

HODNOTENIE GEOEKOLOGICKEJ STABILITY BRESTOVSKÉJ JASKYNE

Štefan Ratkovský

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoeológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

Abstrakt: Caves are appreciated as specific geoecological geosystems in the lithosphere. Speleotopes, respect the vertical structure of cave geosystems. Speleochores and set of speleochores correspond with the horizontal structure of cave geosystems. The resultant stability of the cave depends on the occurrence of particular spelcotos and their internal stability. Geoecological characteristics of speleotopes are the most important informational basis for calculation the geoecological stability cave. Method of evaluation geoecological stability of the Brestovska jaskyna Cave consist of classification the internal nature stability spelcotos and influence space land in cave geosystem.

Key words: Brestovská jaskyňa Cave; geoecological stability; spelcotos; geosystem; terrain research

1. ÚVOD

Udržateľné a únosné využívanie krajiny človekom je podmienené rešpektovaním zákonitosti krajinej štruktúry. Schopnosť krajiny plniť rôznorodé funkcie je dlhodobo udržateľná len bez narušenia stability geosystémov v krajine. Pri hodnotení stability jaskynných geosystémov je nevyhnutné vnímať krajinu ako systém zložený zo súboru prvkov, medzi ktorými jestvujú vzájomné nenáhodné vzťahy v súlade s prácami Michal (1992) a Miklós, Izakovičová (1997). Stanovenie a meranie stupňa stability geosystému je zväčša riešené na teoretickej úrovni, pričom komplexnejšie spôsoby hodnotenia stability povrchovej krajiny uvádzajú napríklad Ružička, Hrnčiarová (1995), Tremboš a kol. (1998) a viacerí iní.

Cieľom predloženého príspevku je hodnotenie stability Brestovskej jaskyne (Západné Tatry) vnímanej ako geosystém a stručné vyhodnotenie v terénnom výskume nameraných geoeologických stavových veličín vplývajúcich na stabilitu jaskyne.

2. NÁČRT TEORETICKÝCH VÝCHODÍSK

Pri hodnotení stability jaskyne ako súčasť krasu vychádzame z prác Jakál (1986, 2002). Krasovú krajinu vnímame ako špecifický prírodný geosystém, ktorý sa vlastnosťami reliéfu, mikroklimy, biozložky a cirkuláciou krasových vôd výrazne odlišuje od okolitej nekrasovej krajiny najmä krehkosťou a citlivosťou na antropické vplyvy, pričom medzi jeho prírodnými prvkami jestvujú zložité vzájomné väzby. Narušenie jedného z prvkov zväčša vyvolá nekontrolovanú reťazovú reakciu, ktorej dôsledok sa prejaví v narušení rovnováhy celej krasovej krajiny. Z tohto dôvodu je kategorizácia stability jaskynného geosystému účelná najmä pre jeho praktickú ochranu.

Jaskynné geosystémy sa podľa Bella (1998a) vyznačujú priestorovou vertikálnou a horizontálnou štruktúrou (speleotopy, speleochory) a časovo-priestorovými zmenami (režim, sukcesívna dynamika, evolučný vývoj). Jaskynné geosystémy majú silné väzby s povrchovými krajinnými systémami. Z vertikálneho hľadiska sa jedná najmä o priesaky zrážkových vôd, z horizontálneho hľadiska o ponorné autochtónne alebo alochtónne vodné toky. Poznatky o priestorovej štruktúre, časovo-priestorových zmenách a smere a sile väzieb v jaskynných geosystémoch nám vytvárajú teoretický základ pri vytváraní postupu k stanoveniu stability jaskýň. Napriek závažnosti problematiky, hodnoteniu stability jaskynných geosystémov nebola doposiaľ v literatúre venovaná dostatočná pozornosť. Na teoretickej úrovni sa klasifikácii antropogénnych vplyvov a kategorizácii stability jaskynných geosystémov venovali najmä práce Bella (1992, 1999).

Pri vyhodnotení výslednej hodnoty stability jaskynného geosystému vychádzame z teoretického základu, podľa ktorého je výsledná stabilita jaskynného geosystému závislá predovšetkým od jeho stavových veličín, ktoré charakterizujú vnútorný stav v geosystéme a od miery vplyvu a opakovanosti antropických činností v povodí jaskyne. Teoreticky predpokladáme vzájomnú silnú previazanosť zložiek povrchovej krasovej krajiny a podzemia krasu, pričom miera vplyvu povrchu na jaskynný geosystém je daná silou väzieb medzi jej jednotlivými prírodnými prvkami.

Pri hodnotení stability jaskynného geosystému Bella (2005) a Jakál (1986) na teoretickej úrovni predpokladajú všeobecne veľmi nízku stabilitu jaskynného prostredia a slabú až žiadnu regeneračnú schopnosť jaskyne, vytvorenej najmä v krasových územiach budovaných rozpustnými horninami. Antropické aktivity uskutočňované v povodí jaskyne, akými sú najmä zamýšľané sprístupňovanie a prevádzka sprístupnenej jaskyne, nevhodná poľnohospodárska, lesná hospodárska činnosť a nadmerné rekreačné aktivity spojené s uskutočňovaním akcií s masovou účasťou, či iná činnosť človeka na povrchu, spôsobujú viaceré zvrtné prípadne nezvrtné zmeny v režime a fungovaní jaskynného geosystému a to v rozsahu, ktorý je priamoúmerný veľkosti a opakovateľnosti záporných vstupov. Vzhľadom na stabilitu jaskyne sa teoreticky ako kľúčová javí veľkosť a miera nevratných zmien vo fungovaní jaskynného geosystému, ktorá býva spôsobovaná hlavne nevyváženým antropickým vplyvom v krasovom území. Vzniknuté zmeny v jaskynnom prostredí sa v tomto prípade dostatočne nedokážu vyrovnávať samoreguláciou a postupne vedú k trvalej zmene vlastností niektorých abiotických a biotických zložiek a k zmene fungovaniu a štruktúry jaskynného geosystému.

3. METODICKÝ POSTUP

V odbornej literatúre doposiaľ nie je uvedený metodického postupu vedúci k stanoveniu stability jaskynných geosystémov. Z tohto dôvodu sme vytvorili postup s praktickým využitím na základe vyššie uvedených teoretických východísk. Cieľom vytvoreného postupu je stanovenie stupňa geoeologickej stability Brestovskej jaskyne. Ťažisko postupu spočíva v speleologickom a geoeologickej výskume a mapovaní elementárnych priestorových jednotiek jaskyne, speleotopov. Základné kroky výskumu sú založené na metóde jednorazového integrálneho výskumu a mapovania vo veľkých mierkach (Minár a kol., 2001), upravenej pre náročne dostupné jaskynné prostredie. Metodický postup zahŕňa hodnotenie podzemných priestorov jaskyne a vybraných charakteristík krajiny nad jaskyňou. Na základe súhrnného štatistického spracovania odvodených charakteristík sme vypočítali celkovú geoeologickú stabilitu jaskynného geosystému. Vytvorený metodický postup pozostáva z viacerých krokov.

- a) **Príprava, kompletizácia a aktualizácia podkladov** (textové, mapové, grafické) viažucich na skúmanú jaskyňu a na povrch v bezprostrednej blízkosti jaskyne nám výrazne urýchľuje a skvalitňuje výsledky terénneho výskumu. Mapovanie geoeologických charakteristík v jaskynných priestoroch, ich následná extrapolácia a interpretácia sa uskutočňuje na základe speleologickej mapy jaskyne. V prípade že mapa nejestvuje je potrebné zamerať jaskyňu vhodnou metódou, napríklad kompasovým polygónovým ťahom (Hochmut, 1995) a následne vyhotoviť základnú mapu. V prípade Brestovskej jaskyne sme uskutočnili doplňujúce meranie nezameraných riečnych častí jaskyne (okolo 540 metrov), ktoré sme následne georeferencovali a napojili na mapu „starých“ častí jaskyne.
- b) **Terénny výskum Brestovskej jaskyne** bol zameraný na získanie základných geoeologických veličín vstupujúcich do hodnotenia stability jaskynného geosystému. V terénnom výskume sme postupovali podľa metódy Minár a kol. (2001) a vychádzajúc z prác Bella (1998b), Piasecki a kol. (2006) a Hipman (1989). Vytvorili sme databázu jednotne usporiadaných údajov priestorovo sa vzťahujúcich na elementárne geoeologické jednotky – speleotopy, ktoré považujeme za kázi homogénne z hľadiska jednotlivých charakteristík prírodných prvkov. V Brestovskej jaskyni sme vyhraničili celkovo 50 speleotopov na základe metódy vedúceho faktora, speleoreliéfu, vzhľadom na jeho najjednoduchšiu pozorovateľnosť a pomernú nemenosť. Komplexná priestorová databáza získaná terénnym výskumom vystihuje priestorovú vertikálnu štruktúru jaskyne na úrovni speleotopov a horizontálnu priestorovú štruktúru jaskyne na úrovni speleochor a súboru speleochor podľa členenia Bella (1998a). Namerané charakteristiky z hľadiska výpovednej hodnoty, vychádzajúc z práce Minár a kol. (2001), sme rozdelili na *pomerne stále stavové veličiny* s dlhou, niekoľkokoročnou periódou ich výraznejších zmien a na *pomerne premenlivé stavové veličiny* s krátkou, spravidla ročnou až dennou periódou ich výraznejších zmien. Spôsob terénnych meraní geoeologických veličín vychádza z metodiky integrálneho jednorazového terénneho výskumu a mapovania vo veľkých mierkach na tesserách (Minár a kol., 2001) upravenej na jaskynné prostredie. Samotné získavanie údajov sme vykonali v dvoch rovinách. V prvej rovine sme zisťovali alebo merali veličiny bežne zistiteľné priamo v teréne: typ horniny; plocha puklín zo skvapom atmosférických vôd; reprezentatívna šírka, dĺžka, výška a sklon podlahy v speleotope; typ a reprezentatívna plocha, hrúbka a dĺžka sintrovej výplne; typ, zrnitosť, vrstevnatosť a hĺbka jaskynných sedimentov; orientačný objem skvapu za daný čas; prietok pod-

zemného vodného toku; okamžitá teplota v speleotopu (0,5 m nad podlahou); približná rýchlosť prúdenia vzduchu; počet druhov a približný počet kusov speleofauny. Merania sme uskutočnili pomocou bežne dostupných technických pomôcok (geologický kompas, meracie pásmo, optický diaľkomer a sklonomer, kalibrovaný digitálny teplomer, odmernú nádobu na meranie skvapu, plavák a stopky, hydrometrovacía súprava, spojpomocne vyrobený teleskopický vrták do jaskynných sedimentov). V druhej rovine sme veličiny získané v teréne porovnali, doplnili o údaje z predchádzajúcich špecificky zameraných speleologických výskumov a prípadne sme ich interpolovali medzi speleotopmi (prietok v jaskynnom vodnom toku). V prípade parametra mechanickej zraniteľnosti sintrovej výplne (tabuľka 1, kód 6 a 7) sme stanovili a vypočítali príslušný index. Bližšie sa terénemu meraniu, výpočtu konkrétnych veličín a indexov venujeme v práci Ratkovský (2008).

- c) **Prieskum v povrchovej krajine** má za cieľ vytvorenie základnej priestorovej databázy charakteristík územia, ktoré teoreticky v najväčšej miere vplyvajú na stabilitu jaskynného geosystému. Terénnym prieskumom krajiny a vyhodnotením dostupných údajov, vychádzajúc z prác Minár a kol. (2001) a Jakál a kol. (1982), sme zisťovali vybrané morfometrické, klimatické, hydrologické, biotické a antropické charakteristiky povrchovej krajiny, ktoré v najväčšej miere vplyvajú na stabilitu Brestovskej jaskyne. Postupu získavania, merania a výpočtu jednotlivých charakteristík sa venujeme v práci Ratkovský (2008).
- d) **Súhrnné spracovanie údajov** vychádza z kvantitatívno-štatistického prístupu ku kategorizácii stability jaskynného geosystému s cieľom minimalizácie subjektívnych vplyvov pri kategorizácii stability. Základom kategorizácie je metóda geoeologickej syntézy s následným štatistickým vyhodnotením podľa Minár a kol. (2001). Matematickými postupmi sme uskutočnili redukciu prvotne získaných údajov na vstupných šestnásť veličín (tabuľka 1) na základe ich teoreticky najväčšieho vplyvu na stabilitu jaskynného geosystému. Vyhodnotenie stavových veličín sme uskutočnili prostredníctvom viacrozmerných štatistických techník v softwarovom prostredí Statgraphics 3.1 plus. Na vstupných vzájomne závislých údajoch sme najprv uskutočnili *faktorovú analýzu* a až potom sme uplatnili *zhlukovú analýzu*, ako metódu na vytvorenie priestorovej typológie stability speleotopov.
- e) **Vplyv povrchovej krajiny na vnútornú stabilitu jaskyne** v smere gravitačného prúdenia látok a energie sme uskutočnili prostredníctvom stanovenia vybraných parametrov povrchovej krajiny začlenených do troch zložiek. Váha vplyvu daných parametrov je určená na základe vzájomného párového porovnávania jednotlivých parametrov vzhľadom na veľkosť ich vplyvu na vnútornú stabilitu jaskyne. *Autochtónna zložka* predstavuje parametre infiltrácie zrážkovej a povrchovej vody do jaskyne v mieste svojho vzniku. *Alochtonna zložka* predstavuje parametre určujúce objem prísunu alochtonných povrchových vôd do jaskynného geosystému z okolitej nekrasovej krajiny. *Antropická zložka* predstavuje parametre antropických aktivít, ktoré najvýraznejšie vplyvajú na vnútornú stabilitu jaskyne.
- f) **Výsledná stabilita jaskynného geosystému** je vypočítaná ako vážený normalizovaný súčet hodnôt vnútornej stability jaskyne a vonkajšieho vplyvu povrchu na stabilitu jaskyne, pričom váhu oboch prvkov sme stanovili zhodne na hodnotu 0,5 (tabuľka 2).

Tabuľka 1 Parametre vstupujúce do hodnotenia vnútornej stability jaskyne

Zložka	Kód	Parameter	
Litologicko-tektonická	1	Obsah CaCO ₃ v hornine	[%]
	2	Plocha atmosf. vodami rozšírených puklín	[m ²]
	3	Hrúbka nadložia	[m]
Morfometrická	4	Objem speleotopu	[m ³]
	5	Sklon podlahy speleotopu	[°]
Chemogénna výplň	6	Mech. zraniteľnosť (krehkosť) kvapľov	[index]
	7	Mech. zraniteľnosť (krehkosť) sintrových kôr	[index]
Klastická výplň	8	Hrúbka fluviálnych jaskynných sedimentov	[m]
	9	Koeficient filtrácie fluv. jaskynných sedimentov	[mm. hod ⁻¹]
Vodná	10	Objem skvapu vody zo stropu	[l.deň ⁻¹]
	11	Priem. rýchlosť prúdenia podzem. vodného toku	[m.s ⁻¹]
	12	Prietok podzemného vodného toku	[m ³ .s ⁻¹]
Mikroklimatická	13	Teplotný rozdiel (povrch a speleotop)	[°C]
	14	Prúdenie vzduchu	[m.s ⁻¹]
Speleofauna	15	Počet druhov endemitov	[ks]
	16	Počet taxónov speleofauny	[ks]

Tabuľka 2 Výsledná stabilita Brestovskej jaskyne stanovená z výstupu klastrovej analýzy

Teoretická hodnota	Vnútorná stabilita jaskyne (J)	Vplyv povrchu na stabilitu (P)	Súčet (J + P)	Váha jaskyne (Vj)	Váha povrchu (Vp)	Celková stabilita jaskyne (vážený normalizovaný súčet) (J*Vj) + (P*Vp) + 29,875
Max. možná	100	40.25	140.25	0.5	0.5	100
Min. možná	0	-59.75	-59.75	0.5	0.5	0
[súčet abs. hodnôt]	100	100	200	1	1	100
Brestovská jaskyňa	52	25.95	77.95	0.5	0.5	68,85

4. BRESTOVSKÁ JASKYŇA, ZÁKLADNÉ ÚDAJE A PRIESTOROVÁ ŠTRUKTÚRA

Brestovská jaskyňa (867 m n. m.) spolu s viacerými povrchovými i ďalšími podzemnými krasovými javmi v jej okolí patrí medzi najpozoruhodnejšie geomorfologické krasové lokality v Západných Tatrách. Priestory Brestovskej jaskyne sledujú styčnú oblasť nivy Studeného potoka a prilahlých severných svahov Sivého vrchu. Do jaskyne sa ponárajú dva povrchové vodné toky (Studený potok, Volariská). Fluviokrasovou jaskyňou preteká aktívny podzemný tok s viacerými jazerami a sifónmi a nachádza sa v nej pomerne málo vyvinutá kvapľová výplň (sintrové náteky, stalaktity a drobné excentrické formy).

Brestovská jaskyňa sa vytvorila v úzkom tektonicky silne porušenom páse karbo-nátových hornín (dolomitické brekcie, gutensteinské vápence) zhora ohraničenom kryš-talinikom a zdola Podtatranskou brázdou. Hydrografický vývoj jaskyne i prilahlých ponorných prítokových vetví, nadväzoval na hydraulické gradienty medzi ponormi aloch-tónnych vôd v hlavnej doline a ich výverom v Števkovskej vyvieracke. Výrazné korózne a erózne tvary jaskynného georeliéfu sú výsledkom intenzívnej freatickej a epifreatickej, čiastočne aj vadóznej modelácie usmernenej štruktúrno-tektonickými i litologic-kými pomermi. Pozdĺžny profil podzemných priestorov vypovedá o viacfázovom vývoji jaskyne v závislosti od mladopleistocénnych fáz zahľbovania doliny Studeného potoka (Bella, 2008).

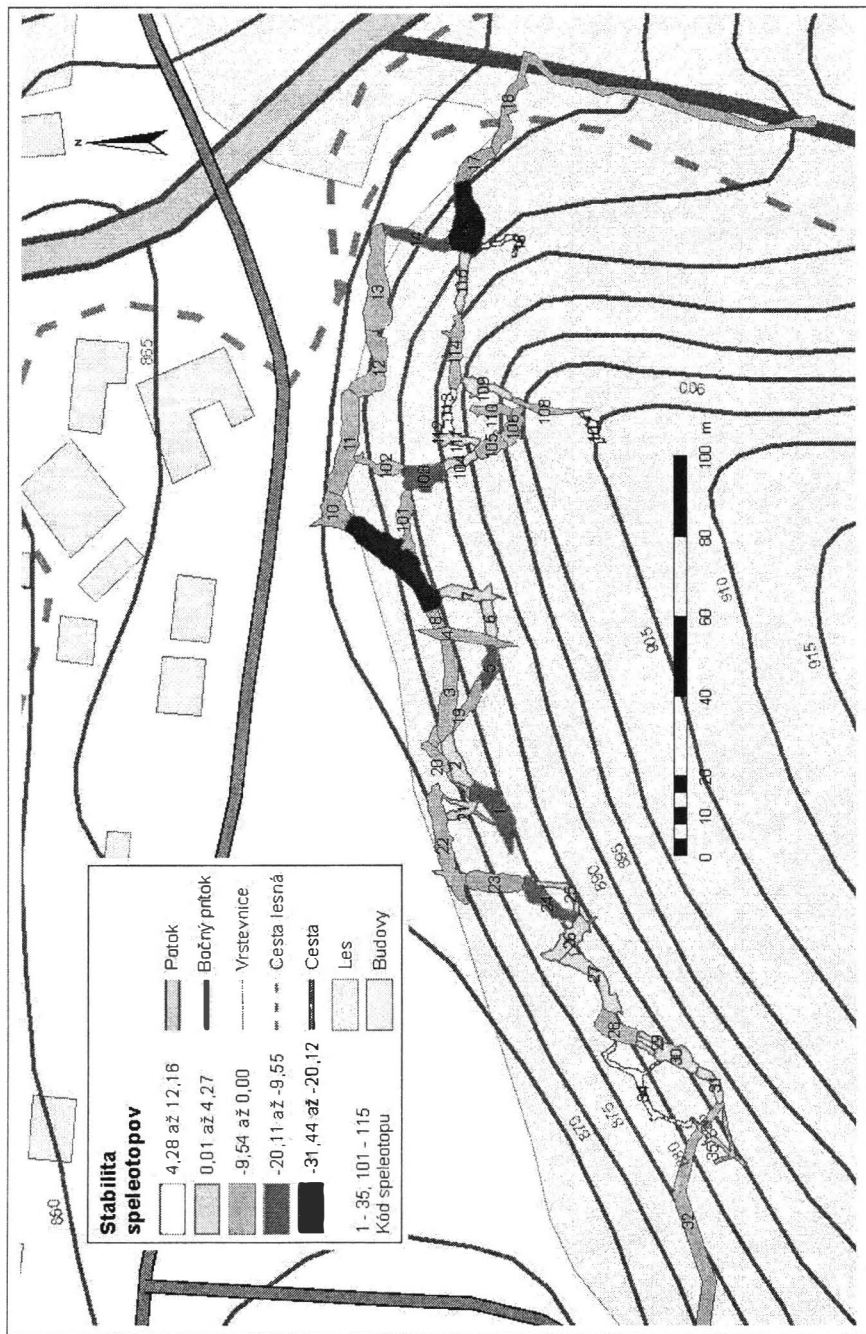
Priestorovú štruktúru Brestovskej jaskyne charakterizujú dve základné vertikálne priestorové úrovne, ktoré sú výsledkom zmeny prírodných podmienok vo vývoji jaskyne. Polohovo nižšia je tvorená speleotopmi so súčasným vodným tokom, štrkovitými sedimentmi a značne rozrušenom strope s puklinami. Vyššia, visutá úroveň nad súčasným riečištom pozostáva so speleotopov s jemnozrnnými sedimentmi a so sintrovou kvapľovou výzdobou. Vychádzajúc z Bella (1998a), v Brestovskej jaskyni môžeme na základe geoekologických charakteristík jednotlivých prírodných zložiek jaskyne vyčleniť viaceré typy speleotopov:

- a) Vstupné speleotopy s alochtónnym vodným tokom, so zachovalými dvoma úrovňami – staršej visutej neaktívnej a mladšej nižšej aktívnej so skalným dnom a s podlahovými dierami k sifónovitému riečisku
- b) Sieňovité speleotopy s divočiacim alochtónnym tokom so štrkovitými lavicami a bočnými jemnozrnnými agradačnými valmi, s dvojvrstvovými alochtónnymi sedimentami (vrchné štrkovité, spodné siltové), s výrazným skvapom cez roztvorené pukliny a s mäkkými sintrami na strope
- c) Prietokové jazerné speleotopy so sklanými prahmi a vysypanými sutinovými kuželmi zo závtov
- d) Plazivkovité speleotopy s takmer po strop vyplnenými piesčito-hlinitým alochtónnymi sedimentmi
- e) Speleotopy nad súčasným riečiskom so siltovými a ílovitými sedimentmi a so sintrovou kvapľovou a nátekovou výzdobou
- f) Úzke vertikálne (komíny a priepasti) a horizontálne speleotopy so skalnými stenami, stropom a podlahou bez jaskynnej výplne.

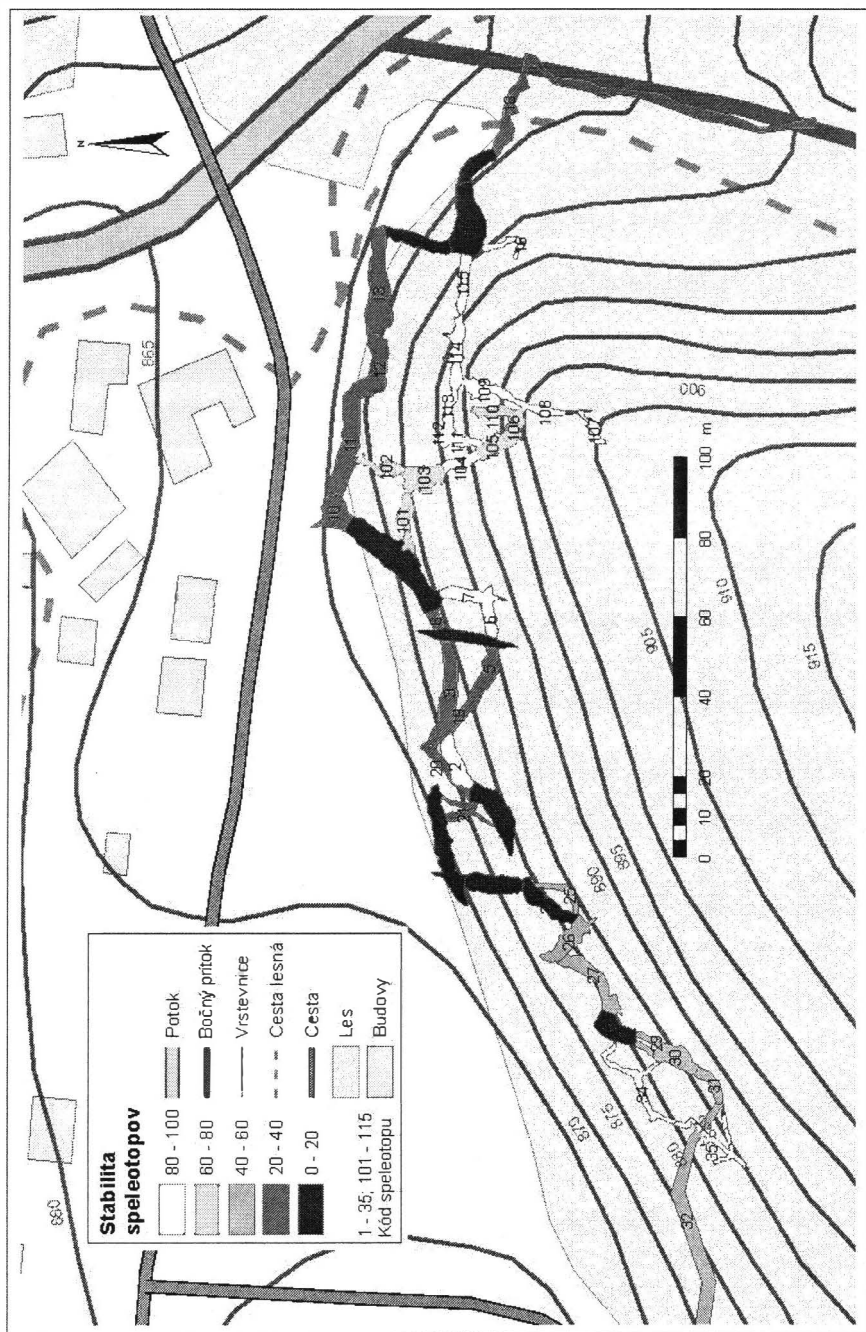
5. VNÚTORNÁ STABILITA BRESTOVSKÉJ JASKYNE

Vnútornú stabilitu chápeme ak prírodnú stabilitu jaskynného geosystému samotného bez teoreticky uvažovanej previazanosti s okolitou nadložnou povrchovou krajinou. V prípade Brestovskej jaskyne sme vnútornú stabilitu jaskyne stanovili dvoma postupmi (faktorová a klastrová analýza). Z hľadiska výpovednej hodnoty sme uprednostnili faktorovú analýzu. Vnútorná stabilita celej Brestovskej jaskyne je vypočítaná aritmetickým priemerom s hodnôt stability jednotlivých speleotopov a dosahuje absolútnu bezrozmernú hodnotu $-2,971$, z intervalu hodnôt od $+12,16$ až po $-31,44$.

Na chorickej úrovni je vnútorná stabilita Brestovskej jaskyne ovplyvnená výskytom dvoch rozdielnych speleochor, ktoré možno z hľadiska prebiehajúcich prírodných procesov určiť ako harmonický kolaterálny súbor asynchrónnych speleochor podľa členenia Bella (1998a). Prvá, aktívna fluviokrasová speleochora (spolu 35 speleotopov) s podzemným vodným tokom, s prevažne alochtónnym štrkom v koryte, s výskytom bieleho sintra na stenách a strope, s výrazným výskytom korózne rozšírených zvislých puklín sledujúcich tektonické zlomy doprevádzané výdatným skvapom najmä počas silných zrážok na povrchu, dosahuje hodnotu stability $-4,192$. Druhá, výškovo vyššie položená ($+6$ až $+10$ m oproti prvej) inaktívna fluviokrasová speleochora (spolu 15 speleotopov) s jemnozrnnými fluvialnými sedimentmi, v najvyšších polohách jaskyne s výskytom lokálnej blokovej gravitačnej výplne a s ojedinelou drobnou sintrovou výzdobou, dosahuje bezrozmernú hodnotu stability $-0,121$.



Obrázok 1 Vnútroňná stabilita Brestovskej jaskyne vypočítaná z faktorovej analýzy 1 až 35; 101 až 115 – kódy (ID) speleotopov v jednotlivých speleochorach



Obrázok 2 Vnútrotná stabilita Brestovskej jaskyne vypočítaná z klustrovej analýzy 1 až 35; 101 až 115 – kódy (ID) speleotopov v jednotlivých speleochorach

Na úrovni speleotopov bola najvyššia stabilita, s hodnotou 12,16, stanovená v speleotope (ID 112; obrázok 1), bez akejkoľvek sintrovej a vodnej výplne. Stabilita je v tomto prípade podporená pomerne malým objemom speleotopu okolo 25 m³, a špecifickým objemom 6,9 m³.m⁻¹ a aj sedimentačnou siltovou výplňou na dne s priemernou filtráciou 0,216 mm.hod⁻¹. Morfológického hľadiska sa jedná o takmer kolmú priepasť hlbokú 8 m, so šírkou 1,5 m a dĺžkou 3,5 m. Takmer zvislé steny priepasti sú tvorené svetlosivým dolomitom s približným obsahom CaCO₃ okolo 60%. V poradí druhá najvyššia hodnota stability 8,94, je priradená speleotopu (ID 33; obrázok 1), ktorý predstavuje vyvierajúca. Posledný speleotop v zmysle v smere gravitačného prúdenia látok a energie je vytvorený v zlepencových brekciách s približným obsahom CaCO₃ 50 %. Vyznačuje sa neprítomnosťou žiadnej sintrovej výzdoby a silnou piesčitou sedimentačnou výplňou dna a prúdiacim podzemným vodným tokom s priemernou rýchlosťou 0,31 m.s⁻¹ a prietokom 123,6 l.s⁻¹ (Haviarová, 2008), ktorý vyúsťuje do povrchového vodného toku v smerekom lese.

Najnižšia stabilitu s hodnotou -31,44 predstavuje speleotop (ID 15; obrázok 1), ktorý možno označiť ako rozsiahlu sieň (Sieň potápačov) s celkovým objemom okolo 650 m³ a špecifickým objemom 41,1 m³.m⁻¹ (priemer jaskyne 125,8 m³ a 7,2 m³.m⁻¹), do ktorého ústi prvý prítokový sifón. Stabilita je v tomto prípade obmedzená viacerými faktormi, najmä však výraznými a rozsiahlymi tektonickými poruchami s priemernou šírkou korodovaných puklín 0,25 m a s celkovou svetlosťou puklín okolo 4 m². Prostredníctvom takmer kolmých puklín (72°, azimut 196° podľa Vlček, Psotka, 2008) do speleotopu priteká skvapová voda s objemom približne 1 000 l.deň⁻¹. Prietok pritekajúceho vodného podzemného toku dosahuje hodnotu 168,4 l.s⁻¹ s priemernou rýchlosťou vodného toku 0,21 m.s⁻¹ (Haviarová, 2008). Vysoké zastúpenie sintrových nátekových kôr a mäkkého bieleho sintru na stenách a strope speleotopu, s plochou výzdoby okolo 30 m² sintrovej kôry, je vyjadrené výsledným indexom krehkosti sintrových kôr 161,1 (priemer jaskyne 14,36). V speleotope sa nachádzajú zväčša drobné stalaktity s priemerom 0,02 m a dĺžkou 0,1 m, ktoré spolu zaberajú plochu približne 3 m² s výsledným indexom krehkosti sintrových kvapľov 12,5 (priemer jaskyne 4,92). Obdobne veľmi nízku a takmer rovnakú hodnotu stability -31,12 dosahuje speleotop (ID 9; Sieň Brodňanského; obrázok 1) s rovnakými prírodnými charakteristikami, napríklad celkovým objemom okolo 1 200 m³, približnou plochou sintrových kôr 30 m², indexom krehkosti sintrových kôr 148, skvapom okolo 250 litrov za deň, približným prietokom podzemného vodného toku 140 l.s⁻¹ a približnou priemernou rýchlosťou toku vody v koryte okolo 0,25 m.s⁻¹ a pod.

6. VÝSLEDNÁ STABILITA BRESTOVSKÉJ JASKYNE

Výslednú stabilitu Brestovskej jaskyne sme stanovili zohľadnením vplyvu prírodných a antropických vlastností povrchovej krajiny a procesov pôsobiacich v smere gravitačného toku látok a energie na vnútornú stabilitu jaskynného geosystému. Pri stanovení výslednej stability jaskyne vychádzame z vypočítanej vnútornej stability jaskynného geosystému (so stavových veličín charakterizujúcich stav v geosystéme) a z následného hodnotenia miery vplyvu parametrov povrchovej krajiny na jaskyňu. Cieľom výpočtu vplyvu parametrov povrchovej krajiny na vnútornú stabilitu jaskyne je stanovenie

miery celkového vplyvu vyjadrenej celkovým percentuálnym podielom jednotlivých zložiek s následným sčítaním čiastkových hodnôt, čím získame výsledný percentuálny vplyv na jaskyňu ako celok. Výsledná hodnota vplyvu povrchu na jaskyňu nadobúda hodnoty na intervale od $-59,75$ až do $+40,25$ % (súčet absolútnych hodnôt je rovný 100 %), pričom záporné hodnoty vyjadrujú záporný (-) a kladné hodnoty kladný (+) vplyv daného parametra povrchovej krajiny na jaskyňu. Asymetrickosť krajných intervalových hodnôt je daná počtom zvolených parametrov s kladným (6) a zo záporným (10) vplyvom na stabilitu jaskyne.

Výsledná stabilita Brestovskej jaskyne, vypočítaná z vyššie uvedeného postupu prostredníctvom klastrovej analýzy, dosiahla po zohľadnení vonkajšieho vplyvu povrchovej krajiny hodnotu 68,85 %. Vyjadrenie výslednej stability Brestovskej jaskyne na základe faktorovej analýzy je možné len sčasti a to udaním vypočítanej absolútnej bezrozmernej zápornej hodnoty $-2,971$, ktorá vyjadruje len vnútornú stabilitu jaskyne. Predpokladáme, že uvedená absolútna hodnota zodpovedá hodnote pod hranicou 50 %, vzhľadom na zápornú hodnotu blízku nule. Po empirickom získaní najvyšších a najnižších hodnôt v jaskyniach s predpokladanou absolútne najvyššou a s absolútne najnižšou hodnotou vnútornej stability je možné vypočítať presný percentuálny podiel vnútornej stability ďalších jaskýň aj prostredníctvom faktorovej analýzy.

Celkový súhrnný výsledok pôsobenia fyzickogeografických charakteristík získaných z podrobného speleologického a geoeologického výskumu a súhrnného záverečného spracovania výsledkov zahrňujúci vplyv parametrov povrchovej krajiny, možno zhrnúť do nasledovných konštatácií. Z meraných charakteristík má najväčší vplyv na stabilitu jaskyne, vzhľadom na množstvo toku látok do geosystému, alochtóny podzemný tok pretekajúci jaskyňou v dĺžke 1 250 m s prietokovými maximami až do $1\ 000\ \text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ pri topení snehu (Haviarová, 2008) s priemerným pričným profilom koryta v speleotope okolo $1,25\ \text{m}^2$ a priemernou hĺbkou 0,3 m. Ako veľmi významná sa javí pomerne veľmi tenká hrúbka (priemerne okolo 20 m) nadložných karbonátových paleogénnych zlepcov a výrazné štruktúrne tektonické poruchy s úklonom 74° , smerom úklonu 210° (podľa meraní Vlček, Psoška, 2008) a s priemerným koróznym rozšírením puklín 0,25 m, ktoré sú sprevádzané skvapom na 16 miestach (32 % speleotopov) s celkovým objemom okolo $4700\ \text{l}\cdot\text{deň}^{-1}$. Významný je tiež proces prepadávania krásových závrtoch do jaskyne na dvoch miestach v Riečnej chodbe. Ako najzraniteľnejšie prvky jaskyne sa preto javia: sintrová výzdoba (brčká, stalaktity, tenké podlahové sintrové kôry a mäkký biely sinter) a geomorfologicky vzácne drobné formy jaskynného reliéfu (pendanty, okrajové senilné riečne sedimentárne lavice). Mikroklimaticky sú najzraniteľnejšie horné inaktívne chodby v statickom pásme jaskyne, kde $T_{\text{priem.}} = 5,4 \pm 0,2\ ^\circ\text{C}$ podľa meraní Zelinka (2008), vzhľadom na uvažované sprístupnenie jaskyne a prípadné zvýšenie množstvo vydychovaného CO_2 , ktoré by výrazne narušilo jeho prirodzenú koncentráciu 0,06 až 0,1 % (podľa meraní Zelinka, 2008) v pomerne malom speleotope s priemerným objemom okolo $60\ \text{m}^3$ z celkového objemu približne $730\ \text{m}^3$ v uvažovanej speleochore. Z povrchových antropických činiteľov na stabilitu jaskyne vplýva neďaleká 50 m vzdialená cesta 3. triedy a štrkom spevnené parkovisko prináležiace k Múzeu oravskej dediny s kapacitou okolo 150 parkovacích miest. Ako prírodný prvok podporujúci stabilitu jaskyne sa javí smrekový les rastúci na priľahlých svahoch s generálnym úklonom 29° . Les výrazne tlmí rýchlu filtráciu zrážkovej vody v území, kde ročný úhrn zrážok predstavuje 986 mm (Zelinka, 2008). Navyše tlmenie rýchlosti filtrácie je posilnené ílovito hlinitým pôdnym druhom v podloží, s 10 cm hrubou ílovitou vrstvou v hĺbke 40 cm.

Mechanicky silný uzáver vchodu do jaskyne možno tiež považovať za prvok podporujúci najmä stabilitu ojedinele sa vyskytujúcej krasovej výzdoby jaskyne.

7. ZÁVER

Stanovenie stability Brestovskej jaskyne vychádza z geosystémového vnímania jaskyne ako súčasti krasovej krajiny. Ťažisko postupu spočíva v speleologickom a geoeekologickom výskume a mapovaní elementárnych priestorových jednotiek jaskyne, speleotopov. V práci sme položili dôraz na speleologický a geoeekologický výskum Brestovskej jaskyne a súhrnné štatistické spracovanie získaných údajov. Vnútna prírodná stabilita speleotopov Brestovskej jaskyne, uplatnením faktorovej analýzy, dosahuje bezrozmerné hodnoty v rozmedzí +12,16 (jaskynná priepasť bez sintrovej a vodnej výplne) do -31,44 (jaskynná sieň s rozsiahlou plochou sintrovej výzdoby, výrazne tektonicky porušená nadložná hornina, silný skvap vody zo stropu, objemný prietok alochtónneho podzemného vodného toku). Vnútna stabilita Brestovskej jaskyne ako celku, použitím faktorovej analýzy, dosahuje bezrozmernú hodnotu -2,97. Súhrnná kvantifikácia autochtónnej, alochtónnej a antropickej zložky vplyvu povrchovej krajiny na jaskyňu predstavuje hodnotu +25,95 % (z teoretického rozpätia hodnôt od -59,75 do +40,25 %). Celková výsledná stabilita Brestovskej jaskyne použitím výstupov z klastrovej analýzy dosahuje hodnotu 68,85% (z teoretického rozpätia hodnôt 0 až 100 %).

Pod'akovanie

Za cenné podnety ďakujem RNDr. Pavlovi Bellovi, PhD., a prof. RNDr. Jozefovi Minárovi, CSc.

Tento článok vznikol v rámci riešenia projektu „Geoekologické mapovanie a typológia jaskynných geosystémov“ s čiastočnou finančnou podporou grantu Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave pre doktorandov č. 5/2009.

Literatúra

- BELLA, P. 1992. Klasifikácia negatívnych antropogénnych zásahov v krasovej krajine na Slovensku. *Slovenský kras*, roč. 30, Liptovský Mikuláš, 1992, 57-73.
- BELLA, P. 1998a. Priestorová a chronologická štruktúra jaskynných geosystémov, základné teoreticko-metodologické aspekty. *Slovenský kras*, roč.36, Liptovský Mikuláš, 1998, 7-34.
- BELLA, P. 1998b. Morfológické a genetické znaky Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Aragonit*, roč. 3, Liptovský Mikuláš : ŠOP SR Správa slovenských jaskýň, 1998, 3-7.
- BELLA, P. 1999. Topické a chorické jaskynné geosystémy, ich časovo-priestorové zmeny, stabilita a ochrana. *Teoreticko-metodologické problémy geografie, príbuzných disciplín a ich aplikácie*. Univerzita Komenského Bratislava, 1999, 75-83.
- BELLA, P. 2005. Antropogénne vplyvy na fungovanie a invariantné zmeny jaskynných geosystémov. Zmeny v štruktúre krajiny ako reflexia súčasných spoločenských zmien v strednej a východnej Európe. Zborník referátov z III. medzinárodného geografického kolokvia (Danišovce, 9.–10. 11. 2005). Košice : Ústav geografie Prírodovedeckej fakulty Univerzity P. J. Šafárika, 2005, 15-22.

- BELLA, P. 2008. Geomorfologické pomery Brestovskej jaskyne. In BELLA, P. (ed.): Brestovská jaskyňa v Západných Tatrách. *Slovenský kras*, roč. 46, suppl. 1, Liptovský Mikuláš : ŠOP SR, Správa slovenských jaskýň, 2008, 25-54.
- HAVIAROVÁ, D. 2008. Základné hydrogeochemické pomery a režim vôd Brestovskej jaskyne. In BELLA, P. (ed.). Brestovská jaskyňa v Západných Tatrách. *Slovenský kras*, roč. 46, suppl. 1, Liptovský Mikuláš : ŠOP SR Správa slovenských jaskýň, 2008, 67-80.
- HIPMAN, P. 1989. Poznatky o prúde vzduchu v horských dynamických jaskyniach. *Československý kras*, roč. 40, Praha : Academia, 1989, 7-36.
- HOCHMUTH, Z. 1995. Mapovanie jaskýň. Liptovský Mikuláš, 1995, 80.
- JAKÁL, J. a kol. 1982. Praktická speleológia. Martin : Osveta, 1982, 384.
- JAKÁL, J. 1986. Krasová krajina ako špecifický prírodný geosystém. *Slovenský kras*, roč. 24, Liptovský Mikuláš, 1986, 3-26.
- JAKÁL, J. 2002. Krasová krajina, jej vlastnosti a odolnosť voči antropickým vplyvom. *Geografický časopis*, roč. 54, č.4, Bratislava, 2002, 381-392.
- MÍCHAL, I. 1992. Ekologická stabilita. Brno : Veronica, 1992, 244.
- MIKLÓS, L., IZAKOVIČOVÁ, Z. 1997. Krajina ako geosystém. Bratislava, 1997, 152 s.
- MINÁR, J. a kol. 2001. Geoekologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach. *Geografické spektrum* 3. Bratislava, 2001, 209 s.
- PIASECKI, J., SAWIŃSKI, T., STRUG, K., ZELINKA, J. 2006. Selected characteristics of microclimate of the Demänovská ice cave (Slovakia). In. 2nd international workshop on ice caves. (Demänovská dolina, Slovak republic, May 8 – 12, 2006). Liptovský Mikuláš : ŠOP SR Správa slovenských jaskýň, 2006, 50-61.
- RATKOVSKÝ, Š. 2008. Kategorizácia stability jaskynných geosystémov na príklade Brestovskej jaskyne. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, 2008. 135 – Diplomová práca.
- RUŽIČKA, M., HRNČIAROVÁ, T. 1995. Metóda klasifikácie ekologickej stability krajiny. *Životné prostredie* 5/1995, 249-254.
- TREMBOŠ, P. a kol. 1998. Ekologická stabilita krajiny v katastrálnom území Dolná Trnávka. *Geografické informácie* 5, Nitra, 1998, 209-216.
- VLČEK, L., PSOTKA, J. 2008. Geológia Brestovskej jaskyne. In BELLA, P. (ed.). Brestovská jaskyňa v Západných Tatrách. *Slovenský kras*, roč. 46, suppl. 1, Liptovský Mikuláš : ŠOP SR Správa slovenských jaskýň, 2008, 5-24.
- ZELINKA, J. 2008. Prvé výsledky mikroklimatického monitoringu v Brestovskej jaskyni. In BELLA, P. (ed.). Brestovská jaskyňa v Západných Tatrách. *Slovenský kras*, roč. 46, suppl. 1, Liptovský Mikuláš : ŠOP SR Správa slovenských jaskýň, 2008, 87-96.

Evaluation geocological stability of the Brestovská jaskyňa Cave

Summary

Cave geosystem are appreciated as specific geocological geosystems in the lithosphere. Their spatial differentiation is caused by properties of physicalgeographical sphere components. Stability of cave geosystem depends on the type of anthropological intervention in cave geosystem, of the internal nature stability speleotops and the value of speleotops in complex time – space structure of cave geosystem. General purpose method is quantification geocological stability cave geosystems. We assume the speleological and geocological research basic units, speleotops, for the most important original informational basis for the geocological stability caves map creation. The research partly adjusted composes of method onetime integral research and mapping in great measures (Minár et al., 2001) need for caves environs.

We can resume the results to next claims. We used last results of speleological research and polygon compass surveying of the Brestovská jaskyňa Cave. We realized speleological and geoecological terrain research of the Brestovská jaskyňa Cave and statistical summary data processing. Internal natural stability of speleotopes the Brestovská jaskyňa Cave is by factor analysis in interval non-dimensional values from +12,16 (cave abyss consists of: small-values, without of sinters and of water) to -31,44 (cave hall consists of: the most large volume and sinter area, massive tectonics breaking hanging karst rock, strong drip water and flow swallet). Whole internal nature stability of the Brestovská jaskyňa Cave by application of cluster analysis is 52 % and by application of factor analysis is -2,971 (non-dimensional value). Summary quantification autochthonous, allochthonous and anthropogenic impacts is 25,95 % (theoretical interval values from -59,75 to + 40,25 %). Result stability of the Brestovská jaskyňa Cave by application of cluster analysis is 68,85 %.