

GEOMORFOLOGICKÉ FAKTORY PRIESTOROVEJ DIFERENCIÁCIE, ČASOVÝCH A ČASOPRIESTOROVÝCH ZMIEN JASKYNNÝCH GEOSYSTÉMOV

PAVEL BELLA*

Pavel Bella: Geomorphological factors of spatial differentiation, time and time-spatial changes of cave geosystems. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 11, 2011, 2, 4 figs., 3 tabs., 49 refs.

Geomorphological forms belong to the major differentiating factors of spatial structure and diversity of cave geosystems. From a geomorphological point of view the spatial structure of cave geosystems hierarchically consists of speleomorphotopes (geomorphologically basic quasi homogenic units of topic dimension), speleomorphochores (consist of two or more adjoining speleomorphotopes linked by recent or former horizontal relations, relative homogenic units of choric dimension) and sets of speleomorphochores (adjoining speleomorphochores associated to actual or relict functional units of a higher hierarchy level of choric dimension). Time and time-spatial changes of cave geosystems are interpreted by seasonal regime or etocycles of geomorphological processes, successional dynamics conditioned by a geoecological invariant, evolution with an alternation of geoecological invariants and a change of spatial structure. Considering geomorphological attributes the spatial diversity of cave geosystems is qualified based on different morphometric, morphological, genetic and morphodynamic features of cave passages and other segments of speleorelief. The delineation and typology of speleomorphotopes is the fundament for a determination of spatial diversity of cave geosystems. The time variability of cave geosystems is mainly given by a number or frequency of changes of geomorphological processes.

Keywords: karst geomorphology, geoecology, speleology, cave environment, spatial structure and diversity, regime of geomorphological processes, successional dynamics, cave evolution

ÚVOD

Jaskyne ako špecifické prírodné geosystémy, viažuce sa na podzemné priestory prírodného pôvodu v hornej časti litosféry, sú výrazne odlišné od krajinných systémov na zemskom povrchu. Jaskynný georeliéf, resp. speleoreliéf, ktorý predstavuje skalný povrch materských hornín, ako aj povrch sedimentov a iných pevných výplní, je jedným z hlavných diferenciačných faktorov jaskynného prostredia (podobne na zemskom povrchu georeliéf ako jeden z vedúcich faktorov vplýva na priestorovú diferenciáciu krasovej krajiny; pozri JAKÁL 1986). Mnohé jaskyne sa skladajú z rozdielnych častí, ktoré sa navzájom odlišujú morfometriou, morfológiou, genézou či súčasnými geomorfologickými procesmi, čo je prejavom priestorovej diverzity, časových a časopriestorových zmien jaskynných geosystémov.

Predložený príspevok poukazuje na základné teoreticko-metodologické prístupy, ktoré z geomorfologického hľadiska umožňujú skúmať a posudzovať priestorovú diferenciáciu, časové a časopriestorové zmeny jaskynných

geosystémov. Morfológia podzemných priestorov nielenže odráža litologické a štruktúrno-tektonické podmienky ich vzniku a vývoja, ale aj usmerňuje chod niektorých ďalších prírodných procesov v jaskyniach (odvažovanie a zosúvanie gravitačných klastických sedimentov, prúdenie vody a transport fluvialných sedimentov, sezónne zmeny prúdenia vzduchu vo vertikálne členitých dynamických jaskyniach, stagnáciu ťažšieho studeného vzduchu v slepých priepaťovitých alebo nadol sklonených dutinách, tvorbu niektorých podlahových aj stropných, resp. stenových foriem sintrovej výplne a pod.). Tvary a priestorové usporiadanie podzemných dutín vplývajú aj na vlastnosti niektorých fyzicko-geografických zložiek jaskynného prostredia, napr. rozloženie sedimentárnych útvarov, podzemných jazier či biotopov jaskynnej fauny. Preto poznatky o geomorfologických pomeroch v jaskyniach sú dôležité z geovedného i environmentálneho hľadiska. Na základe morfogeografického prístupu skúmania jaskynných geosystémov možno hodnotiť aj ich priestorovú diverzitu a časovú variabilitu.

* Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, e-mail: bella@ssj.sk

Pedagogická fakulta KU, Katedra geografie, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok; e-mail: bella@ku.sk

ZÁKLADNÉ TEORETICKO-METODOLOGICKÉ PRÍSTUPY

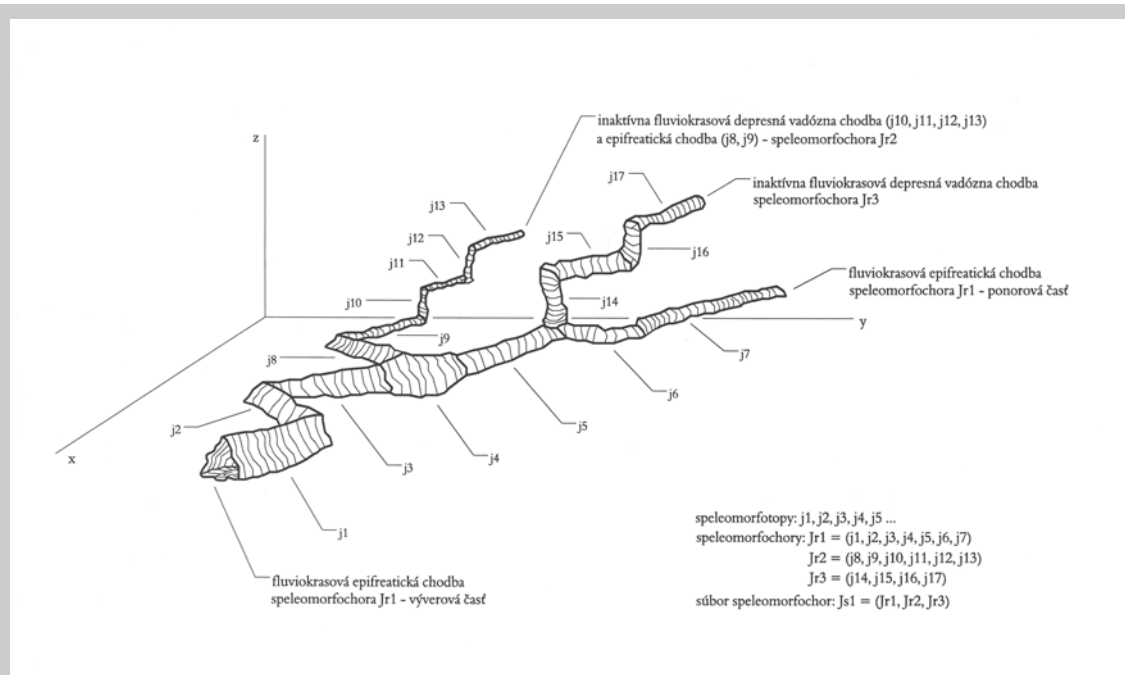
Vychádzajúc zo základnej koncepcie geoeologického výskumu jaskynných geosystémov sa pri skúmaní ich priestorovej štruktúry vymedzujú elementárne geoeologické jednotky, ktoré vzájomným usporiadaním vo viacerých hierarchických úrovniach (na základe súčasných alebo bývalých susedských vzťahov) vytvárajú väčšie priestorové jednotky (BELLA 1998 a 2008). Priestorová štruktúra vyjadruje priestorové a hierarchické usporiadanie jednotiek vymedzených na základe ich kvázi homogénnych a relatívne homogénnych znakov.

Z dimenzionálneho hľadiska elementárne geoeologické jednotky zväčša predstavujú topické geosystémy. Okrem primárne homogénnych jednotiek (úzko chápaných monomorfnych geotopov) elementárnymi geoeologickými jednotkami, ktoré tvoria základ štruktúrnej hierarchie väčších jednotiek (MINÁR 1996), môžu byť aj gradientovo homogénne jednotky (trendové geotopy s homogenitou sledovaných parametrov v určitom smere), jednoduché heterogénne jednotky (paradynamický súbor jednoducho usporiadaných homogénnych jednotiek spojených spravidla rovnomerou usmerneným tokom látky a energie, ktoré v danej mierke vzhľadom na svoju veľkosť nemožno samostatne mapovať) alebo mozaikové heterogénne jednotky s pravidelným striedaním homogénnych alebo jednoduchých heterogénnych jednotiek, ktoré sú v danej mierke rozsahom nemapovateľné alebo na hranici mapovateľnosti

a pritom vzájomne málo kontrastné, navyše bez rovnomerého usmernenia toku látky a energie (MINÁR 1998 a MINÁR et al. 2001). Zo susediacich topických geosystémov sa skladajú geosystémy chorickej dimenzie. V priestore sú zákonite usporiadané do skupín ako dôsledok pôsobenia vzájomných vzťahov (HAASE 1980).

Z geoeologického hľadiska priestorovú diverzitu jaskyne vyjadruje rozmanitosť, resp. rôznorodosť typov topických a chorickej jednotiek (z hľadiska ich obsahu i tvaru), ktoré tvoria jej priestorovú štruktúru. Na základe rovnakého prístupu (povrchová časť krajiny predstavuje priestorový súbor viacerých typov geoeosystémov) sa určuje krajinná diverzita (FORMAN a GORDON 1993, MIKLÓS a ŠPINEROVÁ 2010 a iní). Priestorová štruktúra jaskynných geosystémov odráža prírodné podmienky a procesy, ktoré podmienili ich vznik a určovali ich vývoj. Vyčlenenie topických jednotiek jaskynného prostredia, ktoré sa navzájom odlišujú podľa parciálnych a komplexných geoeologických znakov, je základným východiskom na určovanie priestorovej diverzity jaskynných geosystémov.

Jaskynné geosystémy sa menia v čase, najmä v závislosti od sezónnych zmien prírodných procesov, čo zodpovedá režimu, resp. rytmike a sezónnym etocykľom geosystémov (NEEF et al. 1973, BERUČAŠVILI 1986 a iní). Časová variabilita geosystému vyjadruje premenlivosť, resp. oscilácie od jeho normálneho alebo priemerného stavu. Dlhodobejšia dynamika sukcesívnych zmien podmienená geoeologickým



Obr. 1 Vyčleňovanie speleomorfotopov, speleomorfochór a súborov speleomorfochór (BELLA 2006)

invariantom má tendenciu dosiahnuť ekvifinálny stav geosystému (SOČAVA 1978, DEMEK 1987, MIČIAN 2008). V rámci dlhších časových úsekov sukcesívny rad je súčasťou oscilácií dynamickej rovnováhy. Medzi rovnovážnymi stavmi, ako aj v rámci rovnovážnych stavov existujú zmeny správania sa geosystémov (OLDFIELD 1983, PHILLIPS 1995 a iní). Sukcesívne dynamické zmeny geosystému sa zvyčajne podieľajú na príprave zmeny jeho priestorovej štruktúry. Najdlhšie sú vývojové rady evolučných zmien jaskynných geosystémov, ktoré súvisia aj so zmenou ich priestorovej štruktúry (DEMEK 1987, MIČIAN 2008).

PRIESTOROVÁ ŠTRUKTÚRA A DIVERZITA JASKYNNÝCH GEOSYSTÉMOV

SPELEOMORFOTOPY – ZÁKLADNÉ PARCIÁLNE JEDNOTKY PRIESTOROVEJ ŠTRUKTÚRY

Speleomorfotopy sa definujú ako parciálne trojdimenzionálne jednotky jaskynného georeliéfu, kvázi homogénne z hľadiska morfológie, morfológie, genézy, ako aj pôsobenia súčasných geomorfologických procesov, t. j. vyznačujúce sa určitou morfometrickou, morfogenetickou i morfodynamickou homogenitou (BELLA 1995a, 1998 a 2006, **Obr. 1**). Speleomorfotopy sa zväčša skladajú z niekoľkých parciálnych povrchov (steny a ich morfológie odlišné časti, strop, podlaha a pod.). Keďže jaskynný georeliéf je jedným z hlavných diferenciačných faktorov jaskynného prostredia, hranice speleomorfotopov do značnej miery signalizujú hranice speleotopov ako komplexných fyzicko-geografických jednotiek.

V závislosti od mierky mapy elementárnymi morfogeografickými jednotkami, ktoré tvoria základ štruktúrnej hierarchie väčších jednotiek (v nadväznosti na MINÁRA 1998), okrem monomorfných speleomorfotopov (rúrovitá freatická alebo vadózna kaňonovitá chodba, oválna vertikálna studňa, lineárna rozsadlinová chodba a pod.) sú aj gradientové speleomorfotopy (napr. šikmá chodba postupne zväčšujúca svoje rozmery, pričom narastá aj hrúbka podlahových gravitačných sedimentov), jednoduché heterogénne jednotky paradynamického súboru s usmerneným tokom látky a energie (napr. krivolňák alebo kaskádovitá chodba s veľkou početnosťou vertikálnych alebo horizontálnych ohybov na krátkej vzdialenosti) aj mozaikové heterogénne jednotky (napr. horizontálna inaktívna fluviokrasová chodba s podlahou narušenou závrťovitými depresiami, freatická chodba so slepými komínovitými výbež-

kami alebo menšími odtokovými podlahovými dierami a pod).

Rozlišujúc veľkostné dimenzie jaskynného georeliéfu (pozri MALKOV et al. 2001) speleomorfotopy, tvoriace chodby, siene a dómy, predstavujú mezoreliéf. Na ich stenách, stropoch a podlahách, t. j. na parciálnych povrchoch speleomorfotopov, sa vytvárajú menšie geomorfologické tvary (pozri SLABE 1995, LAURITZEN a LUNDBERG 2000), ktoré prislúchajú mikroreliéfu (stropné kupoly, stropné, stenové alebo podlahové korytá a pod.), nanoreliéfu (skalné diery) až pikoreliéfu (napr. lastúrovité jamky, angl. *scallops*).

Z komplexného geomorfologického hľadiska sa ku každému speleomorfotopu vzťahujú: (1) morfometrické údaje – dĺžka, sklon, smer sklonu, vertikálne rozpätie, povrch, objem a merný objem; (2) morfogenetické údaje – morfológický a genetický typ, výskyt výraznejších drobných tvarov jaskynného georeliéfu; (3) morfochronologické údaje – fázovitost' vývoja, postupnosť a časové obdobie vytvárania speleogénnych tvarov, vek jaskynných výplní; (4) morfodynamické údaje – druh, frekvencia a charakter intenzity súčasného dominujúceho a podružného geomorfologického procesu. Priraďujúc údaje na polohovo určené speleomorfotopy sa tvorí ucelená georeferencovaná geomorfologická databáza o jaskyni (BELLA 2006).

Morfometricky sa speleomorfotopy ako priestorové jednotky jaskynného prostredia charakterizujú viacerými lineárnymi, plošnými aj objemovými ukazovateľmi (ŠUSTERŠIČ 1979, 1980, DUBLJANSKIJ et al. 1981, 1987, JAKOPIN 1981, GORAN 1991, 1992, BELLA 1995a), ktoré umožňujú kvantitatívne hodnotiť morfológickú členitosť jaskýň. V závislosti od litologických a štruktúrno-tektonických pomerov a charakteru morfogenetických procesov sa rozlišujú rozličné morfológické tvary a rôznorodé genetické typy speleomorfotopov, vznikajúce v jednej alebo vo viacerých vývojových fázach (**Tab. 1**). Chodby s asymetrickým priečnym rezom (elipsovitém, štrbinovitým), ktoré LJACHNICKIJ (2001) nazýva „ploskosymetrické“, sa zvyknú deliť podľa horizontálneho, diagonálneho alebo vertikálneho smeru pozdĺžnej osi (LLOPIS-LLADÓ 1970, VENI 2005 a iní). Pri vyhraničovaní speleomorfotopov treba brať do úvahy aj súčasné geomorfologické procesy, ktoré vytvárajú a modelujú skalné povrchy materských hornín alebo akumulácie jaskynných výplní (**Tab. 2**). Morfometrická, morfogenetická, morfochronologická aj morfodynamická rôznorodosť speleomorfotopov v jaskyni je odrazom diferencovaných podmienok a procesov jej vzniku a vývoja, čo sa prejavuje stupňom priestorovej diverzity jaskyne.

**SPELEOMORFOCHÓRY A SÚBORY
SPELEOMORFOCHÓR – JEDNOTKY
PRIESTOROVEJ ŠTRUKTÚRY VYMEDZENÉ
NA ZÁKLADE HORIZONTÁLNYCH VZŤAHOV**

Skúmajúc horizontálnu štruktúru jaskynných geosystémov sa na základe horizontálnych vzťahov vyčleňujú relatívne homogénne chórické jednotky vo viacerých hierarchických úrovniach. Speleomorfochóra je súbor viacerých príbuzných speleomorfortopov navzájom prepojených jednosmerným tokom vody (**Obr. 1**) či inými morfogenetickými procesmi (logický sled speleomorfortopov tvoriaci parady namický rad, resp. katénu, BELLA 2009a). V rámci speleomorfochóry zvyčajne dominuje jeden geomorfologický proces (napr. chemická a mechanická činnosť podzemného vodného toku, ktorý zahľbuje riečisko a transportuje flu-

viálne sedimenty alebo pri malom spáde meandruje a usadzuje splavované sedimenty). Pri posudzovaní geomorfologických vzťahov MINÁR (2000) rozlišuje historickú (genetickú) a súčasnú (morfodynamickú) priestorovú interakciu segmentov georeliéfu. Preto za speleomorfochóry možno považovať aj inaktívne fluviokrasové jaskyne, resp. úseky jaskýň, ktoré sa vytvorili bývalým vodným tokom.

V nadväznosti na morfogenetickú typológiu jaskýň (FORD 1977, resp. FORD a EWERS 1978) možno v rámci fluviokrasových jaskýň rozlíšiť aktívnu a inaktívnu klesajúcu vadóznu speleomorfochóru (strmá alebo kaskádovitá chodba vytvorená ponorným vodným tokom v závislosti od hydraulického gradientu medzi ponorom a eróznou bázou v jaskyni), hlbokofreatickú speleomorfochóru, kombinovanú speleomorfochóru s freatickými slučkami a epi-

| Kritérium | Typ speleomorfortopu |
|---|--|
| Morfometria | horizontálny speleomorfortop |
| | vertikálno-horizontálny speleomorfortop (kaskádové jaskyne s prevládajúcimi horizontálnymi časťami, LJACHNICKIJ 2001) |
| | horizontálno-vertikálny speleomorfortop (kaskádové jaskyne s prevládajúcimi vertikálnymi časťami, LJACHNICKIJ 2001) |
| | vertikálny speleomorfortop |
| Morfológický tvar | rúrovitá chodba (freatická, parafreatická) |
| | elipsovité chodba (freatická – v priečnom reze pozdĺžne horizontálna, diagonálna alebo vertikálna) |
| | oválno-meandrová chodba (freaticko-vadózna chodba s „key-hole“ profilom) |
| | úzka meandrová chodba (s hlbokým vadóznym zárezom) |
| | širšia viacfázovo zahľbovaná chodba s bočnými korytami |
| | nízka chodba so zarovnaným stropom (strop je širší ako výška chodby) |
| | vysoká chodba so zarovnaným stropom (výška chodby je väčšia ako šírka stropu) |
| | nízka chodba so zarovnanou podlahou, epifreatickými bočnými zárezmi a meandrami (podlaha je širšia ako výška chodby) |
| | vysoká chodba so zarovnanou podlahou (výška chodby je väčšia ako šírka podlahy) |
| | trojuholníková chodba so zarovnaným stropom <i>Laugdecken</i> a šikmými stenami <i>Facetten</i> |
| | viachranatá chodba (šikmá, lichobežníkovitá a pod.) |
| | úzka štrbinová chodba (v priečnom reze pozdĺžne horizontálna, diagonálna alebo vertikálna; nahor alebo nadol vyklíňujúca sa) |
| | slepý komín (priamy, špirálovitý, dendritický) |
| | priepasť (stupňovitá priepasť, studňa) |
| sieň, dóm (centrický, symetricky pozdĺžny, vysoký pozdĺžny, nízky pozdĺžny) | |
| Genetický typ | disolučný, disolučno-rútivý speleomorfortop |
| | disolučný hydrotermálny, sulfúrický speleomorfortop |
| | fluviokrasový, fluviokrasovo-rútivý speleomorfortop |
| | fluviálny ablačný, geotermálne ablačný speleomorfortop |
| | rozsadlinový, rozsadlinovo-rútivý, rozsadlinovo-medzibalvanový speleomorfortop |
| | fluviokrasovo-rozsadlinový speleomorfortop |
| | sufózný, sufóžno-rútivý speleomorfortop |
| | medzibalvanový speleomorfortop |
| | vyvetraný speleomorfortop (výmrazový, vyvetraný soľným zvetrávaním) |
| | eolický speleomorfortop (korázný, deflačný, korážno-deflačný) |
| | lávový tunelový speleomorfortop |
| vulkanický vnútrokráterový speleomorfortop | |
| Etapovitost' vývoja | jednofázový speleomorfortop |
| | viacfázový speleomorfortop (koincidenčný, aincidenčný) |

Tab. 1 Základné typy speleomorfortopov (BELLA 1998 a 2002, upravené)

**Geomorfologické procesy vytvárajúce a modelujúce skalné povrchy materských hornín
(v glaciálnych jaskyniach ablačné kanály vytvorené v ľade)**

| Endogénne procesy | | | |
|--|--|--|---|
| Tektonické pohyby a zemetrasenie | zlomové pohyby | disjunktívne pohyby kontrakčné pohyby | |
| | vrásnenie | | |
| Magmatické procesy | procesy intruzívneho magmatizmu | | |
| | procesy extruzívneho magmatizmu – vulkanické | vytečenie lávy z efuzívnej lávovej formácie pokles lávy v prírodných cestách na povrch | |
| | procesy | uvolňovanie a únik vulkanických exhalácií | |
| | | injektáže lávy a deformácie nerovnomerne tuhúcich lávových pokrovov | |
| | | odkvapkávanie a stekanie lávy | |
| | seizmické otrasy a deformácie hornín pri vulkanických explóziách | | |
| Geotermálne exhaláčne procesy | ablácia ľadu vulkanickými exhalátmi | | |
| Geotermálne hydrogénné procesy | korózia rozpustných hornín hydrotermálnymi vodami hlbinného pôvodu | | |
| | ablácia ľadu geotermálnou vodou | | |
| Geotermálne atmo-hydrogénné procesy | geotermálne podmienená kondenzačná korózia | | |
| Endogénno-exogénne procesy | | | |
| Hydrogénné procesy | zmiešaná korózia vôd hlbinného hydrotermálneho a atmosférického pôvodu | | |
| Atmo-hydrogénné procesy | kondenzačná korózia spôsobená geotermálnymi vodami | | |
| Magma-hydrogénné procesy | korózia zintenzívnená výronmi vulkanogénnych plynov | | |
| Exogénne procesy | | | |
| Litogénne procesy (vo vzťahu k litosfére, nie v rámci vzniku hornín; pozri MINAR 1996) | pripovrchové litogénne procesy | vyvetranie hornín vyrútenie časti hornín exfoliácia skalné rútenie | |
| | hlbšie podpovrchové litogénne procesy | svahovogravitačné procesy vzlak spôsobený evaporitovým diapirizmom dekompresné pohyby hornín | |
| | litogénne procesy v podzemných priestoroch | rútenie hornín | |
| | Hydro-litogénne procesy | gravitačné procesy | tečenie tekutých zemín |
| | | absorpčné procesy | hydratácia solvatácia |
| Hydrogénné procesy | mechanické procesy | splach fluviaálne procesy sufózia príbojová abrázia | |
| | | chemické procesy | korózia akumulácia chemogénnych sedimentov |
| | | chemicko-mechanické procesy | fluviookrasové (koróžno-erózne) procesy príbojová abrázia rozrušujúca rozpustné horniny egutácia na rozpustných horninách |
| | Hydro-glaciálne procesy | ablácia ľadu spôsobená fluviaálnym procesom | |
| | Kryogénne procesy | mrazové procesy | regelácia |
| glaciálne procesy | | glaciálne dislokačné pohyby | |
| Atmogénne procesy | eolické procesy | | |
| | sublimácia | | |
| Atmo-hydrogénné procesy | kondenzačná korózia | | |
| | korózia pozdĺž vystupujúcich vzduchových bublín | | |
| Pyrogénne procesy | horenie | | |
| Biogénne procesy | zoogénne procesy | akvatické procesy terestrické procesy | |
| | | fytogénne a mikrobiálne procesy | terestrické procesy |
| | Hydro-biogénne procesy | biokorózia | |
| Antropogénne procesy | mechanické antropogénne procesy „in situ“ | exkavácia | |
| | mechanické procesy iniciované antropogénne | gravitačné antropogénne iniciované procesy | |
| | | termické antropogénne iniciované procesy | |
| | chemické procesy iniciované antropogénne | likvácia solvatácia | |

Tab. 2 Geomorfologické procesy v jaskyniach (BELLA 2009a, upravené)

Geomorfologické procesy vytvárajúce a modelujúce akumulácie jaskynných výplní

| Endogénne procesy | | |
|---------------------------------------|---|---|
| Tektonické pohyby a zemetrasenie | | |
| Exogénne procesy | | |
| Litogénne procesy | litogénne procesy v podzemných priestoroch | rútenie a opadávanie materskej horniny gravitačný trhlinový rozpad, odvalovanie a zosúvanie hlinených blokov |
| Hydro-litogénne procesy | gravitačné procesy | tečenie tekutých zemín |
| | | poklesávanie a tlaková deformácia zaplavovaných sedimentov |
| | exsikácia – vysušovanie hornín | dehydratácia |
| koagulačné fyzikálno-chemické procesy | | |
| Hydrogénne procesy | mechanické procesy | splach |
| | | stružková a výmolvá erózia |
| | | fluviálne procesy |
| | | sufózia |
| | | egutácia |
| | chemické procesy | korózia |
| | chemicko-mechanické procesy | akumulácia chemogénnych sedimentov |
| | | fluviokrasové (koróznno-erózne) procesy |
| | | príbojová abrázia rozrušujúca rozpustné sedimenty |
| egutácia na rozpustných horninách | | |
| Hydro-glaciálne procesy | glaciáluviálne procesy | |
| | ablácia ľadu spôsobená fluviálnym procesom | |
| | ablácia ľadu spôsobená egutáciou | |
| Kryogénne a glaciálne procesy | mrázové procesy | regelácia |
| | glaciálne procesy | akumulácia ľadovej výplne |
| | | glaciálne dislokačné pohyby |
| | | deformácie spôsobené tlakom ľadu |
| niválne procesy | akumulácia snehovej výplne | |
| Atmogénne procesy | eolické procesy | |
| | sublimácia ľadu | |
| Biogénne procesy | zoogénne procesy | akvatické procesy |
| | | terestrické procesy |
| | fytogénne procesy | terestrické procesy |
| Hydro-biogénne procesy | biokorózia | |
| | tvorba kalcitovej výplne v súčinnosti s biogénnymi procesmi | |
| Antropogénne procesy | mechanické antropogénne procesy „in situ“ | exkavácia |
| | | nasypávanie horninového materiálu |
| | | rozrušovanie povrchu jemných klastických sedimentov |
| | antropogénne iniciované gravitačné procesy | opadávanie a rútenie častí hornín |
| | | zoslúvanie klastických sedimentov |
| | antropogénne iniciované termické procesy | poklesávanie a stekanie vodou nasiaknutých jemných klastických sedimentov |
| glaciálne ablačné procesy | | |

Pokračovanie Tab. 2

freatickými horizontálnymi úsekmi pozdĺž voľnej vodnej hladiny a epifreatickú horizontálnu speleomorfochóru pozdĺž vodnej hladiny (chodba jaskynnej úrovne s podzemným vodným tokom hydrograficky vytvorená v závislosti od polohy eróznej bázy vyvierajúcej). Ďalej sa vyčleňujú fluviálne ablačné speleomorfochóry podľaadvocových jaskýň, lávové prúdové speleomorfochóry v syngenetických vulkanických tunelových jaskyniach (tunely po žeravej láve vytečenej spod stuhnutej stropnej kôry) a niektoré ďalšie typy speleomorfochór (BELLA 2006, **Tab. 3**). Jednotlivé typy speleomorfochór možno detailnejšie triediť podľa vertikálnej a horizontálnej členitosti a fázovitosti ich vývoja.

Rozsiahlejšie jaskyne sa zvyčajne skladajú z viacerých speleomorfochór – súborov speleomorfochór (**Obr. 1**). Zväčša v smere bývalého alebo súčasného prúdenia vody vytvárajú rozličné spájajúce a rozvetvujúce sa hydrologické siete – konvergentné (dendritické) a divergentné (inverzné dendritické) štruktúry, resp. kombinované konvergentno-divergentné štruktúry. Hydrografické siete možno ďalej kategorizovať podľa spôsobu usporiadania línií odtoku vody, resp. tvaru hydrologických sietí (HOWARD 1967 a iní) či pôdorysných štruktúr labyrintových jaskýň (HOWARD 1971, PALMER 1975

a 1991). Komplikovanú konvergentno-divergentnú pôdorysnú štruktúru majú najmä sieťové, anastomózne i spongiovité labyrintové jaskyne. Problematiku klasifikácie morfológických typov jaskýň z hľadiska vertikálnej členitosti a štruktúrnych tvarov sumarizuje BELLA (1995b).

Synchrónny súbor speleomorfochór sa skladá zo speleomorfochór, ktoré sa vytvárali v jednej vývojovej fáze (napr. klesajúca vadózna speleomorfochóra, ktorá za ponorovou zónou v strednej časti alogénnych stredohorských jaskynných systémov súvisle pokračuje kombinovanou speleomorfochórou s freatickými slučkami a epifreatickými horizontálnymi úsekmi vytvorenými pozdĺž voľnej vodnej hladiny). Asynchrónny súbor speleomorfochór sa vytváral vo viacerých vývojových fázach (napr. viaceré jaskynné úrovne nad sebou tvoriace sa postupne v závislosti od etapovitého zahlbovania príľahlej doliny, každá jaskynná úroveň predstavuje samostatnú speleomorfochóru).

Harmonické súbory speleomorfochór sa skladajú zo speleomorfochór vytvorených rovnakými morfofenetickými procesmi, disharmonické súbory zo speleomorfochór vytvorených odlišnými morfofenetickými procesmi.

| Genetický typ | Morfofenetický typ | Etapovitost' vývoja |
|--|--|-------------------------|
| Fluviokrasová primárna speleomorfochóra aktívna, inaktívna | fluviokrasová klesajúca vadózna | jednofázová, viacfázová |
| | fluviokrasová horizontálna epifreatická | jednofázová, viacfázová |
| | fluviokrasová sífónovitá freatická | |
| | fluviokrasová freaticko-vadózna | viacfázová |
| Fluviokrasová sekundárna speleomorfochóra aktívna, inaktívna | fluviokrasová vadózna korelatívna | jednofázová, viacfázová |
| | fluviokrasová vadózna akorelatívna | jednofázová, viacfázová |
| Kombinovaná fluviokrasová speleomorfochóra | primárna fluviokrasová freatická inaktívna speleomorfochóra s úsekom (úsekmi) sekundárnej fluviokrasovej vadóznej speleomorfochóry | viacfázová |
| Korózná speleomorfochóra aktívna, inaktívna | vadózna | |
| | epifreatická | |
| | freatická | |
| Hydrotermálna speleomorfochóra aktívna, inaktívna | plytká hydrotermálna | jednofázová, viacfázová |
| | hlboká hydrotermálna | |
| Sulfurická speleomorfochóra aktívna, inaktívna | subaerická dendritická alebo komínovitá | |
| | epifreatická horizontálna | jednofázová, viacfázová |
| Rozsadinová speleomorfochóra | rozsadinová speleomorfochóra svahových blokových zosuvov | |
| | rozsadinová speleomorfochóra gravitačne narušených príkrovových trosiek | |
| Sufózná speleomorfochóra | | |
| Lávová tunelová speleomorfochóra | | jednofázová, viacfázová |

Tab. 3 Základné typy speleomorfochór (BELLA 1998, doplnené)

**PRIESTOROVÁ DIVERZITA JASKYNNÝCH
GEOSYSTÉMOV – RÔZNORODOSŤ
TOPICKÝCH A CHÓRICKÝCH JEDNOTIEK
PRIESTOROVEJ ŠTRUKTÚRY**

Priestorovú diverzitu jaskynných geosystémov, ktorá z geoeologického hľadiska vyjadruje rozmanitosť typov speleotopov v rámci vybranej jaskyne, možno určiť pomocou zaužívaného Shannonovho indexu variability:

$$H = -\sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln(p_i) \quad p_i = \frac{n_i}{N}$$

n_i – počet speleotopov i-teho typu, N – celkový počet speleotopov, s – počet typov speleotopov, p_i – pravdepodobnosť výskytu i-teho typu speleotopu. Podobne možno kvantifikovať rozmanitosť geoeologických a iných typov jaskýň v určitej územnej jednotke.

Z geomorfologického hľadiska index variability vyjadruje početnosť a rozsah zastúpenia jednotlivých typov speleomorfofotopov (prípadne aj gradientových, jednoduchých heterogénnych alebo mozaikových elementárnych morfogeografických jednotiek v nadväznosti na MINÁRA 1998), resp. speleomorfochór a súborov speleomorfochór v rámci určitej jaskyne, resp. súboru jaskýň.

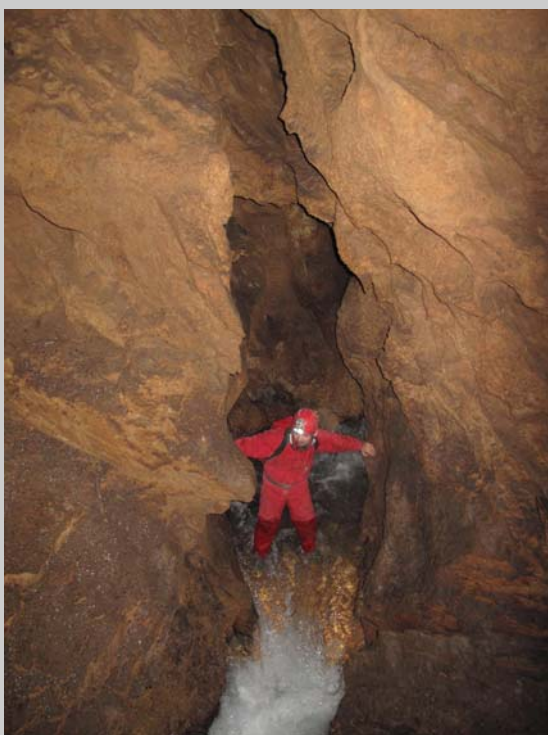
Morfologicky a geneticky medzi jaskyne s vysokou priestorovou diverzitou patria viac-

násobné vertikálno-horizontálne alebo horizontálno-vertikálne jaskyne, ktoré zahrňujú podzemné priestory vytvorené vo vadóznej, epifreatickej i freatickej zóne s odlišnými morfológickými tvarmi (freatickými sifónovými úsekmi, epifreatickými subhorizontálnymi a horizontálnymi chodbami, paragenetickými chodbami so stropnými korytami, vadóznymi klesajúcimi až kaskádovitými chodbami, bočnými slepými chodbami vznikajúcimi povodňovými penetráciami pozdĺž puklín a pod.), v pokročilom štádiu vývoja navyše na mnohých miestach remodelované rútením. Nižšiu priestorovú diverzitu majú jaskyne, ktoré vývojovo prislúchajú iba jednej hydrografickej zóne alebo morfogenetického procesu, najmä ak nie sú morfológicky členité (napr. puklinová vadózna korózna jaskyňa, nerozvetvená horizontálna fluviokrasová jaskyňa, lineárna rozsadlinová jaskyňa).

S priestorovou diverzitou súvisí miera entropie (neusporiadanosti), ktorá v prípade fyzickogeografických systémov vyjadruje mieru ich priestorovej diferenciacie (KRCHO 1976).

**ČASOVÉ A ČASOPRIESTOROVÉ
ZMENY JASKYNNÝCH
GEOSYSTÉMOV**

Stavy mnohých jaskynných geosystémov sa menia postupnými zmenami ich fungovania, najmä v závislosti od striedania ročných období, alebo invariantnými zmenami ich základnej funkčnej štruktúry. Fungovanie jaskynného geosystému sa vzťahuje na súčasné prírodné procesy v podzemných priestoroch a ich vzájomné spolupôsobenie alebo ovplyvňovanie. V krasových územiach fungovanie jaskynného geosystému s podzemným vodným tokom vo freatickej zóne určujú morfogenetické procesy späté s tlakovým prúdením vody, koróziou skalných stien (postupné vytváranie rúrovitých kanálov s vertikálnymi slučkami, stropných kupolovitých vyhlbenín), sčasti aj transportom a akumuláciou fluvialných sedimentov. Fungovanie jaskynného geosystému s podzemným vodným tokom v epifreatickej zóne udávajú morfogenetické procesy, ktoré sa viažu na prúdenie vody s koróziou a mechanickou eróziou materskej horniny pozdĺž vodnej hladiny (postupné vytváranie meandrovitých zárezov a bočných korýt), ako aj s transportom a akumuláciou fluvialných sedimentov. Navyše nad vodnou hladinou sa prejavuje priesak atmosférických vôd s tvorbou sintrovej výplne. Vo vadóznej zóne s priesakom zrážkových vôd nastáva korózne rozširovanie stropných puklín, tvorba sintrovej výplne, splavovanie jemných sedimentov, ako aj vyhlbovanie egutačných jamiek kvapkajúcou vodou a odtokových kanáli-



Obr. 2 Vadózne zahlbovanie podlahového riečiska v Drienovskej jaskyni, Slovenský kras, Foto: P. Bella

kov odvádajúcich priesakovú vodu. Pozdĺžne nevyrovnané podzemné vodné toky vo vadóznej zóne vyhlbujú v závislosti od hydraulického gradientu klesajúce až kaskádovité chodby, často kaňonovitého charakteru (**Obr. 2**).

RYTMIKA GEOMORFOLOGICKÝCH PROCESOV A ETOCYKLY JASKYNNÝCH GEOSYSTÉMOV

V dôsledku vysokej krasovej priepustnosti, zmeny prietoku podzemných vodných tokov a zaplavovanie jaskýň úzko súvisia s množstvom a rozdelením zrážok, jarným topením snehu a zmenami prietoku povrchových vodných tokov. Časový priebeh a intenzita priesaku atmosférických vôd do jaskynných priestorov závisia od rozdelenia a množstva zrážok na zemskom povrchu. Vstupné časti jaskýň v chladných oblastiach mierneho klimatického pásma sezónne premŕzajú v zimnom období.

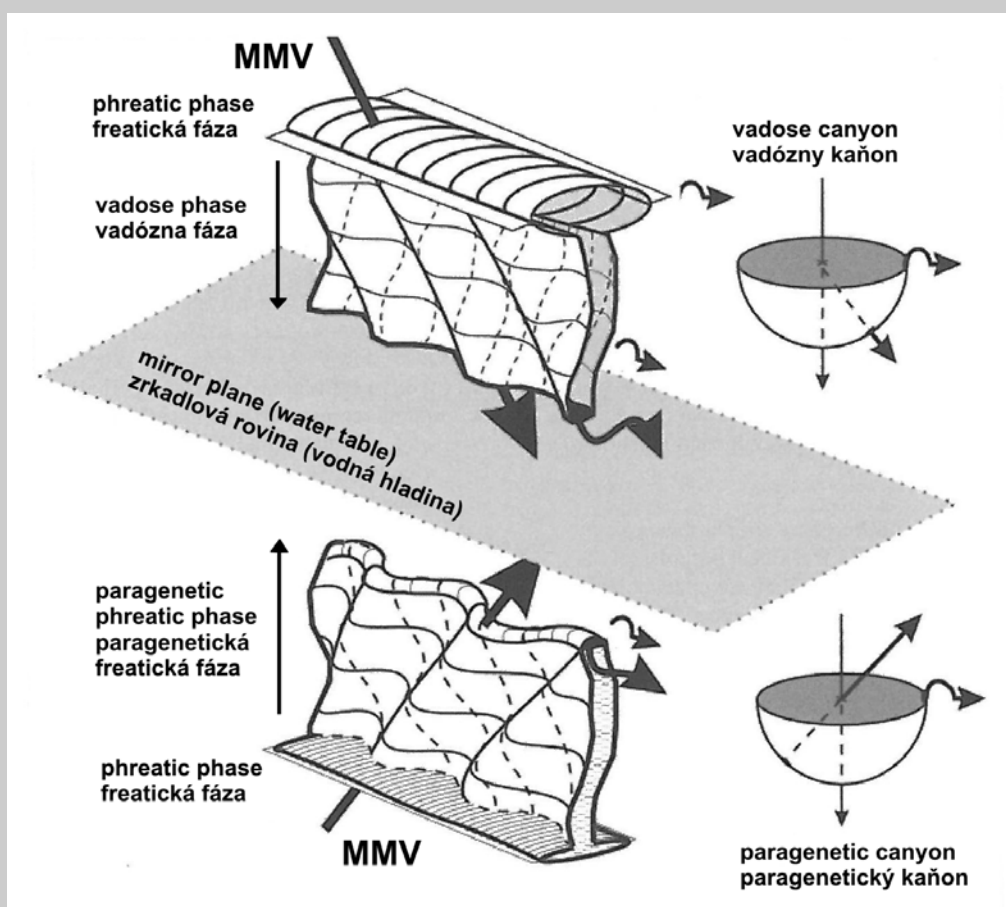
V rámci sezónnych etocyklov (pozri BE-RUČAŠVILI 1986) sa geomorfologické procesy v krasových jaskyniach najviac viažu na hydrogéne „steksy“, ktoré zahŕňajú expluviálne priesakové a prietokové „steksy“ (v závislosti od rozdelenia zrážok počas roka), ako aj

postniválne priesakové a prietokové „steksy“ (v závislosti od jarného topenia snehu). Modelácia niektorých korózných tvarov sa vzťahuje na „steksy“ kulminovania a poklesávania vodnej hladiny jazier. Výrazné sezónne hydrogéne prietokové „steksy“ sú aj v podľadovcových ablačných jaskyniach.

GEOMORFOLOGICKÉ INVARIANTNÉ ZMENY SUKCESÍVNEJ DYNAMIKY JASKYNNÝCH GEOSYSTÉMOV

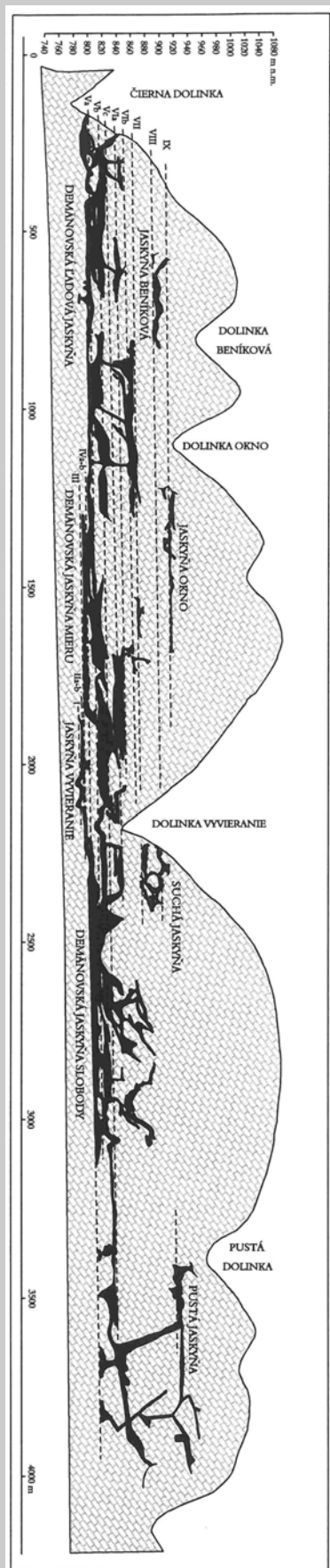
Invariantné zmeny funkčnej štruktúry jaskynného geosystému spôsobujú dlhodobý rad jeho sukcesívnych zmien smerujúcich k ekvifinálnemu stavu, resp. v rámci oscilácie dynamickej rovnováhy. Z geomorfologického hľadiska zmeny sukcesívnej dynamiky jaskynných geosystémov nadväzujú na invariantné zmeny hydrografických zón v rámci postupného vývoja podzemného krasu v nadväznosti na zahlbovanie dolín alebo ich agradačné vyplňanie sedimentmi.

Vo freatických podmienkach prebieha aktívna fáza vytvárania jaskynnej chodby, v rámci ktorej sa iniciálne kanáliky turbulentným



Obr. 3 Vývoj vadóznej a paragenetickej kaňonovitej chodby, MMV – vektor migrácie meandra (LAURITZEN a LAURITSEN 1995)

Obr. 4 Jaskynné úrovne v Demänovskej doline (DROPPA 1966, 1972, upravené BELLA et al. 2011)



prúdením vody postupne rozširujú do širších oválnych chodieb. Invariantným poklesom hladiny podzemnej vody následkom zníženia e-rózy bázy v nadväznosti na zahĺbenie doliny, keď v jaskyni vznikne voľná hladina vody, za freatickou sukcesívnou dynamikou nasleduje fáza epifreatickej modelácie jaskynnej chodby. Po stranách riečisk sa vytvárajú bočné korytá, na úrovni stagnujúcej vodnej hladiny laterálne zárezy, prípadne až zarovnané stropy. Ďalším poklesom hladiny podzemnej vody až pod úroveň podlahy jaskynnej chodby sa začína sukcesívna vadózna fáza remodelácie pôvodnej fluviálne modelovanej chodby, výlučne v aerických podmienkach s priesakom zrážkových vôd, tvorbou sintrovej výplne, odvetrávaním až rútením narušených skalných stropov.

V úsekoch, kde podzemný vodný tok steká v závislosti od hydraulického gradientu k hladine podzemnej vody, zahlbovaním podlahového kanála, resp. riečiska sa vytvára vadózna kaňonovitá chodba. Ak sa následkom agradačného vyplnenia doliny sedimentmi zdvihne hladina podzemnej vody, strop zaplavenej vadóznej chodby sa zarezáva odspodu nahor, čím vzniká paragenetické stropné koryto až paragenetická kaňonovitá chodba (Obr. 3).

V pobrežných oblastiach zmeny hydrografických zón, na ktoré sa viažu rozdielne morfo-genetické procesy modelácie jaskýň, v pleistocéne podmienili glacieustatické zmeny morskej hladiny. Niektoré „blue holes“ na Bahamách sa považujú za ponorené *cenotes*, resp. vadózne šachty, ktoré vznikli počas posledných ľadových dôb, keď morská hladina bola o 100 až 120 m nižšie ako v súčasnosti. Koncom ľadových dôb sa zaplavili v dôsledku stúpania morskej hladiny (MYLROIE et al. 1995).

GEOMORFOLOGICKÝ VÝVOJOVÝ RAD EVOLÚCIE JASKYNNÝCH GEOSYSTÉMOV

Niektoré tzv. viacnásobné jaskyne (WHITE 1988) sa skladajú z výrazných horizontálnych alebo subhorizontálnych chodieb v rozdielnych výškových úrovniach, ktoré sa vytvorili vo viacerých vývojových štádiách v nadväznosti na prerušované zahlbovanie dolín spojené s poklesnutím hladiny podzemnej vody (epifreatická fáza vývoja jaskynnej chodby po vadóznom zahĺbení) alebo agradáciu dolín fluviálnymi sedimentmi spojenú so zvýšením hladiny podzemnej vody (paragenetická freatická fáza vývoja jaskynnej chodby). Postupný vývoj jaskynných úrovní sa koreluje s vývojom riečnych terás v príľahlých častiach krasových i nekrasových území (Obr. 4); názorným príkladom sú jaskynné úrovne v Demänovskej doline na severnej strane Nízkych Tatier a riečne terasy v ústí Demänovskej doliny a strednej časti Lip-

tovskej kotliny (DROPPA 1966 a 1972, BELLA et al. 2011).

**ČASOVÁ VARIABILITA JASKYNNÝCH
GEOSYSTÉMOV – PREMENLIVOSŤ RYTMICKÝCH
A SUKCESÍVNYCH ZMIEN**

Časovú variabilitu jaskynných geosystémov, ktorá vyjadruje premenlivosť, resp. oscilácie ich fungovania od normálneho alebo priemerného stavu či dynamickej rovnováhy, možno hodnotiť aj na základe početnosti, resp. frekvencie zmien geomorfologických procesov. Vyššia časová variabilita geosystémov prislúcha jaskyniam, ktoré sú v územiach s pokročilým štádiom skrasovatenia a nachádzajú sa v oblastiach výrazných sezónnych klimatických zmien počas roka, najmä mierneho klimatického pásma. Vysoká priepustnosť hornín umožňuje rýchle vnikanie ponorných alochtónnych vôd do jaskýň, pričom sú sčasti alebo úplne zaplavované. So zmenou prietoku sa mení chemizmus vôd, vplývajúci na rozpúšťanie hornín, zvyšuje sa intenzita erózie riečiska a transportu fluvialných sedimentov. V závislosti od časového rozdelenia zrážok počas roka a jarného topenia snehu sa mení aj priesak zrážkových vôd do jaskýň s krasovatením horninového nadložia a splavovaním povrchových sedimentov. Vo vstupných častých jaskýň, ktoré v zimnom období premfzajú, sa materské horniny rozrušujú mrazovým zvetrávaním. Sezónne zmeny sa výrazne prejavujú aj v jaskyniach monzúnových oblastí.

Priebeh a intenzitu niektorých geomorfologických procesov môžu viac či menej ovplyvňovať aj antropogénne zásahy v jaskyni a jej okolí (napr. zrýchlenie priesaku a odtoku vody po odlesnení alebo nevhodnom poľnohospodárskom využívaní územia, odvodňovaného do jaskyne, spomalenie prúdenia a zdržanie vody v podzemných nádržkách s nadmernou akumuláciou splavovaných sedimentov, zvýšenie chemickej agresivity vôd priemyselnými exhalátmi, odpadovými vodami či agrochemikáliami, premfzanie jaskyne v dôsledku zmeny prúdenia vzduchu medzi jaskyňou a vonkajším ovzduším). Invariantné antropogénne zmeny jaskynných geosystémov sa viažu na dlhodobé až trvalé zaplavenie vadóznej časti jaskyne vplyvom vzdušnej vodnej hladiny po vybudovaní vodnej nádrže pri jaskyni alebo prehradením jaskyne na zachytávanie vody pre elektrárňu. Opačným prípadom je odvodnenie freatickej jaskyne následkom zníženia hladiny podzemných vôd po vyrazení tunelov, zahlbení lomov alebo iných terénnych zárezov na povrchu krajiny, prípadne aj zahlbením riečiska vo výverovej časti jaskyne (BELLA 2008).

ZÁVER

Morfologické tvary podzemných priestorov, najmä chodieb, siení a dómov, patria medzi hlavné diferenciačné faktory jaskynného prostredia. Z geomorfologického hľadiska sa priestorová diverzita jaskynných geosystémov vzťahuje na početnosť a rozsah zastúpenia jednotlivých typov speleomorfotopov, speleomorfochór a súborov speleomorfochór. Časová variabilita zodpovedá početnosti, resp. frekvencii zmien pôsobenia geomorfologických procesov. Výraznejšia časová variabilita, rytmika a sezónne etocykly jaskynných geosystémov súvisia najmä so sezónnym režimom hydrologických procesov, ktoré súčasne vplývajú aj na geomorfologické procesy viažuce sa na priesak a prúdenie vody.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VEGA č.1/0468/09 „Diverzita, variabilita a geoekologická stabilita jaskynných geosystémov“

LITERATÚRA

- BELLA, P. (1995a). Cave as a Morphogeographic System and Evaluation of Spatial Differentiation of Underground Geosystems. In Bella, P., ed. *Caves and Man, Proceedings of International Symposium (Demänovská dolina – Jasná, Slovak Republic, 4–8. October 1994)*. Knižné centrum, Žilina – Liptovský Mikuláš, 30 – 38.
- BELLA, P. (1995b). Princípy a teroreticko-metodologické aspekty klasifikácie morfologických typov jaskýň. *Slovenský kras*, 33, 3 – 15.
- BELLA, P. (1998). Priestorová a chronologická štruktúra jaskynných geosystémov. Základné teroreticko-metodologické aspekty. *Slovenský kras*, 36, 7 – 34.
- BELLA, P. (2002). Základná morfogenetická klasifikácia jaskynného georeliéfu. *Geomorphologia Slovaca*, 2, 1, 19 – 27.
- BELLA, P. (2006). Jaskynný georeliéf – priestorová hierarchická štruktúra a základné speleogeomorfologické atribúty. *Slovenský kras*, 44, 23 – 53.
- BELLA, P. (2008). *Jaskyne ako prírodné geosystémy – geoekologický výskum a environmen-*

- tálna ochrana. ŠOP SR, SSJ, Liptovský Mikuláš – Knižné centrum, Žilina, 167 s.
- BELLA, P. (2009a). Geomorfologické a geologické katény v jaskyniach – základná koncepcia a metodologické prístupy. *Geographia Cassoviensis*, 3, 2, 23 – 27.
- BELLA, P. (2009b). Geomorfologické procesy v jaskyniach. *Slovenský kras*, 47, 1, 5 – 39.
- BELLA, P., HERCMAN, H., GRADZIŃSKI, M., PRUNER, P., KADLEC, J., BOSÁK, P., GŁAZEK, J., GAŚSIOROWSKI, M., NOWICKI, T. (2011). Geochronológia jaskynných úrovní v Demänovskej doline, Nízke Tatry. *Aragonit*, 16, 1 – 2, 64 – 68.
- BERUČAŠVILI, N. L. (1986). *Četyre izmerenija landšafta*. Mysľ, Moskva, 182 p.
- DEMEK, J. (1987). *Úvod do štúdia teoretickej geografie*. SPN, Bratislava, 248 p.
- DROPPA, A. (1966). The correlation of some horizontal caves with river terraces. *Studies in Speleology*, 1, 186 – 192.
- DROPPA, A. (1972). Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. *Slovenský kras*, 10, 9 – 46.
- DUBLJANSKIJ, V. N., ILJUCHIN, V. V., LOBANOV, J. E. (1981). Morfometričeskíe ukazovateli karstovych polostej. *Peščery*, 18, Perm, 85 – 94.
- DUBLYANSKY, V. N., ILYUKHIN, V. V., LOBANOV, Y. E. (1987). Some Problems of Karst Morphometry. *Studies in Speleology*, 7, Newbury, 17 – 22.
- FORD, D. C. (1977). Genetic Classification of Solutional Cave Systems. In Ford, D. C., ed. *Proceedings of the 7th International Speleological Congress (Sheffield, United Kingdom, 1977)*. International Union of Speleology - British Cave Research Association, Bridgewater - Somerset, 189 – 192.
- 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, 11, 1783 – 1789.
- FORMAN, T. T. R., GODRON, M. (1993). *Krajinná ekologie*. Academia, Praha, 583 p.
- GORAN, C. (1991). La spéléométrie des cavités et des réseaux souterrains. Les paramètres spéléométrique: définition et utilisation. *Travaux de l'Institut de Spéologie „Émile Racovitză“*, 30, Bucharest, 129 – 158.
- GORAN, C. (1992). La configuration et le développement spatial des cavités et des réseaux karstiques. La géométrie des cavités et des réseaux karstiques. *Theoretical and Applied Karstology*, 5, Bucharest, 13 – 65.
- HAASE, G. (1980). Izučeniye topičeskich i choričeskich struktur, ich dinamiki i razvitija v landšaftnyh sistemach. In Preobraženskij, V. S., Haase, G., eds. *Struktura, dinamika i razvitje landšaftov*. Nauka, Moskva, 57 – 81.
- HOWARD, A. D. (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 51, 11, 2246 – 2259.
- HOWARD, A. D. (1971). Quantitative Measures of Cave Patterns. *Caves and Karst*, 13, 1, 1 – 7.
- JAKÁL, J. (1986). Krasová krajina ako špeciálny prírodný geosystém. *Slovenský kras*, 24, 3 – 26.
- JAKOPIN, P. (1981). On Measuring Caves by Volume. In Beck, B. F., ed. *Proceedings of the eighth International congress of speleology (Bowling Green, USA, 18-24 July 1981)*, vol. 1 – 2. Bowling Green, National speleological society, 270 – 272.
- KRCHO, J. (1976). Vyjadrenie miery priestorovej diferenciácie krajiny ako systému S_{FG} a priestorovej diferenciácie reliéfu pomocou miery entropie. *Geografický časopis*, 28, 4, 265 – 291.
- LAURITZEN, S.-E., LAURITSEN, A. (1995). Differential diagnosis of paragenetic and vadose canyons. *Cave and Karst Science*, 21, 2, 55 – 59.
- 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*. Huntsville, Alabama, U. S. A., 408 – 426.
- LJACHNICKIJ, J. S. (2001). Strukturno-morfologičeskaja klassifikacija karstovych polostej i ich sistem. *Peščery*, Perm, 157 – 161.
- LLOPIS-LLADÓ, N. (1970). *Fundamentos de hidrogeologica cárstica. Introducción a la geoespeleología*. Editorial Blume, Madrid, 269 p.
- MIKLÓS, L., ŠPINEROVÁ, A. (2010). *Priestorová diverzita krajiny*. VKÚ, a. s., Harnanec, 68 p.
- MALKOV, V. N., GURKALO, E. I., MONACHOVA, L. B., ŠAVRINA, E. V., GUR-

- KALO, V. A., FRANC, N. A. (2001). *Karst i peščery Pinežja*. Asociacija EKOST, Moskva, 208 p.
- MIČIAN, L. (2008). *Všeobecná geoekológia*. Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, 88 p.
- MINÁR, J. (1996). Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfológie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 36, Bratislava, 3 – 125.
- MINÁR, J. (1998). Definícia mapovacích geoekologických jednotiek. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis, Prírodné vedy, Folia Geographica*, 30, 2, 138 – 142.
- MINÁR, J. (2000). Tvorba komplexnej geomorfologickej mapy Devínskej Kobyly (metodické poznámky). In Lacika, J., ed. *Zborník referátov. 1. konferencia Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV (Liptovský Ján, 21. – 23. september 2000)*. Asociácia slovenských geomorfológov pri SAV, Bratislava, 86 – 90.
- MINÁR, J., BARKA, I., BONK, R., BIZUBOVÁ, M., ČERNÁNSKÝ, J., FALŤAN, V., GAŠPÁREK, J., KOLÉNY, M., KOŽUCH, M., KUSEDOVÁ, D., MACHOVÁ, Z., MIČIAN, L., MÍCIETOVÁ, E., MICHALKA, R., NOVOTNÝ, J., RUŽEK, I., ŠVEC, P., TREMBOŠ, P., TRIZNA, M., ZAŤKO, M. (2001). *Geoekologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach*. Geografické spektrum, 3, Geografika, Bratislava, 210 p.
- MYLROIE, J. E., CAREW, J. L., MOORE, A. I. (1995). Blue holes: Definition and genesis. *Carbonates and Evaporites*, 10, 2, 225 – 233.
- NEEF, E., RICHTER, H., BARSCH, H., HAASE, G. (1973). *Beitrage zur Klarung der Terminologie in der Landschaftsforschung*. Geographisches Institut der Akademie der Wissenschaften der DDR, Leipzig, 28 p.
- OLDFIELD, F. (1983). Man's impact on the environment: some perspectives. *Geography*, 68, 3, 245 – 256.
- PALMER, A. N. (1975). The Origin of Maze Caves. *The National Speleological Society Bulletin*, 37, 3, 57 – 76.
- PALMER, A. N. (1991). Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 1, 1 – 21.
- PHILLIPS, J. D. (1995). Self-organization and landscape evolution. *Progress in Physical Geography*, 19, 3, 309 – 321.
- SLABE, T. (1995). *Cave rocky relief and its speleogenetical significance*. Zbirka ZRC, 10, ZRC SAZU, Ljubljana, 128 p.
- SOČAVA, V. B. (1978). *Vvedenije v učenije geosistemach*. Nauka, Novosibirsk, 319 p.
- ŠUŠTERŠIČ, F. (1979). Kaj je speleometrija. *Naše jame*, 20, Ljubljana, 21 – 29.
- ŠUŠTERŠIČ, F. (1980). Dimenzioniranje kraških votlin. *Naše jame*, 21, Ljubljana, 61 – 73.
- VENI, G. (2005). Passages. In Culvier, D. C., White, W. B., eds. *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press, Burlington – San Diego – London, 436 – 440.
- WHITE, W. B. (1988). *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford Univ. Press, Oxford – New York, 464 p.