity of terrestrial invertebrate fauna was rather low, 34 forms were registered in total. Collembola and Diptera were the most frequent in the cave. Majority of invertebrates were concentrated in the entrance spaces associated with the presence of fallen organic material (wood debris, forest litter). In the cave 13 Collembola species occurred of which 2 eutroglophilous species, *Protaphorura janosik* and *Arrhopalites pygmaeus,* were dominant and frequent. Moreover, the cave was inhabited by rather dense populations of *Protaphorura armata* and *Ceratophysella granulata,* the latter species being restricted to the entrance parts of the cave. Occurrence of the eutroglophilous *Mesoniscus graniger* was confirmed in the Brestovská Cave thus representing one of the northern-most sites of its distribution range in Europe. Allochthonous underground stream was populated by rather diverse communities of the benthic fauna that were mostly drifted here from the above-ground aquatic habitats. In total 18 invertebrate taxa have been recorded in the underground stream and interstitial (hyporheic) waters up to now. Harpacticoid copepods, ostracods, oligochaete worms and amphipods dominated in the cave waters. Three taxa well-adapted to underground waters were detected: stygobitic amhipod *Niphargus tatrensis*, copepod *Diacyclops languidoides* and syncarid *Bathynella natans.* The cave is inhabited by albinotic populations of stygophilous turbellarian *Crenobia alpina* and partly depigmented individuals of amphipod *Gammarus fossarum*. Only two hibernating bat species (Chiroptera) were observed in the cave during winter seasons 2005/2006 and 2006/2007: *Myotis myotis* (maximum of 13 individuals) and *Myotis mystacinus/brandtii* (max. 2 ind.). The overall low diversity of cave invertebrates and absence of obligate cave forms in terrestrial fauna is explained by mostly oligotrophic conditions, rather low temperature of the cave air (+5.6 to +6.5 °C) and paleogenesis of the karstic area belonging to the Západné Tatry Mts., one of the northern-most regions of the Western Carpathians.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	111 - 124	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

Z HISTÓRIE BRESTOVSKEJ JASKYNE

MARCEL LALKOVIČ

M. R. Štefánika 4/47, 043 01 Ružomberok; mlalkovic@zoznam.sk

M. Lalkovič: From the history of Brestovská Cave

Abstract: The first references on the Brestovská Cave (Stefkówka, Zuberecká jaskyňa) are connected with the 19th century. Its existence was registered by the section of KČST in Dolný Kubín after 1918, however the beginnings of a systematic interest fall into the after-war period. After cavers from Trstená, it was J. Brodňanský from Dolný Kubín who began to be interested in the cave in 1949. A cave group formed here, headed by him, surveyed and documented cave spaces. Another period of surveys is connected with diving through the siphon and discovery of new spaces in 1979.

Key words: Orava, Brestovská Cave, Tatra explorers, Club of Czechoslovak Tourists (KČST), volunteer cavers, cave survey, history of speleology

ÚVOD

Aj dnes azda najznámejšia jaskyňa na Orave má svoju históriu, tá však až dosiaľ nebola veľmi prebádaná. Takýto poznatok evokujú niektoré okolnosti. Na prvom mieste je to otázka, do akej miery bola jej existencia známa už pred rokom 1918 a kto všetko sa usiloval o jej prípadné bližšie poznanie. Treba tiež bližšie objasniť, ako sa formoval záujem o ňu po roku 1918 a najmä, v akých dimenziách sa zásluhou oravských jaskyniarov rozvíjal v druhej polovici 20. storočia. Prípadne či sa do tohto procesu zapojili aj ďalší a výsledkami svojej práce prispeli k poznaniu jej komplikovaného podzemia.

PRVÉ ZMIENKY

Pravdepodobne prvou osobou, ktorá sa začala zaujímať o jaskyne v širšom okolí Osobitej, je Tytus Chałubiński (1820 - 1889), poľský lekár, botanik a jeden z čelných tatranských bádateľov. V druhej polovici 19. storočia, čiže niekedy po roku 1857, navštevoval doliny Kremenné, Suchá, Bobrovecká a iné partie Osobitej. Často sa pohyboval aj po Zubereckej doline, takže z jeho pera pochádzajú prvé zmienky o bádaní v tunajších jaskyniach. Jeho zásluhou sa v roku 1886 objavila v literatúre zmienka o jaskyni pri tzv. prameňoch Studenej vody poniže ústia Zubereckej doliny; pravdepodobne ide o prvú zmienku, ktorá sa vzťahuje na dnešnú Brestovskú vyvieračku, t. j. cca 60 m dlhú vývervovú jaskyňu. Z informácie Tadeusza Zwolińského (1893 - 1955) z roku 1923 vyplýva, že T. Chałubiński sa zmieňoval aj o jaskyni Stefkówka (Brestovská jaskyňa), ktorú v tých časoch mal tiež navštíviť. Obmedzil sa však len na prieskum jej vstupnej časti, t. j. na obhliadku vodopádu vo vstupnej komore.

Obr. 1. T. Chałubiński (1820 - 1889)
Fig. 1. T. Chałubiński (1820 - 1889)

V prvej polovici 80. rokov 19. storočia v okolí Osobitej bádal aj Jan Gwalbert Pawlikowski (1860 - 1939), poľský ekonóm, literárny historik a publicista. Vo svojich mladých rokoch patril k pionierom tatranskej speleológie. Najmä v rokoch 1879 - 1885 realizoval podrobný výskum mnohých tatranských a niektorých oravských jaskýň. V blízkosti Zuberca ho pravdepodobne najviac zaujala jaskyňa, ktorú nazval Stefkówka (Brestovská jaskyňa). Opísal ju v práci *Podziemne Kościeliska* z roku 1887. Ide azda o prvý známy opis priestorov Brestovskej jaskyne. Podľa neho sa v jej vstupnej časti nachádza šumiaci vodopád, odkiaľ sa po prekonaní strmého úseku dá dostať do väčšej jaskyne nad rozpadlinou, kde hrmí voda. Odtiaľ sa vchádzalo do dlhej, širokej a vysokej chodby, ktorej koniec nebolo možné vidieť pri lúčoch svetla. Chodbou tiekol široký potok s veľmi studenou vodou. Teplota vody spôsobila, že sa z týchto častí musel vrátiť bez toho, aby zistil, ako jaskyňa pokračuje ďalej.

Obr. 2. J. G. Pawlikowski (1860 - 1939)
Fig. 2. J. G. Pawlikowski (1860 - 1939)

J. G. Pawlikowski sa zamýšľal aj nad polohou jaskyne. Uvedomoval si, že sa nachádza v miestach, ktoré nepredstavovali oblasť vtedajšieho turistického záujmu, o čom svedčí jeho konštatovanie: *Škoda, že jaskyňa leží na mieste, ktoré nenavštevujú turisti. Inak by sa tu bolo treba zamýšľať nad akousi plťou alebo lavičkou z dosák.*

PO ROKU 1918

Brestovská jaskyňa sa však ani po roku 1918 ešte nestala objektom širšieho záujmu. V podmienkach novoformujúceho sa štátu nebolo v týchto končinách nikoho, kto by mal dôvod zaujímať sa o ňu bližšie. Do určitej miery to vyplývalo aj z objavu Demänovskej jaskyne slobody v roku 1921, ktorý záujem o jaskyne nasmeroval do iných oblastí.

Možno že práve pod jeho vplyvom niekedy v roku 1922 existenciu prípadnej jaskyne v okolí Brestovej zaregistroval odbor Klubu československých turistov, ktorý sa koncom marca 1920 vytvoril v Dolnom Kubíne. Svedčí o tom rozsahom neveľká zmienka v správe jeho tajomníka Jana Korfoňa počas valnej hromady odboru z 8. decembra 1922. V súvislosti s úlohami, na ktoré by sa mal odbor sústrediť v roku 1923, totiž uviedol, že by bolo treba preskúmať aj *dutiny podzemního potoka v Roháčích.*[1] Jej účastníci preto rozhodli, že *dutiny podzemního potoka v Roháčích pokusí se prozkoumat na jaře 1923 kpt. Bárta s technickou rotou.*[2]

Nebol to však kpt. J. Bárta z horského pluku, ale kpt. Kopečný, ktorý sa postaral o preskúmanie neznámych dutín. Práve vďaka nemu mohol odbor už na svojej výborovej schôdzi 11. marca 1923 konštatovať, že *v Roháčích objevil kapitán Kopečný jeskyně. Tyto dny podniknuta bude výzkumná výprava pod vedením učitele Krále, objevitele a správce demänovských jeskyní.*[3]

Z takejto formulácie vyplýva, že pravdepodobne koncom roku 1922 alebo až niekedy začiatkom roku 1923 sa kpt. Kopečný z dolnokubínskej vojenskej posádky s bližšie nedefinovanou skupinou vojakov podujal na prieskum spomenutých dutín, výsledok ktorého oznámil odboru KČST. O opodstatnenosti našej úvahy svedčí niekoľko okolností. Výborová schôdza odboru v marci 1923 bola iba treťou od začiatku roka a na prvých dvoch schôdzach sa o tejto záležitosti nehovorilo vôbec. Informácia o objave jaskyne v Zubereckej doline sa zásluhou tajomníka odboru J. Korfoňa objavila už v prvom čísle Krás Slovenska z roku 1923.

[1] Zápisnice o schůzích výborových a valných hromadách KČST odboru v Dolním Kubíně od jeho založení 23. 3. 1920 do valné hromady za rok 1932 konané 19. 3. 1933, s. 35
[2] Tamže, s. 38
[3] Tamže, s. 41

Podľa nej mal kapitán Kopečný oznámiť odboru KČST, že sa mu v bližšie neurčený čas *4 km východne od Zuberca neďaleko horárne na Brestovej podarilo vniknúť do začiatku podzemných jaskýň kvapľových*. Ako ďalej J. Korfoň uviedol, vnikol tu do veľkej jaskyne, ktorej klenbu nedosiahlo ani svetlo ručných acetylénových lámp. Jej steny mali byť ozdobené kvapľami, pričom stalaktity vraj dosahovali dĺžky 2 a viac metrov. V jaskyni sa nachádzalo aj jazierko, ktoré po premeraní malo mať hĺbku 15 m. Do menšej jaskyne, ktorej steny vraj vypĺňali kvaple mliečnej farby, sa dalo dostať iba po bruchu a vstup do jaskyne sťažovalo množstvo naplaveného dreva a raždia.

Aj publikovanie objavu v prvom čísle Krás Slovenska z roku 1923 naznačuje, že sa spomenutý prieskum musel uskutočniť najneskôr začiatkom roku 1923. V prospech tohto názoru hovorí aj ďalšia časť Korfoňovej informácie, podľa ktorej už v marci 1923 mal jaskyňu preskúmať konzervátor A. Král. Nie je bližšie známe, kedy sa A. Král podujal na prieskum jaskyne. Jeho tunajšiu prítomnosť v bližšie neurčenom čase však potvrdzuje zmienka v zápisnici z ďalšej valnej hromady odboru KČST, ktorá sa uskutočnila 9. marca 1924. Tajomník odboru tu totiž vo svojej správe konštatoval, že *jeskyně pri horárne v Brestovej prozkoumány zvláštní výpravou za vedení konservátora Krále. Jsou těžko přístupné a ne právě nádherné.*[4]

Obr. 3. A. Král (1877 - 1972)
Fig. 3. A. Král (1877 - 1972)

V tejto súvislosti sa ešte treba zmieniť o niektorých iných okolnostiach. Podľa toho, čo sa zásluhou J. Korfoňa dostalo na stránky Krás Slovenska, odbor KČST pri prieskume jaskyne počítal s pomocou technického oddelenia 1. a 2. horského práporu v Dolnom Kubíne. Veliteľ tunajšej posádky síce podporu prisľúbil, ale technickú pomoc neposkytol. V tom čase sa totiž vojenské jednotky nesmeli bez súhlasu ministerstva národnej obrany používať na podobné účely. Nemožno preto vylúčiť, že sa celá záležitosť udiala len pod egidou A. Krála, ktorému asistovali členovia odboru a niekoľko vojakov. Z Korfoňovej informácie však vyplýva, že sa do celej záležitosti zaangažoval aj Štátny referát na ochranu pamiatok v Bratislave. Práve ten mal poveriť konzervátora A. Krála preskúmaním priestorov jaskyne. O Královej účasti svedčí zmienka v spomenutej zápisnici z valnej hromady odboru KČST, ale inak ďalšie podrobnosti o charaktere jeho výpravy a celkovom výsledku akcie nie sú bližšie známe.

Viac svetla do celej záležitosti by azda mohla vniesť interpretácia J. Brodňanského, ale ani v jeho prípade nie je známe, odkiaľ čerpal potrebné informácie, keď bez udania prameňov so značným časovým odstupom opisoval tieto udalosti.[5] Podľa nej si A. Král prehliadol jaskyňu s kpt. Kopečným a dal patričné inštrukcie týkajúce sa jej ďalšieho prieskumu. Pravdepodobne aj ministerstvo národnej obrany malo vyhovieť žiadosti odboru KČST v Dolnom Kubíne, keďže v lete roku 1924 kpt. Kopečný s vojakmi 1. a 2. horského práporu z Dolného Kubína dva týždne pracoval na vyčistení a sprístupňovaní jaskyne. Vo vzdialenosti 250 m od vchodu do jaskyne mal ich postup zastaviť nepreniknuteľný, hlboký vodný sifón. V nasledujúcom roku 1925 sa kpt. Kopečný s vojakmi údajne pokúšal preniknúť do jaskynného systému cez ponor Studeného potoka. Pokus nebol úspešný, lebo hlavné koryto ponoru bolo úplne zanesené riečnymi sedimentmi. Po tomto neúspechu sa tu definitívne zastavili všetky práce a o ďalší prieskum jaskyne už nik neprejavil záujem.

[4] Zápisnice o schůzích výborových a valných hromadách KČST odboru v Dolním Kubíně od jeho založení 23. 3. 1920 do valné hromady za rok 1932 konané 19. 3. 1933, s. 48

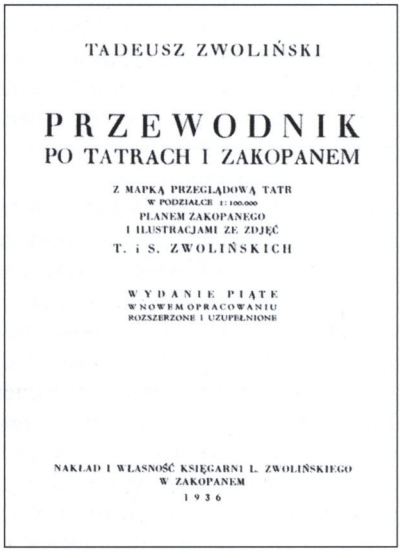
[5] Brodňanský, J.: Kronika Oblastnej skupiny SSS č. 11 v Dolnom Kubíne, Prvý diel, s. 2

J. Brodňanský však nezabudol zdôrazniť, že *kpt. Kopečný o svojich skúmaniach na tejto lokalite nezanechal žiadnu správu ani dokumentáciu.* Za týchto okolností vzniká oprávnene otázka, či naozaj môžeme vtedajšiu činnosť okolo Brestovskej jaskyne chápať až tak jednoznačne. Zaráža aj absencia ďalších informácií o jaskyni v zápisniciach odboru KČST. Nerokovalo sa o nej ani na valnej hromade odboru v roku 1925. Pritom traja príslušníci vojenskej posádky pôsobili v odbore ako členovia výboru a vojaci miestnej posádky sa pravidelne zúčastňovali rôznych prác, na ktoré sa v tom čase podujal tunajší odbor KČST.

V roku 1926 sa nepriamo o existencii Brestovskej jaskyne zmieňoval český geológ a paleontológ Vlastislav Zázvorka (1903 - 2002). Niekedy okolo roku 1926 navštívil krasový terén v okolí Zuberca, ktorý vytvorilo ponorné rameno Studeného potoka a v dĺžke asi 1 km sa tiahol k hájovni Brestová, aby tu študoval jeho charakter. Konštatoval, že niekoľko minút nad hájovňou sa Studený potok delí na dve ramená, z ktorých sa ľavé stráca v podzemí, preteká ním v dĺžke asi 1 km a znovu sa objavuje na povrchu. Ako uviedol, *celá táto cesta jest na povrchu vyznačena většími i menšími závrty a propadlinami.* Nedostatok vhodného osvetlenia Zázvorkovi neumožnil preskúmať podrobnejšie priestory jaskyne. V ich prípade sa preto obmedzil iba na konštatovanie, že *v jedné (propadlině) je slyšeti tok vody, ale nemohli jsme sestoupiti dosti hluboko, neboť postrádali jsme jakéhokoliv vhodného osvětlení.* Ďalej uviedol, *že po vykonání své cesty opouští potok se značnou prudkostí skalní řečiště a výtok tento pak označen jest na speciálce jako samostatný potok, přítok potoka Studeného, zvaný Stupkovský potok.*

Na existenciu Brestovskej jaskyne poukázal V. Zázvorka aj pri opise krasových území na Slovensku v roku 1929. V súvislosti s ňou totiž konštatoval, že asi 3 km východne od Zuberca, smerom k hájovni Brestová, sa nachádza celý rad závrtov a Studený potok, ktorý steká zo skupiny Roháčov, sa tu delí na dve ramená. Jedno z nich sa nad hájovňou hneď po odštiepení ponára, aby kus pod hájovňou opustilo podzemné priestory.

S existenciou Brestovskej jaskyne súvisí aj zmienka v turistickom sprievodcovi Oravy z roku 1933 od múzejníka a učiteľa Antona Kociána (1900 - 1984). Jeho autor tu o nej uviedol: *Za horou asi 0,5 km v rúbanisku vpravo výtok Studeného potoka. Ďalej „Jamy", dva jaskynné otvory. V prvom dobre pozorovať bahnitý nános, v druhom povyše jaskynná klenba so spodným a horným otvorom, na spodku potok. Potokom sa nedá ďalej ísť. Drevo, ktoré je pred horným otvorom a ďalej v hornom poschodí, pri otvore už zhnilo. Roku 1924 prešla dobre vypravená spoločnosť škpt. Kopečného a A. Krála horným poschodím zas k potoku najďalej. Doteraz sa objavili len mladšie útvary kvapľové.* O rok neskôr sa o jaskyni nepriamo zmienil aj český geograf J. Hromádka (1886 - 1968) v Zemepise Oravy, keď uviedol: *Zvláštny je Štefkovský potok, nestieka totiž z pohoria, ale vyviera s veľkým hukotom zpod vápencovej skaly na JV od Brestovej. Je to potok krasový, tu má svoje vyvieranie.*


TADEUSZ ZWOLIŃSKI

PRZEWODNIK
PO TATRACH I ZAKOPANEM

Z MAPKĄ PRZEGLĄDOWĄ TATR
W PODZIALCE 1:100.000
PLANEM ZAKOPANEGO
I ILUSTRACJAMI ZE ZDJĘĆ
T. i S. ZWOLIŃSKICH

WYDANIE PIĄTE
W NOWEM OPRACOWANIU
ROZSZERZONE I UZUPEŁNIONE

NAKŁAD I WŁASNOŚĆ KSIĘGARNI L. ZWOLIŃSKIEGO
W ZAKOPANEM
1936

Obr. 4. Titulná strana sprievodcu T. Zvolińského z roku 1936
Fig. 4. Title page of guidebook by T. Zwoliński from 1936

Do obdobia po roku 1918 patria aj dve ďalšie zmienky o Brestovskej jaskyni z pera poľských autorov. Ako v roku 1972 uviedol A. Droppa, o jaskyni sa v roku 1929 zmieňoval poľský geograf Marian Gotkiewicz, ktorý ju do literatúry uviedol

pod názvom Zuberecká jaskyňa. O niekoľko rokov neskôr, presnejšie v roku 1936, píše vo svojom sprievodcovi po Tatrách a Zakopanom o tunajšej zaujímavej vodnej jaskyni Stefkówka T. Zwoliński.

Súdobý zámer prípadného využitia Brestovskej jaskyne na účely civilnej ochrany vyplýva z hlásenia kpt. Jonáša z vojenského veliteľstva v Dolnom Kubíne, ktoré 12. mája 1936 poslal Okresnému úradu v Trstenej. V ňom na základe informácií, ktoré si 6. mája 1936 vojenské veliteľstvo vyžiadalo z četníckej stanice v Podbieli, uviedol, že jaskyňa je po menšej úprave vhodná na úkryt proti lietadlám v rozsahu asi 100 osôb, prípadne i ako miesto na uskladnenie vojenského materiálu.

ZAČIATKY SPELEOLOGICKÉHO PRIESKUMU JASKYNE

Začiatky systematického záujmu o Brestovskú jaskyňu súvisia až z povojnovým obdobím. Z informácie, ktorú už 9. septembra 1949 priniesli noviny *Cieľ*, vyplýva, že prieskumom jej priestorov sa zaoberala zatiaľ bližšie nie známa skupina dobrovoľných jaskyniarov z Trstenej pod vedením M. Duboviča. Podľa novín sa *pracovníkom Slovenskej speleologickej spoločnosti v Trstenej po dvojročnej výskumnej práci podarilo objaviť v katastri obce Zuberec v tzv. Brestovej menšiu kvapľovú jaskyňu s ponorným podzemným tokom. Dĺžka doteraz objavených a zmapovaných chodieb meria vyše 200 m. Ďalší postup zabraňujú sifóny, cez ktoré nemožno preniknúť. Slovenská speleologická spoločnosť v Lipt. Sv. Mikuláši vysiela na miesto objavu svojho odborníka, aby objav preskúmal a určil ďalší postup práce.*

V prípade citovanej informácie však treba zdôrazniť, že Slovenská speleologická spoločnosť vznikla až na 3. zjazde Jaskyniarskeho zboru KSTL 10. septembra 1949. Zmienku o spoločnosti v uvedených novinách možno azda vysvetliť tým, že asi išlo o skupinu, ktorá mala kontakt na vtedajšieho náčelníka Jaskyniarskeho zboru KSTL V. Benického, ale zároveň prekvapuje, že v správe o činnosti zboru za rok 1948 ani 1949 sa jej činnosť vôbec nespomína. Rovnako nie sú známe ani ďalšie okolnosti, ktoré by pomohli objasniť rozsah a charakter činnosti Dubovičovej skupiny v Brestovskej jaskyni. Niečo naznačuje zmienka o zmapovaní cca 200 m jaskynných chodieb, ale akú dva roky trvajúcu činnosť mal pisateľ konkrétne na mysli, nie je zatiaľ bližšie známe.

Obr. 5. J. Brodňanský (1910 - 1997)
Fig. 5. J. Brodňanský (1910 - 1997)

Do bližšieho poznávania Brestovskej jaskyne sa v tomto období zapojil aj Ján Brodňanský (1910 - 1997) z Dolného Kubína. Svedčí o tom jeho zápis v kronike oblastnej skupiny SSS v Dolnom Kubíne, podľa ktorého sa spolu s učiteľom Pavlom Čaplovičom (1917 - 1994) vybrali *ešte na sklonku leta 1949 navštíviť Roháčsku jaskyňu.* Do jaskyne vošli len tak naľahko, oblečení *v košeliach a turistických topánkach.* Hore stržou sa s ťažkosťami dostali na poschodie, kde po napolo zhnitých drevách prešli na pevnú pôdu a po blativom teréne zišli do chodby, ktorá viedla k ponornému potoku. Ďalej prešli akousi bránou gotického profilu, *čľapkajúc po vode a skáčuc po skalách,* až k pieskovým dunám a odtiaľ do priestranného, asi 30 m dlhého a 10 m vysokého a širokého dómu, na dne ktorého sa nachádzali balvany. Otvor vpravo viedol do bočných suchých chodieb. Pokračovali ešte riečiskom proti prúdu, až ich zastavila tichá a hlboká voda, ktorá sem naniesla množstvo piesku a múľu. Vrátili sa teda späť do dómu a ponáhľali sa ukončiť túto zaujímavú prechádzku jaskyňou s vedomím, že sem prídu ešte raz riadne vystrojení a s dobrým osvetlením.[6]

[6] Brodňanský, J.: Kronika Oblastnej skupiny SSS č. 11 v Dolnom Kubíne, Prvý diel, s. 3-4

Začiatkom októbra 1949 J. Brodňanský a P. Čaplovič spoločne s Františkom Čejkom (1904 - 1970), turistickým pracovníkom z Dolného Kubína, opätovne navštívili priestory Brestovskej jaskyne. Išlo o exkurziu spojenú s obhliadkou krasových javov v okolí jaskyne. Najprv si prehliadli vyvieračku Štefkovského (Števkovského) potoka. V mieste vyvierania tu podzemný tok vytvoril menšiu jaskyňu v dĺžke asi 16 m, so šírkou i výškou do 2 m, ktorej priestory asi z dvoch tretín vypĺňala voda. Ponor Studeného potoka bol úplne zanesený riečnym štrkom a voda pretekala iba škárami, odkiaľ vial silný a studený prievan. V Brestovskej jaskyni sa vplyvom mimoriadne nízkeho stavu vody dostali prvý raz aj na jej najvzdialenejšie miesto. Po 50 m vystúpili asi o 7 m vyššie, kde sa začínali chodby bez vody pokryté pieskom, a odtiaľ cez úzku chodbu s balvanmi na podlahe prenikli do priestrannej siene s riečiskom. V týchto miestach sa ich výprava skončila. Vľavo tečúci podzemný tok sa tu strácal pod nízkym previsom a vpravo pokračujúcu chodbu zaliatu vodou uzavieral nepreniknuteľný vodný sifón.[7]

Podľa informácie, ktorú začiatkom septembra 1949 priniesol Cieľ, obhliadku jaskyne mal posúdiť odborník z radov SSS. Je možné, že vtedajší tajomník spoločnosti V. Benický to už nepovažoval za potrebné potom, keď od P. Čaploviča dostal krátku správu o ich akcii v Brestovskej jaskyni; tá sa objavila aj v jaskyniarskom čísle Krás Slovenska z roku 1950. Slovenská speleologická spoločnosť v roku 1950 spracovávala pre potreby Štátneho plánovacieho a štatistického úradu v Bratislave dotazníky o jaskyniach na Slovensku. Pritom pokiaľ ide o Brestovskú jaskyňu, prekvapuje, že takýto dotazník poslala Slovakotouru, miestnemu zboru pre cestovný ruch v Trstenej, a nie P. Čaplovičovi do Dolného Kubína, ktorého spolu s J. Brodňanským predsedníctvo SSS začiatkom marca 1950 prijalo za jej riadnych členov. Dôvody tohto konania nie sú známe. Aj tento poznatok však môže poukazovať na istú vedomosť o činnosti, ktorú v súvise s Brestovskou jaskyňou v predchádzajúcom období vykonala skupina M. Duboviča.

Z pozície riadneho člena SSS sa J. Brodňanský od roku 1952 začal o Brestovskú jaskyňu zaujímať systematickejšie. V druhej polovici júla 1952 spolu s F. Čejkom jaskyňu navštívil a zistil, že vplyvom dlhšie trvajúceho daždivého počasia boli s výnimkou poschodia ďalšie časti zaliate vodou. V auguste 1952 sa na gumenom člne obaja dostali po riečisku pred vodný sifón s rozbrázdenou povalou. V tom istom mesiaci sa sem vrátili ešte raz. Po obhliadke bočných chodieb a okolia sifónu, za ktorým predpokladali ďalšie priestory, dospeli k názoru, že na jeho prekonanie treba skafander a školeného potápača. Prehliadli si aj ponor Studeného potoka, ktorého vody celkom upchali vchod do podzemia. V septembri 1953 sa pustili do jeho vyčisťovania a po uvoľnení priechodu vošli do ponorovej jaskyne, v ktorej po zdolaní prekážok postúpili do vzdialenosti asi 40 m.

Obr. 6. Vchod do Brestovskej jaskyne - stav z roku 1953. Foto: J. Brodňanský
Fig. 6. Entrance to Brestovská Cave from 1953. Photo: J. Brodňanský

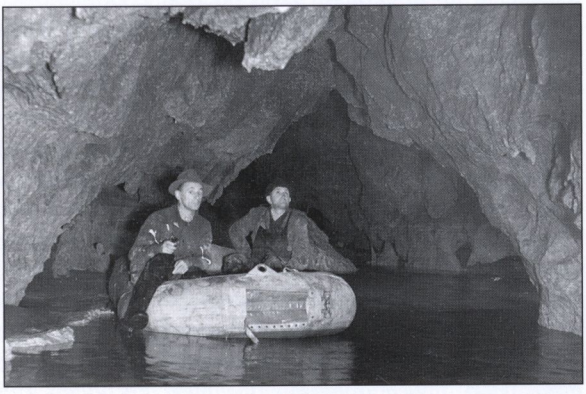
[7] Brodňanský, J.: Kronika Oblastnej skupiny SSS č. 11 v Dolnom Kubíne, Prvý diel, s. 4

V druhej polovici marca 1955 skupina poľských jaskyniarov vedená Kazimerzom Kowalskim (1925 - 2007) počas pobytu a činnosti v niektorých slovenských jaskyniach *podnikla prechod cez Smutné sedlo do Roháčskej doliny, kde pri Zuberci prešla 300 m dlhý vodný tok tzv. Štefkovskej jaskyne. Tento úspech podmienil predovšetkým neobyčajne vhodný výstroj - ľahké gumové nafukovateľné skafandre, výhodné pri veľkých vodných stavoch a na prekonanie sifónov.*[8] Podľa K. Kowalského (1957) sa v jaskyni počas jej návštevy v máji 1955 potvrdilo prezimovanie dovtedy neznámeho netopiera *Barbastella barbastellus* z územia Tatier.

V roku 1956 sa J. Brodňanský venoval najmä dokumentácii Brestovskej jaskyne. V auguste a septembri spolu s F. Čejkom pozorovali prepadávanie vôd potokov Múčnica a Volariská a sledovali ponor Studeného potoka. Z toho J. Brodňanský vyvodil záver, že ich vody sa v podzemí spájajú, pretekajú jaskyňou a vytvárajú tu veľký podzemný jaskynný systém. Vody z neho vytekajú vo forme vyvieračky a na povrchu tečú do Zuberca.

V septembri 1956 v ponore Studeného potoka čiastočne zahatali časť vôd tečúcich do podzemia a keď sa znížil stav vody v jaskyni, vo vysokých gumených čižmách si prehliadli jej priestory. Po výzve V. Benického sa pustili v septembri 1957 do zameriavania jaskyne. Po odstavení vody v ponore Studeného potoka tento mesiac stihli zamerať jej vstupné časti až po riečisko pri Gotickej bráne. V práci pokračovali až v júli 1958, kedy zamerali bočné chodby po prúde vody až k ponoru a pieskové chodby, ktoré za Gotickou bránou viedli k riečisku. Neskôr po odrazení vôd Studeného potoka pokračovali v zameriavaní a člnom sa dostali až na miesto, kde sa strop chodby znížil na úroveň vodnej hladiny. V septembri 1958 zamerali niektoré suché bočné chodby a koncom mesiaca domerali časti na konci jaskyne pri hlbokom vodnom sifóne. Z merania vyplynulo, že dĺžka všetkých chodieb jaskyne s výnimkou troch menších priepastí a susediacich neveľkých chodieb je 445 m.

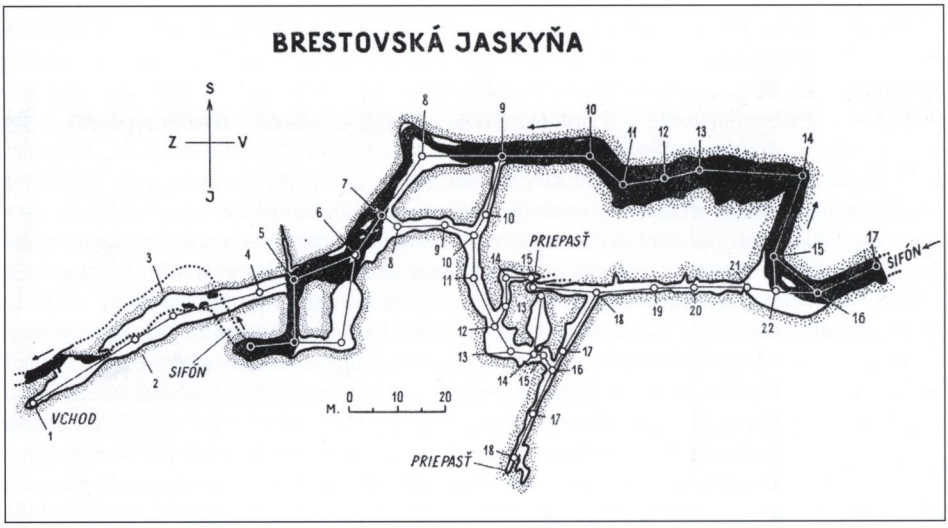
Po poklese vodnej hladiny sa J. Brodňanský pokúsil podplávať balvan vľavo po prúde vodného toku smerujúceho k vyvieračke Štefkovského potoka. Poležiačky na nafukovacom člne prenikol do neznámej časti jaskyne, ktorú odhadol na cca 20 - 30 m. V novembri 1958 napokon dokončil plán jaskyne a podľa miesta, v ktorom sa nachádza, ju nazval Brestovskou jaskyňou.



Obr. 7. Plavba v jaskyni. Foto: J. Brodňanský
Fig. 7. Boat ride in the cave. Photo: J. Brodňanský

V polovici marca 1959 J. Brodňanský a F. Čejka ešte rozširovali jednu úzku chodbu v jaskyni, ale potom, zaujatí činnosťou na iných lokalitách, sa jej v nasledujúcom období venovali len sporadicky. V júni 1960 uskutočnili farbenie vody v doline Volariská, ale zafarbenej vody, podobne ako v polovici augusta 1959, sa pri vchode do jaskyne nedočkali. V auguste 1962 sa pokúšali vniknúť do ponoru Studeného potoka, ale zabránil im v tom vysoký stav vody. Priestory jaskyne si v polovici septembra 1962 prehliadli účastníci III. zrazu oravských turistov. V lete 1963 občania Zuberca vyčistili hlavný kanál ponoru Studeného potoka od riečnych nánosov štrku a driev a pred ponorom urobili stavidlo s drevenou mrežou. Voda tečúca do ponoru tým získala voľný priechod, ale aj tak zúžené skalné steny vo vzdialenosti 15 m zabraňovali ďalší prienik do podzemia.

[8] Bárta, J. 1955: Poľskí jaskyniari na Slovensku. Krásy Slovenska, 32, Bratislava, s. 237



Obr. 8. Plán jaskyne z roku 1958
Fig. 8. Cave plan from 1958

V tomto období si už aj J. Brodňanský začal uvedomovať, že ďalší postup v jaskyni je síce možný, ale len za použitia iných technických prostriedkov, čiže prostredníctvom potápačov. V auguste 1965 navyše odišiel F. Čejka, dlhoročný spolupracovník J. Brodňanského, do dôchodku. Jeho odchod z Dolného Kubína utlmil tunajšie jaskyniarske dianie a prejavil sa aj v poklese aktivít, ktoré sa týkali Brestovskej jaskyne. V júli 1966 noví členovia skupiny ešte pod vedením J. Brodňanského preskúmali v jaskyni 15 m vysoký komín v suchej chodbe a zostúpili do 15 m hlbokej priepasti; tým sa práce v jaskyni na istý čas skončili.

V jarných mesiacoch roku 1968 sa skupina pustila do prípravných prác, ktoré súviseli s potápačským prieskumom sifónu v jaskyni. Jej členovia zhotovili drevené rebríky, ktoré mali umožniť prístup na poschodie, a postarali sa o osadenie lanových rebríkov v exponovaných miestach jaskyne. Tiež vyčistili a upravili vchod do ponoru Studeného potoka. Potápačský prieskum sifónu zorganizovalo Múzeum slovenského krasu v Liptovskom Mikuláši za účasti členov potápačského klubu zo Žiliny pod vedením P. Derkiča v dňoch 9. - 11. mája 1968. Okrem pracovníkov múzea sa ho zúčastnili aj dobrovoľní jaskyniari z Dolného Kubína a Liptovského Mikuláša. Podľa J. Brodňanského potápači *podplávali posledný sifón až do diaľky 55 m a urobili dokumentáciu. Pre údajný úzky priestor sa ďalej nedostali. Sifón sa skláňa až do hĺbky 23 m a opäť sa dvíha už v smere juhovýchodnom.*[9] Keďže jeho prieskum si vyžadoval podstatne viac času, ako sa pôvodne predpokladalo, dokončili ho neskôr, počas Jaskyniarskeho týždňa.

Jaskyniarsky týždeň v Brestovej sa uskutočnil 20. - 27. júla 1968. V jeho programe bola aj ukážka praktického potápačského prieskumu v Brestovskej jaskyni. Jeden z dvojice potápačov P. Derkič pri druhom zanorení 21. júla podplával vodný sifón v hĺbke asi 23 m a dĺžke asi 55 m. Odtiaľ mal plávať kolmo nahor širokým a neskôr čoraz užším priechodom asi 19 m. V týchto miestach konštatoval voľný priestor nad hladinou, ale pre tesné priestory sa neodvážil pokračovať ďalej. O dva dni neskôr sa skupina jaskyniarov pokúšala preniknúť do neznámych priestorov vyčisťovaním úzkej, riečnym pieskom vyplnenej chodby, nachádzajúcej sa v pravej stene jaskyne asi 20 m od vstupu do sifónu. Ďalšia skupina pracovala v ponore

[9] Brodňanský, J.: Kronika Oblastnej skupiny SSS č. 11 v Dolnom Kubíne, Prvý diel, s. 104

Obr. 9. Účastníci prieskumu sifónu 9. - 11. mája 1968. Foto: J. Brodňanský
Fig. 9. Surveyors of the siphon in 9th - 11th May 1968. Photo: J. Brodňanský

Studeného potoka. V činnosti sa pokračovalo aj 25. júla 1968, kedy sa uskutočnilo aj farbenie Studeného potoka, aby sa zistila vzájomná kontinuita s Brestovskou jaskyňou.

V rámci výskumných prác Geografického ústavu SAV v júli 1969 uskutočnil Anton Droppa výskum krasu Studeného (Roháčskeho) potoka, výsledky ktorého publikoval v roku 1972. Brestovskú jaskyňu v tejto súvislosti charakterizoval ako typ riečnej jaskyne, predisponovaný tektonickými puklinami vápencov, v počiatočnom štádiu vývoja s nedostatočne vyvinutými kvapľovými útvarmi (Droppa, 1972). Opísal ďalej jej priestory a uviedol, že jaskyňa v celkovej dĺžke 450 m pozostáva z dvoch častí - zo spodnej riečnej chodby, pretekanej podzemným tokom, a z vyšších suchých chodieb puklinového charakteru. Podľa neho vchod do jaskyne bol tamojšiemu obyvateľstvu známy odnepamäti, ale zmienky o nej sa po prvý raz mali objaviť v literatúre až v roku 1923, pričom až J. Brodňanský ju v roku 1959 uviedol do literatúry pod názvom Brestovská jaskyňa.

V letnom období roku 1969 pracovníci Múzea slovenského krasu Alfonz Chovan, Ladislav Krump a Stanislav Šrol (1925 - 1992) vykonali orientačný prieskum Brestovskej jaskyne a jej okolia. Pri tejto príležitosti tu L. Krump meračsky zisťoval vzájomnú polohu jaskyne, ponoru Studeného potoka a vyvieračky Štefkovského potoka a tieto skutočnosti následne zobrazil v mierke 1:1000 a 1:5000.

ZÁUJEM O JASKYŇU V ČASOCH CENTRALIZÁCIE SLOVENSKÉHO JASKYNIARSTVA

Po obnovení činnosti Slovenskej speleologickej spoločnosti v roku 1969 záujem o prieskum Brestovskej jaskyne nadobudol časom výrazne iné kontúry. V rokoch 1971 a 1972 sa členovia oblastnej skupiny SSS v Dolnom Kubíne ešte nejaký čas usilovali preniknúť do jaskyne ponorom Studeného potoka. Napriek tomu, že sa v ňom dostali až do vzdialenosti 70 m, ďalší postup im znemožnil zosuv pôdy a kamenia. Odolával im aj ponor Volariská, kde napokon pre úzke priestory zastavili prácu v roku 1972.

Vo februári 1974 oblastná skupina realizovala v Brestovskej jaskyni zabezpečovacie práce pre pripravovaný potápačský prieskum. Zásluhou speleopotápačskej skupiny SSS Aquaspael vedenej Tiborom Sasvárim sa uskutočnil začiatkom marca 1974 v spolupráci s potápačmi z klubu Delfín z Brna. Pri tejto príležitosti potápači Peter Ošust a Švajčiar A. Schärer 2. marca 1974 mali podplávať jaskynný sifón údajne až do vzdialenosti 170 m a urobiť príslušnú dokumentáciu. Pre technickú poruchu na výstroji sa však museli vrátiť späť. Podľa publikovanej mapky skutočne zaplávali až takmer na koniec výstupnej vetvy, dosiahli aj vzduchovú bublinu pred jej koncom, ale nevynorili sa v suchých častiach. Keďže prítomní brnianski potápači o pokračovanie, či skôr dokončenie potápačského prieskumu neprejavili záujem, padlo pri tejto príležitosti rozhodnutie, že sa sem v letnom období 1974 členovia skupiny Aquaspael vrátia ešte raz. Pre ich iné zaujatie sa však plánovaná akcia napokon vôbec neuskutočnila.

Koncom júla 1974 sa členovia oblastnej skupiny pustili do sondovacích prác v závrte nad ponorom v doline Volariská pri Brestovej. Pre nepredvídané prekážky tu však prácu museli zastaviť a na základe pokynu J. Brodňanského sa rozhodli sondovať v závrte v doline Volariská. Pri zostupe dolu svahom Ján Čajka zbadal v blízkosti ponoru malý otvor. Po odkrytí, prekopaní a rozšírení vstupnej chodby sa jaskyniari dostali do novej, 55 m dlhej jaskyne s peknou sintrovou výzdobou. Začiatkom augusta 1974 zamerali jej priestory, a keďže má spojitosť s ponorom, stala sa tak súčasťou Brestovskej jaskyne.

Prieskumná činnosť oblastnej skupiny SSS v Dolnom Kubíne v Brestovskej jaskyni pokračovala aj v nasledujúcom období. Jej členovia v roku 1975 preskúmali oblasť Komína v Suchej chodbe. Koncom júna 1976 uskutočnili prieskum dolnej časti vodného toku pretekajúceho Brestovskou jaskyňou; počas neho 26. júna 1976 Vladislav Mikula prekonal členom nízke priestory a prenikol do ďalších neznámych častí v celkovej dĺžke asi 120 m

Nová, veľmi významná etapa prieskumu Brestovskej jaskyne sa začala koncom apríla 1979, keď bol definitívne prekonaný vyše 120 m dlhý sifón. Počas akcie potápači J. Kucharovič a V. Sláčik z oblastnej skupiny SSS v Trenčíne postupne prekonali štyri sifóny a objavili nové priestory, ktoré sú svojím rozsahom porovnateľné s dávnejšie známymi časťami jaskyne. Keďže ich objavitelia v spolupráci s ostatnými účastníkmi akcie vyhotovili aj orientačný náčrt nových priestorov, vytvoril sa tak priestor na ich dokumentáciu a zameranie či úvahy o prípadnom sprístupnení jaskyne v turisticky atraktívnej oblasti.

Objav nových priestorov však ani potom neodstránil primárny problém Brestovskej jaskyne, ktorý v značnej miere limitoval akékoľvek úsilie jaskyniarov v nasledujúcom období. Poznatok, že i naďalej jediná možná cesta do nových priestorov vedie cez prvý sifón, si preto vyžiadal isté špecifické prístupy, aké tu v záujme vytvorenia ucelenej predstavy o celkovom priebehu jaskyne našli svoje uplatnenie.

Začiatkom mája 1981 v rámci overovacej akcie potápači V. Sláčik a Z. Hochmuth prenikli cez prvý sifón a po prezlečení z potápačských oblekov zamerali baníckym závesným kompasom časť nových priestorov. Ďalšie meračské práce spojené s prieskumom a dokumentáciou nových častí sa uskutočnili v polovici mája 1981. Vtedy potápači Z. Hochmuth, J. Kucharovič, P. Marek a V. Sláčik presunuli cez prvý sifón vo vodotesných kontajneroch bivakový a iný potrebný materiál a počas akcie trvajúcej 4 dni kompletne zamerali všetky nové časti, ktorých dĺžka podľa tu vytýčených polygónových ťahov presiahla 600 m.

Zo zamerania nových priestorov za sifónom vyplynula potreba ich napojenia na priestory pred sifónom, pretože len tak sa dala zabezpečiť reálna predstava o konfigurácii a priebehu jaskynných priestorov v celom rozsahu jaskyne. Vyžadovalo si to však zameranie prvého sifónu, čo s ohľadom na charakter prostredia predstavovalo osobitný problém, a preto sa tu v záujme jeho efektívneho zvládnutia uplatnilo originálne rieše-

nie. Po prípravných akciách v mesiacoch apríl a máj 1982 členovia oblastných skupín SSS v Ružomberku, Trenčíne a Dolnom Kubíne napokon počas ďalších dvoch akcií vo februári a apríli 1984 dvomi rozdielnymi metódami (modifikované meranie uhlov a klasicky) zamerali aj priestory prvého sifónu.

Úvahy okolo sprístupnenia Brestovskej jaskyne začali rezonovať koncom sedemdesiatych rokov 20. storočia. Vyplynuli zo schválenej koncepcie rozvoja slovenského jaskyniarstva v rokoch 1971 - 1985. Podľa nej Správa slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši uvažovala s turistickým sprístupnením Brestovskej jaskyne, čo znamenalo, že sa tu počítalo s nenáročnou úpravou prehliadkového chodníka a osvetlením karbidovými lampami. V týchto intenciách sa potom otázka Brestovskej jaskyne objavila v návrhu plánu hlavných úloh SSJ na roky 1981 - 1985. Tu sa počítalo s vypracovaním príslušnej projektovej dokumentácie, podľa ktorej by sa do konca roku 1985 zabezpečilo sprístupnenie jaskyne.[10] Vznikom Ústredia štátnej ochrany prírody v roku 1981 sa SSJ stala jeho súčasťou a myšlienka sprístupnenia jaskyne stratila opodstatnenie. Pôvodný zámer sa tak obmedzil iba na zameranie časti priestorov jaskyne, čo v júni 1984 zabezpečili pracovníci meračského oddelenia ÚŠOP a do konca roku 1984 vyhotovili jej základnú mapu v rozsahu predpokladaných sprístupňovacích prác. Z iniciatívy vtedajšieho Múzea slovenského krasu a ochrany prírody v tom istom čase prebiehali aj meračské práce na povrchu v okolí Brestovskej jaskyne. Zameraním okolitého terénu sa mala zistiť vzájomná súvislosť tunajších lokalít (Ponorová jaskyňa, Jaskyňa v závrte, Čajkova jaskyňa, Brestovská vyvieračka) vrátane ponorov Volariská a Múčnica s Brestovskou jaskyňou. V podmienkach vtedajšieho ÚŠOPu však neexistoval reálny priestor na komplexné posúdenie a konfrontáciu tohto merania so základnou mapou jaskyne, čím sa celá činnosť obmedzila iba na realizáciu terénnych meračských prác.

Priaznivá poloha jaskyne v turisticky značne exponovanej oblasti spôsobovala, že sa v tomto období stávala objektom záujmu rozličných nepovolaných návštevníkov. Pomerne často dochádzalo k poškodzovaniu jej uzáveru - mreží osadených vo vstupe do jaskyne a k poškodzovaniu jej zriedkavej výzdoby. Dolnokubínski jaskyniari sa preto popri inej činnosti museli v rokoch 1985 - 1998 venovať aj častým opravám či výmene poškodeného uzáveru. V roku 1997 navyše vyčistili priestory jaskyne od odpadu, ktorý tu zanechali nevítaní návštevníci. Keď sa v auguste 1998 v Zuberci uskutočnil 39. jaskyniarsky týždeň Slovenskej speleologickej spoločnosti, k exkurziám počas podujatia patrila aj návšteva Brestovskej jaskyne. Ani inštalovanie ďalšieho nového uzáveru, ktorý v jaskynnom vchode v roku 1999 opäť osadila oblastná skupina Orava z Dolného Kubína, neodstránilo problémy s nepovolanými návštevníkmi. Uvedený problém pretrvával naďalej. V roku 2004 sa okrem prác na uzávere oblastná skupina Orava sústredila aj na odstraňovanie vývratu nad vchodom do jaskyne.

Komplikovaný vstup do priestorov za prvým sifónom predstavoval v prípade Brestovskej jaskyne ďalší problém. Tým, že akúkoľvek činnosť v tejto časti jaskyne limitoval z hľadiska budúceho obdobia len na potápačov, celkom prirodzene sa hľadal spôsob, ako do priestorov za sifónom preniknúť suchou cestou. Jaskyniari z Dolného Kubína sa preto už v roku 1985 pokúšali o hĺbenie sondy na dvoch miestach, ale ich pokus nepriniesol želateľný výsledok. O rok neskôr zase v spolupráci s potápačmi z oblastnej skupiny v Trenčíne lokalizovali polohu najvhodnejšieho miesta na otvorenie druhého vchodu do jaskyne, smerujúceho do priestorov za sifónmi. Po prekonaní ťažkostí s príslušným povolením pustili sa v roku 1987 do hĺbenia ďalšej sondy. Myšlienka otvorenia druhého vchodu do priestorov za sifónmi ich zamestnávala aj v roku 1988. V sonde v doline Múčnica síce premiestnili

[10] Návrh plánu hlavných úloh Správy slovenských jaskýň na 7. RP, s. 17, Archív Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši

s týmto cieľom vyše 30 kubíkov sedimentov, ale ani potom neprenikli do jaskynného podzemia. Iba v ponorovej oblasti vôd Brestovskej jaskyne v doline Volariská zaregistrovali v tomto období neznámu 12 m hlbokú jaskyňu. Koncom mája 1989 členovia pracovnej skupiny Západ - Speleopotápačskej komisie SSS ešte preskúmali a zamerali 75 m dlhý sifón Brestovskej vyvieračky.

Z tohto aspektu ani nasledujúce roky nepriniesli nič pozitívne. Dominantnú zložku v prípade ďalšieho prieskumu jaskyne preto i naďalej predstavovali potápači. Netýka sa to len pokusu o prekonanie 5. sifónu potápačmi z oblastnej skupiny Trenčín v bližšie neurčenom čase. Súvisí s tým aj spresnenie údajov o jeho charaktere v rokoch 1997 - 1998. V tomto období sa D. Hutňan v spolupráci s členmi skupiny Speleoaquanaut z Českej speleologickej spoločnosti podujal na opätovný potápačský prieskum 5. sifónu. Počas prieskumu zistil, že dno sifónu tvorí šikmý pieskový svah a voda v ňom prúdi tesnou trhlinou, kam sa už nedá preniknúť. Do kontextu takto zameranej činnosti spadá aj vyhľadávanie vhodného miesta na prerážku za prvým sifónom v roku 1999 členmi Speleoklubu UK z Bratislavy, ktorí sa zaoberali speleopotápaním. Patrí tu aj činnosť spojená s prekonaním polosifónu pri vchode do Brestovskej jaskyne a so zameraním pomerne dlhej jazernej chodby či potápačský prieskum Brestovskej vyvieračky skupinou R. Korima v roku 1999, ktorá sa tu potápala v známych častiach.

NÁZOV JASKYNE

V doterajšej histórii sa jaskyňa uvádzala pod rôznymi názvami. Jej prvý a azda aj najstarší názov *Štefkovka* pochádza z poľského prostredia. Pod týmto názvom, ktorý pravdepodobne vznikol odvodením z pomenovania potoka, vytekajúceho z vyvieračky poniže jaskyne, ju do literatúry v roku 1887 uviedol J. G. Pawlikowski. Nemožno pritom vylúčiť, že takto ju už pomenoval T. Chałubiński, ktorý sa v týchto končinách pohyboval podstatne skôr. Pri inej príležitosti ju zase v roku 1929 poľský geograf M. Gotkiewicz nazval *Zubereckou jaskyňou*.

V roku 1950, čiže v začiatkoch systematického záujmu o prieskum jej priestorov, ju P. Čaplovič uviedol do slovenskej literatúry pod názvom *jaskyňa v Roháčoch*. V dotazníku týkajúcom sa jaskýň na Slovensku z roku 1950 zase Slovakotour, miestny zbor pre cestovný ruch v Trstenej, píše o nej ako o *Jaskyni na Brestovej*. Zásluhou Juraja Bártu (1923 - 2005) sa v roku 1955 dostal do našej literatúry aj názov *Štefkovská jaskyňa*. Súčasná podoba názvu - *Brestovská jaskyňa* - sa definitívne ustálila až v roku 1958. Pričinil sa o to J. Brodňanský, keď ju pod týmto názvom uviedol v článku, ktorý publikoval v prvom čísle zborníka Slovenský kras. Takúto podobu akceptovala aj Názvoslovná komisia pri Slovenskom úrade geodézie a kartografie v Bratislave vo svojom Zozname jaskýň a priepastí na Slovensku v roku 1979. Pod týmto názvom sa jaskyňa uvádza aj v Zozname jaskýň na Slovensku so stavom k 31. 12. 1998, ktorý v roku 1999 vydalo Ministerstvo životného prostredia SR, a napokon aj v najnovšom Zozname jaskýň Slovenskej republiky.

ZÁVER

Napriek relatívne ucelenému obrazu, ktorý sa na podklade štúdia literatúry a iných prameňov podarilo vytvoriť, nemožno povedať, že sa tým zaplnili všetky biele miesta doterajšej histórie Brestovskej jaskyne. Využívanie Štefkovského potoka na hospodárske účely v minulosti by mohlo napríklad svedčiť o tom, že o existencii jaskyne vedeli prinajmenšom občania Zuberca. Nemožno vylúčiť ani banskú činnosť v širšom okolí či iné aktivity, v prípade ktorých vedomosť o existencii jaskyne mohla mať opodstatnenie. Ak tu v druhej

polovici 19. storočia bol T. Chałubiński a zmieňoval sa o existencii jaskyne, tak asi preto, že mu informácie o nej poskytlo miestne obyvateľstvo. Odpovede na tieto otázky azda prinesie čas. Dnes však už nemožno pochybovať o tom, že úvahy, podľa ktorých prvé zmienky o jaskyni súvisia s obdobím po roku 1918, nemajú opodstatnenie. História jaskyne je totiž oveľa staršia a treba len veriť, že sa ju časom naozaj podarí doplniť o nové a obsahom zaujímavé skutočnosti.

Moje poďakovanie patrí Vladislavovi Mikulovi, predsedovi oblastnej skupiny Orava za nezištné poskytnutie niektorých prameňov zo začiatkov záujmu o Brestovskú jaskyňu. Vďaka nim sa dali verifikovať niektoré publikované informácie, čo v konečnom dôsledku viedlo k podstatne komplexnejšiemu spracovaniu tejto časti histórie jaskyne.

LITERATÚRA

Anonymus 1923. Nová jaskyňa v Zubereckej doline. Krásy Slovenska, 3, 44-45.

Bárta, J. 1955. Poľskí jaskyniari na Slovensku. Krásy Slovenska, 32, 236-237.

Brodňanský, J. 1970. Podzemné krásy Oravy. Krásy Slovenska, 47, 268-269.

Brodňanský, J. 1958. Brestovská jaskyňa. Slovenský kras, 1, 114-115.

Brodňanský, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 2, 128-130.

Brodňanský, J. 1961. Príspevok k poznaniu niektorých jaskýň v Chočskom pohorí. Slovenský kras, 3, 146-150.

Brodňanský, J. 1965. Z činnosti jaskyniarskej skupiny v Dolnom Kubíne. Slovenský kras, 5, 114-116.

Brodňanský, J. 1969. Z výskumu v Brestovskej jaskyni. Pod roháčskymi hrebeňmi sú ďalšie jaskyne. Orava, Dolný Kubín 30. 7. 1969.

Brodňanský, J. 1969. Z činnosti jaskyniarskej skupiny v Dolnom Kubíne. Slovenský kras, 7, 161-167.

Brodňanský, J. 1970. Krasová jama č. 1 s jaskyňou pri Brestovskej jaskyni. Slovenský kras, 8, 111.

Brodňanský, J. 1975. Prieskum Brestovskej jaskyne a okolia. Krásy Slovenska, 52, 10-12.

Čaplovič, P. 1950. Jaskyňa v Roháčoch. Krásy Slovenska, 27, 5-8, 198.

Droppa, A. 1972. Kras skupiny Sivého vrchu v Západných Tatrách. Československý kras, 23, 77-98.

Hochmuth, Z. 1984. Výsledky speleopotápačského prieskumu Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 22, 151-156.

Hochmuth, Z. 2000. História speleopotápačských výskumov na Slovensku. 50 rokov Slovenskej speleologickej spoločnosti, 77-84.

Hochmuth, Z. 2000. Ponorný systém v oblasti Brestovej v Roháčoch. Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku. SSS, Košice - Prešov, 28-33.

Homza, Š., Jakál, J. 1972. Perspektívy rozvoja speleológie na Slovensku. Slovenský kras, 10, 145-154

Chovan, A. 1969. Správa z jaskyniarskeho týždňa v Brestovej. Slovenský kras, 7, 149-154.

Kowalski, K. 1957. Práce polských speleologů na Slovensku. Československý kras, 10, 35-36.

Lalkovič, M. 1998. Poliaci a záujem o jaskyne na Slovensku, časť I. - do roku 1918. Slovenský kras, 36, 93-114.

Pawlikowski, J. G. 1887. Podziemne kościeliska. Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego, Kraków, 33-48.

Wiśniewski, W. 1988. Jaskynie słowackich Tatr. Eksplorancik, 2-3, 38-49.

Zázvorka, V. 1926. Kras v Zuberecké dolině. Sborník Československé společnosti zeměpisné, 32, 283-284.

Zázvorka, V. 1929. Krasová území na Slovensku. Krásy našeho domova, 21, Praha, 42-44.

Zwoliński, T. 1936. Przewodnik po Tatrach i Zakopanem. Kraków, 127-128.

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva 031 01 Liptovský Mikuláš

FROM THE HISTORY OF BRESTOVSKÁ CAVE

Summary

The first written mentions on cave existence fall back to the 2nd half of the 19th century. Polish physician, botanist and Tatra explorer Titus Chałubiński wrote about a cave near the springs of the Studená Water in 1886. His mention applies to the present Brestovská Resurgence, ca. 60 m long spring cave. According to T. Zwoliński, T. Chałubiński was also to mention the cave Stefkowka, which he visited as well. The spaces of a cave near Zuberec were described by Jan G. Pawlikowski in the work Podziemne Kościeliska from 1887.

Cave existence was registered by a section of KČST in Dolný Kubín after 1918. Conservator A. Král overlooked the cave on commission of the State Referate for Monuments Protection in Bratislava. More detailed survey of its spaces was unsuccessfully attempted during 1923 - 1925 by kpt. Kopečný from the military garrison in Dolný Kubín. In 1926 - 1929 V. Zázvorka stated on the karst of the Zuberecká Valley, that the Studený Stream is divided here into two branches, of which one sinks underground above the forester's lodge and below it leaves underground spaces. Several Polish authors noticed the existence of the cave. In 1929 M. Gotkiewicz stated it under the name Zuberecká Cave and T. Zwoliński mentions the cave in the Tatra and Zakopane guidebook as Stefkowka water cave in 1936. The year 1936 is connected with an idea of potential use of the cave for civil defence purposes.

The beginnings of systematic interest in the Brestovská Cave are connected with after-war period. Firstly the survey of its spaces was pursued by a group of volunteer cavers from Trstená. Also J. Brodňanský from Dolný Kubín joined surveying of its spaces and together with F. Čejka and P. Čaplovič they penetrated into otherwise flooded spaces of the cave during extremely low water flow rate in October 1949. As a regular member of the Slovak Speleological Society he started to show a more systematic interest in the cave since 1952. In August 1952, riding a boat together with F. Čejka, they got in front of the water siphon. After releasing the ponor of the Studený Stream in September 1953, they both entered this ponor cave, where they continued some 40 m.

A group of Polish cavers led by K. Kowalski dressed in light diving suits went through 300 m long water flow in the Brestovská Cave in March 1955. J. Brodňanský with F. Čejka measured the cave and drew up a plan of its spaces during 1957 - 1958. It came out that the length of all passages is around 445 m. J. Brodňanský tried later to penetrate through the ponor of the Studený Stream, however his attempts ended by failure. The divers from Žilina realized a survey of the siphon in May 1968. They reached its deepest place in July 1968 during the caving week, but didn't enter the ascending branch. A. Droppa surveyed the cave in July 1969 and L. Krump realized surface measuring around the cave.

In the beginning of March 1974 P. Ošust with Swiss A. Schärer dived to the end of ascending branch but didn't emerge in dry parts. Cavers from Orava discovered an opening near Volariská ponor in July 1974, through which they penetrated into 55 m long cave, which became a part of the Brestovská Cave. In June 1976 during surveys in the lower part of water course flowing through the cave, V. Mikula overcame by boat the low spaces and penetrated into unknown parts with total length of about 120 m. A new period of surveys of the Brestovská Cave began to receive its contours in April 1979. It arouse from a definitive swimming through the siphon and discovery of new spaces, which are comparable with before known parts of the cave.

The need to know the overall shape of the cave required measuring of the 1st siphon and new spaces behind, which took place during 1981 - 1984 by means of specific measuring approach. Opening the cave to public was under consideration by the Slovak Caves Administration at the end of the seventies of the 20th century. Establishment of the Headquarters of the State Nature Protection in 1981 meant ceasing of this idea. Employees of the Headquarters measured a part of cave spaces in 1984 and made out its basic map.

Interest of unwanted visitors was drawn by the favourable location of the site. Therefore damaging of cave entrance and pollution of its spaces frequently happened. Existence of new spaces behind the siphon raised the question of the second entrance, however the attempts with a probe in the Múčnica Valley didn't bring the wished result. Hence the divers further dominated in cave surveys and concentrated to survey of the last 5th siphon in 1999 or survey of the outflow siphon near cave entrance and Brestovská Resurgence.

Cave existence was stated under several names in the previous history. The present name has definitively fixed in 1958. It was initiated by J. Brodňanský, when he stated this name in an article published in the first number of the Slovenský kras magazine.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46 SUPPL. 1	125 - 129	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008

OCHRANA A MOŽNOSTI SPRÍSTUPNENIA BRESTOVSKEJ JASKYNE

PAVEL BELLA - PETER GAŽÍK - DAGMAR HAVIAROVÁ - MATÚŠ PEŠKO - ZUZANA VIŠŇOVSKÁ - LUKÁŠ VLČEK - JÁN ZELINKA

Brestovská jaskyňa sa nachádza na území Tatranského národného parku (TANAP), v turisticky frekventovanom ústí doliny Studeného potoka vedúcej spod Roháčov v Západných Tatrách do Podtatranskej brázdy. Z dôvodu významných prírodných hodnôt Brestovskú jaskyňu v roku 1979 vyhlásili za chránený prírodný výtvor. Podľa vyhlášky Ministerstva životného prostredia SR č. 293/1996 Zb. z 30. septembra 1996 je národnou prírodnou pamiatkou.

PRÍRODNÉ HODNOTY A VÝZNAM JASKYNE

Brestovská jaskyňa má viaceré významné geologické, geomorfologické, hydrologické a biospeleologické hodnoty. V jej podzemí na viacerých miestach vidieť obnaženú zónu kontaktu strednotriasových ramsauských dolomitov s paleogénnymi zlepencami nadložného borovského súvrstvia, ako aj odkryvy hornín bazálnej litofácie paleogénneho mora či zlomy poukazujúce na tektonický pohyb masívu. Z geomorfologického hľadiska ide o jaskyňu s viacfázovým fluviokrasovým vývojom, ktorý okrem litologických a štruktúrno-tektonických pomerov ovplyvnila aj akumulácia glacifluviálneho kužeľa v ústí doliny Studeného potoka. V morfológii podzemných priestorov prevládajú tvary freatickej a epifreatickej modelácie. Spodnou časťou jaskyne preteká alochtónny vodný tok, ktorého horizontálne, resp. subhorizontálne úseky sú oddelené hlbšími i plytšími sifónmi. Z jaskynných sedimentov dominujú alochtónne fluviálne sedimenty, ktorých rozličné fácie sú v neporušenom stave a sú vhodné na skúmanie dynamiky transportu sedimentov v riečisku.

Na alochtónny podzemný vodný tok sa viažu biotopy viacerých druhov akvatickej fauny. Väčšina druhov patriacich k makrozoobentosu pochádza z povrchových biotopov, ktoré komunikujú s podzemnými vodami. Na presun z jedného miesta na iné využívajú najmä prúdenie vody. Výskyt drobnej krustaceofauny sa viaže na pórovité a iné drobné dutiny (intersticiál, hyporeál) medzi sedimentmi uloženými na dne a brehoch riečiska mimo priameho vplyvu vodného prúdu. Medzi ich hlavné zdroje potravy patrí detrit a iný materiál rastlinného alebo živočíšneho pôvodu, ktoré sú unášané z vyššie položených povrchových úsekov vodného toku. Sú to organizmy prevažne oligostenotermné (schopné prežívať iba v chladných vodách s malými teplotnými výkyvmi) a reobiontné (prúdomilné), ktoré vyžadujú neznečistené a dobre okysličené vody. Významné sú stygobiontné (freatobiontné) kôrovce *Diacyclops languidoides, Niphargus tatrensis* a *Bathynella natans*, ktoré sa považujú za typických predstaviteľov reliktnej akvatickej fauny jaskýň Tatier. Hoci Brestovskú jaskyňu obývajú málo diverzifikované spoločenstvá terestrických bezstavovcov, zaujímavým je eutroglofilný druh chvostoskoka *Protaphorura janosik*, vyskytujúci sa najmä v studených jaskyniach; zrejme ide o glaciálny relikt v kavernikolnej faune Západných Karpát. Z hľadiska zoogeografie je významný výskyt chránených druhov a karpatských endemitov - kosca *Ischyropsalis manicata* (Opiliones) a žižiavky jaskynnej *Mesoniscus graniger* (Isopoda). Brestovská jaskyňa patrí medzi najsevernejšie lokality výskytu tejto žižiavky v Európe. Je aj jedným z najvýznamnejších zimovísk netopierov na Orave.

OCHRANA, NEGATÍVNE ANTROPOGÉNNE ZÁSAHY A PRAKTICKÁ STAROSTLIVOSŤ O JASKYŇU

Podmienky ochrany jaskyne vyplývajú z vlastností prírodných zložiek jaskynného prostredia, ich vzájomných vzťahov, zákonitostí fungovania jaskynného geosystému, resp. ekosystému a jeho vzťahu s povrchovými krajinnými systémami. Medzi najzraniteľnejšie zložky jaskyne patria chemogénne i klastické jaskynné výplne, jaskynná fauna, ako aj podzemné krasové vody, najmä alochtónneho pôvodu.

Negatívne antropogénne zásahy v Brestovskej jaskyni sa prejavujú najmä poškodením sintrovej výplne. Z dôvodu prevencie poškodzovania jaskyne pri vstupe nepovolaných osôb oblastná skupina Orava Slovenskej speleologickej spoločnosti v júli 1976 vybudovala uzáver vchodu. Po jeho poškodení jaskyňa bola dlhší čas otvorená a voľne prístupná. Hoci sintrová výplň v Brestovskej jaskyni sa hojne nevytvorila, do veľkej miery bola zničená prejavmi vandalizmu (Peško, 2004). Preto v roku 2003 sa uzáver jaskyne urýchlene opravil; bezpečné uzatvorenie jaskyne si však vyžiadalo výrobu a inštaláciu nového uzáveru v roku 2004 (Iždinský a Staník, 2004; Staník a Iždinský, 2005). Na základe zadania Správy slovenských jaskýň práce vykonali dobrovoľní jaskyniari, členovia oblastnej skupiny SSS Orava, ktorí vykonávajú aj speleologickú strážnu službu - stráž prírody zameranú na jaskyne. Okrem speleologického prieskumu Brestovskej jaskyne spolupracujú pri zabezpečovaní jej výskumu a dokumentácie.

Ďalšie antropogénne zásahy v jaskyni predstavujú chodníky, ktoré sú na viacerých miestach zahĺbené do jemných klastických sedimentov. Chodníky treba na zabezpečenie lepšej priechodnosti jaskyne. Z cudzorodých kovových materiálov sú v jaskyni inštalované rebríky medzi Vstupnou sieňou a Zubereckou chodbou, v priestore Gotickej brány a Siene potápačov, ako aj premostenie priepasti v Kopečného chodbe a uchytávacie retiazky v Zubereckej chodbe na bezpečnejší pohyb v podzemí. Pri speleologickom prieskume sa vykopali viaceré sondy s cieľom objaviť neznáme priestory.

Keďže Brestovskou jaskyňou preteká ponorný alochtónny vodný tok, na jaskyňu viac či menej vplývajú aj antropogénne činnosti realizované v jeho povodí, najmä v ponorovej zóne. Vodné toky pritekajúce z priľahlej nekrasovej časti povodia prenikajú do jaskyne a môžu narušiť vodný režim a kvalitu vody podzemného toku, ktorý sa dostáva na povrch Brestovskou vyvieračkou. V minulosti sa hydrologický režim vodného toku v jaskyni menil odrážaním prítoku vody z riečiska Studeného potoka do ponoru na pohon píly v Zuberci alebo zahradzovaním prítoku vody s cieľom speleologického prieskumu ponoru (Brodňanský, 1959).

Odlesnením povrchu nad jaskynnými priestormi sa môže narušiť režim priesaku zrážkových vôd, zrýchliť erózia pôdy a splavovanie pôdnych sedimentov do jaskyne. Nepriaznivý vplyv by mohlo mať narušenie alebo znečistenie závrtov pri jaskyni, ktoré indikujú smer priebehu vývervovej jaskyne medzi jej vchodom a vyvieračkou. Z hľadiska prevencie znečistenia podzemných vôd treba mať na zreteli polohu väčšiny závrtov v blízkosti amfiteátra i parkoviska pre motorové vozidlá.

Vzhľadom na možnosť ohrozenia jaskyne antropogénnymi činnosťami v jej okolí súčasťou vyhlásenia jaskyne za chránený prírodný výtvor v roku 1979 bolo aj ochranné pásmo s rozlohou 63,36 ha (Klinda, 1985). Platnosťou zákona č. 287/1994 Z. z. o ochrane prírody a krajiny sa však zrušili všetky dovtedy vyhlásené ochranné pásma chránených prírodných výtvorov vrátane jaskýň. Keďže pretrvávajú potenciálne riziká ohrozenia Brestovskej jaskyne nevhodnými antropogénnymi zásahmi v jej okolí, Správa slovenských jaskýň v roku 2004 spracovala nový projekt na opätovné vyhlásenie ochranného pásma s rozlohou 59,31 ha a nasledujúci rok ho odstúpila Krajskému úradu životného prostredia v Žiline na prerokovanie.

ZÁKLADNÉ PODMIENKY A PROBLÉMY SPRÍSTUPNENIA JASKYNE

Zámer turistického spôsobu sprístupnenia Brestovskej jaskyne sa predložil už v 70. rokoch minulého storočia v rámci uvažovaných perspektív rozvoja slovenského jaskyniarstva (Homza a Jakál, 1972). Predpoklad dostatočne vysokej návštevnosti jaskyne vyplýva hlavne z jej vhodnej polohy v turistickej oblasti Zuberca a Roháčov, navyše v tesnej blízkosti Múzea oravskej dediny a tamojšieho amfiteátra na organizovanie ľudových slávností.

Podľa § 24 zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny súhlas na sprístupnenie možno vydať len pre jaskyne, v ktorých sa uskutočnil komplexný speleologický prieskum a výskum a ak nedôjde k degradácii alebo devastácii ich prírodných a kultúrnych hodnôt nadmerným zásahom do horninového prostredia, chemickej a mechanickej výplne a vodného režimu, k poškodeniu biotopov vzácnych alebo ohrozených živočíchov, archeologických alebo paleontologických nálezov, ako aj prírodných hodnôt na povrchu v blízkosti jaskyne.

Na základe výskumov, ktoré vykonala Správa slovenských jaskýň v rokoch 2006 a 2007, možno pripustiť turistické sprístupnenie jaskyne pri minimálnych zásahoch do jaskynného prostredia a s regulovanou návštevnosťou za podmienok, že sa nenaruší hydrologický režim podzemného vodného toku, neprimeraným spôsobom sa nebude zasahovať do terajšieho prirodzeného stavu riečiska, neznečistia sa podzemné krasové vody a neznehodnotia ostatné časti jaskyne. Pritom zvýšenú pozornosť treba upriamiť na zachovanie vhodných životných podmienok pre vodnú faunu, aby sa nenarušila štruktúra a fungovanie vodného ekosystému ako celku. Hoci z geologického a geomorfologického hľadiska je jaskyňa menej zraniteľná, takisto treba minimalizovať antropogénne zásahy do materskej horniny a sedimentov, aby sa výraznejšie nenarušil ich pôvodný vzhľad a stabilita. Zachovanie estetickej hodnoty jaskyne si vyžaduje inštaláciu menej výrazných technických zariadení, ktoré však musia spĺňať požadované bezpečnostné normy. Umiestniť by sa mali len na takých miestach, kde neexistuje iná, prirodzenejšia forma vybudovania prehliadkovej trasy (vertikály, strmé svahy, priepasti a pod.).

Keďže v jaskyni je stály podzemný vodný tok, miestami s prietokovými jazerami, vo vzťahu k sprístupneniu sa natíska úvaha o možnostiach vytvorenia podzemnej plavby ako atrakcie pre návštevníkov. V miestach hlbšej vody je však skalný strop veľmi nízko, v ostatných častiach je riečisko plytké. Na zabezpečenie dostatočnej hĺbky vody na plavbu by sa musela postaviť hrádza, čím by sa výrazne narušil prirodzený hydrologický režim, ako aj fluviálne procesy v podzemnom riečisku. Navyše na viacerých miestach by sa musel na priechodnosť plavidiel s návštevníkmi pomerne výrazne odsekať skalný strop. V podzemnom vodnom toku žijú reobiontné (prúdomilné) organizmy, ktoré vyžadujú neznečistené a dobre okysličené vody. Citlivo reagujú aj na pomerne malé zmeny chemických a fyzikálnych vlastností vody (znečistenie vody, zmena rýchlosti a smeru jej prúdenia) i obmedzenie prísunu zdrojov potravy. Viaceré takéto zmeny by nastali prehradením alebo inou reguláciou vodného toku, ako aj turbulenciou vody pri jeho brodení alebo splavovaní. Takéto výrazné negatívne zásahy do prirodzeného stavu jaskyne vylučujú zahrnúť plavbu do zámeru sprístupnenia jaskyne.

Z hľadiska ochrany invertebrátnej fauny a jej biotopov nemožno pripustiť ani zašľapávanie, resp. rozrušovanie fluviálnych sedimentov, najmä v brehovej zóne popri vodnom toku v Sieni potápačov a pozdĺž Brodňanského riečiska. Tá je vďaka organickým naplaveninám bohatšie osídlená rozličnými skupinami bezstavovcov (dážďovky, kôrovce, ploskulice, ulitníky, roztoče, chvostoskoky), ktoré by boli týmito zásahmi priamo ohrozené. Prehliadkový chodník treba viesť ponad riečisko, napr. demontovateľným kovovým premostením, prípadne iba upravenými kamennými blokmi na došľapovanie, aby návštevníci nevstupovali do riečiska a nenarušovali biotopy akvatickej fauny. Pri sprístupňovacích prácach i prehliadke jaskyne treba minimalizovať zásahy do fluviálnych sedimentov.

Počas zvýšených vodných stavov, najmä na jar v čase topenia snehu a v čase extrémnych zrážok, prietok podzemného vodného toku výrazne vzrastá. Z otvorených aktívnych ponorov, dokázateľne prepojených s jaskyňou (ponor Studeného potoka, ponor Volariská), sa počas extrémnych hydrologických situácií na povrchu dostane do jaskyne v krátkom čase väčšie množstvo vody. Zvýšený prietok podzemného toku spolu s obmedzenou kapacitou odtokových sifónov spôsobuje v jaskyni výrazné stúpnutie vodnej hladiny v celej časti podzemného riečiska. V priebehu niekoľkých hodín sa vodná hladina v jaskyni zvýši miestami o viac ako 2 m. S týmito prípadmi treba počítať pri technickom návrhu sprístupnenia jaskyne s rizikom zatápania chodníkov, ako aj pri prevádzke jaskyne s jej obmedzením až prerušením z dôvodu bezpečnosti návštevníkov. S cieľom presnejšie spoznať režim podzemného vodného toku treba v jaskyni inštalovať limnigraf alebo iné zariadenia na kontinuálne zaznamenávanie výšky vodnej hladiny a prietoku vody a dlhodobo sledovať súčasné fluviálne procesy v podzemnom riečisku.

V Brodňanského riečisku sú pod nánosmi štrku a piesku plastické ílovité sedimenty, zväčša až do hĺbky presahujúcej 1,5 m, čo môže spôsobiť značné problémy pri vedení trasy a pri kotvení, resp. zabezpečení potrebnej stability prehliadkového chodníka. Vzhľadom na vysokú vlhkosť a riziko opakujúcich sa záplav chodník by mal byť skonštruovaný z kovových, prípadne iných konštrukcií nepodliehajúcich korózii. Prírodnému charakteru riečiska by najviac zodpovedalo umiestnenie plochých kamenných blokov vynorených nad priemernú hladinu vody a dostatočne stabilných na chôdzu. Z hľadiska bezpečnosti pohybu osôb možno uvažovať aj o kombinácii oboch riešení. Zásadne sa neodporúča vybudovať klasický betónový chodník, ktorý by na mäkkom podloží nebol stabilný a vyžiadal by si väčšie zásahy do skalného podložia i podlahových sedimentov.

Jemné sedimenty z horných častí jaskyne, najmä v úseku medzi Jazierkovou a Bivakovou sieňou, prichytené na obuvi návštevníkov by sa nemali dostávať do riečiska. Tomu treba prispôsobiť spôsob konštrukcie alebo úpravy povrchu prehliadkového chodníka v častiach jaskyne pokrytých jemnými sedimentmi. V prípade zasekávania časti prehliadkového chodníka do materskej horniny treba takto získaný horninový materiál miestami podľa potreby využiť na úpravu chodníka a zostatok vyniesť z jaskyne na povrch, keďže v jaskyni nie sú priestorové možnosti na jeho hromadenie. Nemožno ním zasypávať fluviálne sedimenty, ktoré poukazujú na súčasnú modelačnú činnosť podzemného vodného toku, ako aj na bývalé hydrografické podmienky v čase vytvárania jaskyne. Hromady vysekaných skál by v podzemných priestoroch predstavovali vizuálne neestetické tvary. Skalnú drvinu možno využiť na úpravu chodníka na jemných sedimentoch.

Keďže najväčšiu diverzitu terestrických druhov jaskynnej fauny vo Vstupnej sieni podmieňuje hojnejší organický substrát dostávajúci sa do podzemia z povrchu, v prípade sprístupnenia jaskyne treba v tejto časti čo najviac zachovať pôvodný charakter prírodného prostredia - nezmeniť mikroklimatické pomery a ponechať organický materiál.

Jaskyňu využívajú netopiere na hibernáciu, a preto pri akýchkoľvek technických úpravách alebo výmene uzáveru jaskynného vchodu sa musia zachovať vhodné vletové otvory. Vletový otvor by mal mať minimálne rozmery 15 x 30 cm a mal by sa umiestniť vo vhodnej polohe, podľa možnosti mimo hlavného vchodu slúžiaceho pre návštevníkov. Počas hibernácie sú netopiere citlivé na bezprostredné vyrušovanie, ako aj na nepravidelné alebo náhle výkyvy teploty, prúdenia vzduchu a koncentrácie kyslíka v jaskynnom prostredí. V relatívne malých, miestami až stiesnených horných častiach jaskyne, v ktorých sa počas hibernácie netopiere zdržiavajú najčastejšie, by neprimerane vysoká návštevnosť spôsobovala ich vyrušovanie. Preto v zimnom období (november - marec) treba obmedziť návštevnosť najviac na 3 až 4 vstupy denne, s maximálnym počtom 10 až 15 osôb na jeden vstup, pričom v jaskyni by nemali byť súčasne dve skupiny návštevníkov a časový interval medzi výstupom jednej skupiny z jaskyne na povrch a vstupom ďalšej skupiny do jaskyne

by mal byť minimálne 1/2 hodiny. Počas prehliadky jaskyne sa zimujúce netopiere nemôžu vyrušovať a ohrozovať bezprostredným kontaktom s návštevníkmi. Nie je vhodné používať karbidové svietidlá, ktoré spotrebúvajú kyslík a produkujú teplo.

Obmedziť počet návštevníkov si vyžaduje aj morfológia jaskyne. Vyskytujú sa úseky úzkych alebo nízkych priestorov, navyše prevažná časť jaskyne má výrazne nevyrovnaný pozdĺž profil. Pomerne výrazne vertikálne členitá prehliadková trasa sa nezaobíde bez rebríkov, schodov a premostení. Aj z hľadiska bezpečnosti nevyhnutne treba obmedziť počet návštevníkov - max. 10 až 15 osôb na jeden vstup s dvoma sprievodcami na začiatku a konci skupiny. Pritom v období mimo hibernácie netopierov (apríl - október) možno uvažovať najviac s 5 až 6 vstupmi denne. Vzhľadom na obmedzené priestorové možnosti dané morfológiou podzemných priestorov je stretávanie a vyhýbanie sa skupín návštevníkov dosť komplikované, na väčšine miest až nemožné. Najmä v čase zimnej i letnej turistickej sezóny by záujem o návštevu jaskyne prevyšoval jej kapacitné možnosti. So zreteľom na výrazne limitovanú návštevnosť sa preferuje používať individuálne batériové osvetlenie pred klasickým elektrickým osvetlením prehliadkovej trasy.

Úvahy o zokruhovaní prehliadkovej trasy alebo jej časti, aby sa zvýšila „priepustnosť" jaskyne pre návštevníkov, narážajú vzhľadom na priestorovú konfiguráciu a vzájomnú spojitosť podzemných priestorov na problém neúmerných zásahov do horninového prostredia s potrebou prepojovacích štôlní a výrazného rozširovania viacerých úsekov jaskynných chodieb.

Najmä v horných častiach jaskyne bez podzemného vodného toku treba v prípade sprístupnenia kontinuálne monitorovať vplyvy návštevnosti na jej mikroklímu. Vzhľadom na pomerne chudobný výskyt sintrovej výplne je jej ohrozenie podstatne menej rizikové ako v prípade väčšiny našich ostatných sprístupnených jaskýň.

Vstupný objekt jaskyne musí byť mimo priebehu podzemných priestorov (ich priemetu na povrch) a závrtov. Na parkovisku pre motorové vozidlá pri amfiteátri treba upraviť a zabezpečiť odstavné plochy, aby sa znečisťujúce látky nedostali do podzemných vôd.

V okolí jaskyne sa ako sprievodná výchovná aktivita popri prehliadke odporúča vybudovať náučný chodník, ktorý bude prezentovať geomorfologické a hydrologické javy (závrty, vchody do Brestovskej a Zrútenej jaskyne, vytváranie riečnych jaskýň v alogénnom krase, vyvieračka), vybrané geologické javy (geologická stavba a vývoj územia, ukážka základných typov hornín z tejto oblasti), ochranu prírody s dôrazom na krasové javy, ako aj speleologický prieskum vrátane potápania.

LITERATÚRA

Brodňanský, J. 1959. Ponory Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 2, 128-130.

Homza, Š. - Jakál, J. 1972. Perspektívy rozvoja speleológie na Slovensku. Slovenský kras, 10, 145-154.

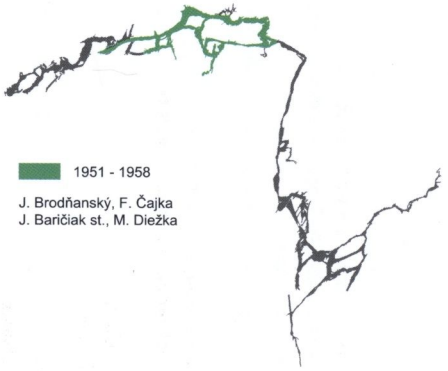
Iždinský, L. - Staník, P. 2004. Praktická starostlivosť o jaskyne v roku 2003. Aragonit, 9, 44-45.

Klinda, J. 1985. Chránené územia prírody v Slovenskej socialistickej republike. Obzor, Bratislava, 320 s.

Peško, M. 2004. Nález aragonitu v Brestovskej jaskyni. Aragonit, 9, 44.

Staník, P. - Iždinský, L. 2005. Praktická starostlivosť o jaskyne na Slovensku v roku 2004. Aragonit, 10, 31-33.

Prehľad zameriavania Brestovskej jaskyne
Overview of Brestovská Cave surveying

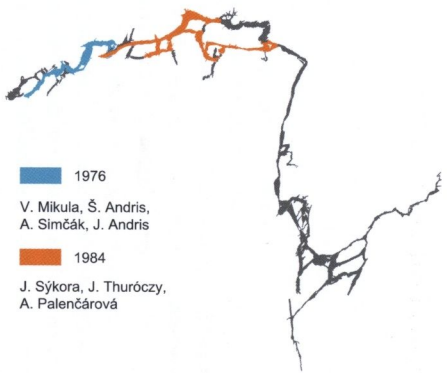


1951 - 1958

J. Brodňanský, F. Čajka
J. Baričiak st., M. Diežka

1969

L. Krump, A. Chovan, S. Šrol

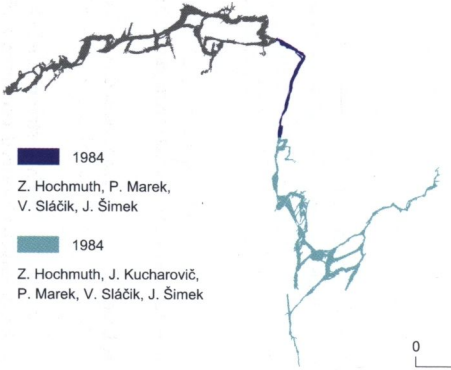


1976

V. Mikula, Š. Andris,
A. Simčák, J. Andris

1984

J. Sýkora, J. Thuróczy,
A. Palenčárová



1984

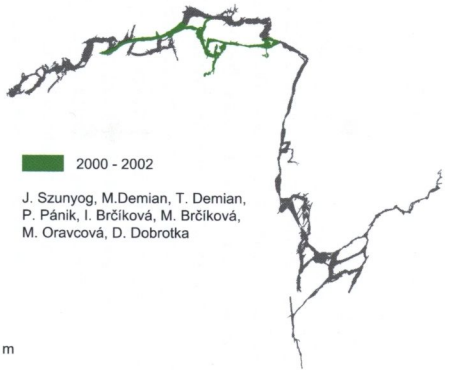
Z. Hochmuth, P. Marek,
V. Sláčik, J. Šimek

1984

Z. Hochmuth, J. Kucharovič,
P. Marek, V. Sláčik, J. Šimek

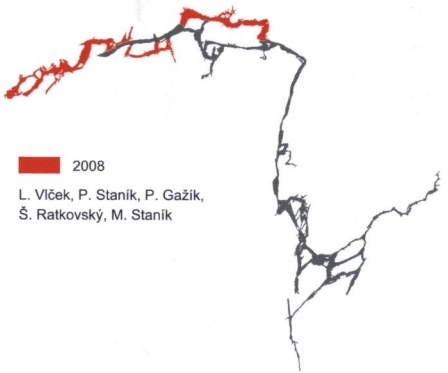
N

0 100 m



2000 - 2002

J. Szunyog, M.Demian, T. Demian,
P. Pánik, I. Brčíková, M. Brčíková,
M. Oravcová, D. Dobrotka



2008

L. Vlček, P. Staník, P. Gažík,
Š. Ratkovský, M. Staník

FOTOGRAFICKÁ PRÍLOHA

Obr. 1. Prietokové jazero medzi Vstupnou sieňou a Jazernou chodbou. Foto: P. Staník
Fig. 1. Flow-through lake between Entrance Hall and Jazerná Passage. Photo: P. Staník

Obr. 2. Brodňanského riečisko, Gotická brána. Foto: P. Staník
Fig. 2. Brodňanského Riverbed, Gotická Gate. Photo: P. Staník

Obr. 3. Jazerná chodba, juhozápadná časť pred odtokovým sifónom. Foto: P. Staník
Fig. 3. Jazerná Passage, southwestern part in front of outflow siphon Photo: P. Staník

Obr. 4. Brodňanského riečisko, východná časť. Foto: P. Staník
Fig. 4. Brodňanského Riverbed, eastern part. Photo: P. Staník

Obr. 5. Brodňanského riečisko, stredná časť. Foto: P. Staník
Fig. 5. Brodňanského Riverbed, central part. Photo: P. Staník

2

3

4

Slovenský kras, ročník 46, supplementum 1
Acta Carsologica Slovaca, vol. 46, supplementum 1

Rok vydania:	2008
Vydala:	Štátna ochrana prírody SR Správa slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši v Knižnom centre, Predmestská 51, 010 01 Žilina
Adresa redakcie:	Správa slovenských jaskýň Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš
Jazyková korektúra:	Mgr. Bohuslav Kortman
Preklad a korektúta textov v anglickom jazyku:	Autori, Ing. Peter Gažík
Grafická úprava a sadzba:	Ing. Ján Kasák, M&P®, spol. s r. o., Žilina
Tlač:	Uniprint, Považská Bystrica
Náklad:	400 ks

Fotografia na obálke: Brestovská jaskyňa, Jazerná chodba. Foto: P. Staník

ISSN 0560-3137
ISBN 978-80-8064-328-7

ISSN 0560-3137
ISBN 978-80-8064-328-7

BRESTOVSKÁ JASKYŇA

Plán

Príloha publikácie Slovenský kras, ročník 46, supplementum 1