

# DYNAMIKA RIEČNYCH GEOSYSTÉMOV V JASKYNNOM PROSTREDÍ

Jozef Jakál\*

\*Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, geojak@savba.sk

## Dynamics of river geosystems in the cave environment.

This is the introductory study to the issue of geomorphological geosystem in the cave environment and its dynamics. It deals with questions of the underground streams, their origins, formation of their channels and effects of the surface and underground karst phenomena on the formation of the underground river geosystems. It presents the basic methodology analysing not only the morphological phenomena, their morphometry, but also the hydrological regime of karstic water and its links to surface streams which drain the karstic territory.

Model territories include the plateau autochthonous karst with the cave of Domica (Slovenský kras) and the middle mountain dissected allogenic karst with the Jaskyňa Slobody cave (the Nízke Tatry Mts.).

**Key words:** cave rivers, river geosystem, karst geomorphology, karst hydrology, research methodology, Slovakia

## ÚVOD

Zákonitosti dynamiky tvorby geomorfologického systému podzemného vodného toku sa výrazne líšia od dynamiky povrchových tokov. Dynamika povrchových riek závisí od priestorovo meniacich sa vlastností geologickej prostredia, sklonostných pomerov reliéfu jeho povodia a klímy daného územia.

Vznik podzemných riek sa viaže predovšetkým na karbonátový, menej často na soľný a silikátový kras. V našich podmienkach je to kras viažuci sa na vápencovo-dolomitické komplexy hornín. Veľkosť toku závisí od hydrogeografických zón podzemných krasových vod vertikálne usporiadaných v horninovom prostredí, ich mocnosti, ale aj priestorovej rozlohy krasu, z ktorého je zrážková voda infiltrovaná do podzemia, ako aj veľkosti tokov pritekajúcich do krasu z nekrasového územia a ponárajúcich sa do podzemia.

Zložitosť dynamiky tvorby podzemných vodných tokov v rámci Slovenska je odrazom rôznorodosti morfológických typov krasu, ale najmä ich súčasného vývoja. Vybrané typy krasu (planinový, rozčlenený horský a vysokohorský) sú okrem morfológie charakteristické aj pohybom vody v krase a vzájomnými vzťahmi medzi povrchovými tokmi, ktoré odvodňujú krasové územie a podzemnými tokmi, ktoré do nich vyúsťujú.

Významné podzemné vodné toky, ktoré si zaslúžia našu pozornosť sa nachádzajú v národných parkoch, niektoré sú dokonca súčasťou jaskyň zaradených do zoznamu svetového prírodného dedičstva, resp. do zoznamu mokradí medzinárodného významu v rámci Ramsarského dohovoru (Domica a jaskyne Demänovskej doliny).

## DOTERAJŠIE VÝSLEDKY

Naša štúdia chce nadviazať na práce, ktoré sa doteraz realizovali v Geografickom ústave SAV a boli venované fluviálnemu reliéfu, najmä z hľadiska geo-systémového prístupu, a štúdiu riečnej krajiny, ako aj metodike jej hodnotenia (Lehotský 2002 a 2006, Lehotský a Grešková 2004 a 2005, Lehotský a Novotný 2004).

Špecifickými otázkami jaskynných geosystémov, v rámci ktorých bola venovaná pozornosť aj podzemným tokom, sa zaoberajú práce Bellu (1995 a 1998) a sú sumarizované v jeho monografii (Bella 2008). Dobrý prehľad o podzemných riečnych tokoch v krasových územiach Slovenska nájdeme v monografii Hochmutha (2000). Podrobne mapy a údaje o jaskynných systémoch nachádzajúce sa v prácach Droppu (1957 a 1972) možno využiť aj pri hodnotení geosystému riečnych tokov Demänovského jaskynného systému a jaskyne Domica. Mohli by sme vymenovať množstvo ďalších prác, ktorých poslaním bol opis jaskynných priestorov, resp. riešenie paleogeomorfologickej vývoja jaskýň. Najmä porovnanie vývoja jaskynných úrovní väčších jaskýň a jaskynných systémov riečnych jaskýň nám pomôže lepšie spoznať princípy tvorby súčasných koryt Demänovského jaskynného systému (Droppa 1966, Bella 1995, Hochmuth 2000), Stratenského jaskynného systému (Novotný a Tulis 2005), Domice (Droppa 1972) a iní.

## TEORETICKÁ BÁZA VZNIKU PODZEMNÝCH RIEČNYCH TOKOV

Na rozdiel od nekrasových území, v ktorých sa tvorí *prirodzená hladina podzemných vôd*, v krase je jej existencia problematická, a preto sa používa skôr termín *úroveň podzemnej krasovej vody*, ktorá nemusí vždy v určitom skrasovatenom masíve dosahovať jednotnú výškovú hladinu. V Dinárskom krase sa v niektorých územiach v čase zrážok skôr aktivizujú občasné krasové pramene vo vyšších polohách ako nižšie ležiace. Na Jadranskom pobreží boli geologickými vrtmi preukázané suché krasové dutiny 700 m pod úrovňou morskej hladiny (Roglić 1960). Bežné sú podmorské pramene, ale aj v našich oblastiach sifónová cirkukácia krasových vôd (výskyt občasných prameňov a estavel) naznačuje zložitosť obehu krasových vôd.

### Tvorba podzemných vodných tokov v krase

Tvorba podzemných vodných tokov sa viaže na tri základné vývojové typy krasu: 1. autochtónny kras, 2. alochtónny kras a 3. zmiešaný kras. Pod pojmom kras nechápeme len jeho geomorfologický fenomén, pretože všetky definície krasu zdôrazňujú v charakteristike krasu aj špecifický obeh vody. Preto sme aj v niektorých starších štúdiách zahrnuli oba fenomény reliéf a vody do ich názvu (Jakál 1986).

Špecifický obeh vody v krase je predurčený sekundárhou prieplustnosťou a rozpustnosťou vápenca vo vode. Špecifickosť spočíva aj v hydrografickej vertikálnej zonálnosti podzemných krasových vôd (obr. 1):

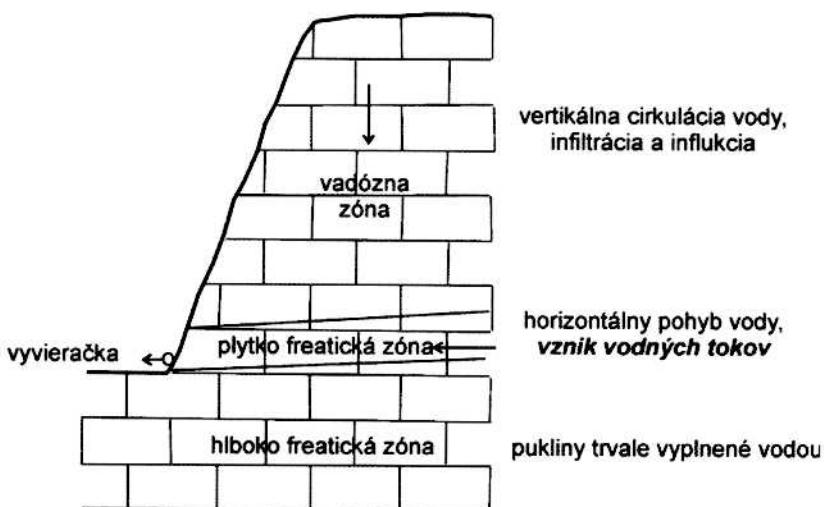
- vadózna,
- plytko freatická,
- hlboko freatická.

*Vo vadôznej najvyšie ležiacej podpovrchovej zóne* prevláda puklinová cirkulácia krasovej vody formou vsakovania zrážkovej vody drobnými puklinami, miestami aj turbulentný pohyb rozšírenými puklinami, ako aj influkcia tečúcej vody z povrchových ponorov pozdĺž naklonených dutín.

*Plytko freatická zóna* je charakteristická kolísaním vodnej hladiny (úrovne), v čase zvýšených zrážok je vyplnená vodou, v ktorej už nastáva horizontálny pohyb vody.

*Hlboko freatická zóna* je trvalo zaplavená, pukliny sú vyplnené vodou s veľmi pomalým horizontálnym pohybom (2-3 cm za 24 hod.).

Práve plytko freatická zóna, ktorá je označovaná tiež ako fluktuačná zóna, je priestorom, v ktorom sa vody vadôzneho priestoru sústredujú do podzemných vodných tokov vystupujúcich na povrch formou krasových prameňov a vyvieračiek. Ich vody vyúsťujú do povrchových tokov, ktoré odvodňujú krasové územie. Aktívna plytko freatická zóna sa svojou výškovou úrovňou viaže práve na tieto toky, ktoré predstavujú eróznu a koróznu bázu okolitého krasu. To znamená, že aktívne podzemné toky sa formujú v tejto úrovni a koryto má kvázi horizontálny priebeh s miernym sklonom k povrchovému toku. Tento obeh vody je charakteristický pre autochtónne sa vyvieračky kras (Gombasecká jaskyňa, Hučiaca vyvieračka v Slovenskom kraji).

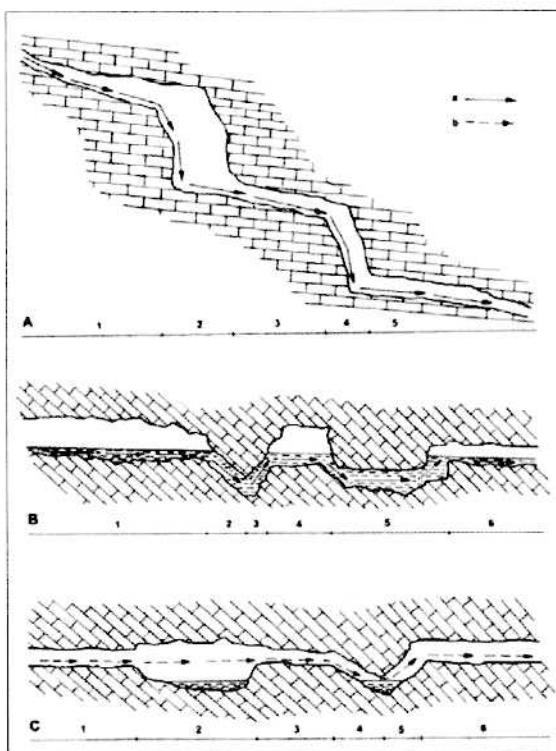


Obr. 1. Hydrografické zóny podzemných krasových vôd

*V alochtónnom type krasu* výrazne ovplyvňuje tvorbu podzemného riečneho toku tzv. tranzitná rieka – alochtónný tok, ktorý prichádza do krasu z nekrasového, najčastejšie vyšie ležiaceho územia. V kraji sa ponára do podzemia (influkcia) ponorom (hltačom) alebo systémom menších korytových alebo brehových ponorov. Na okraji krasu vyúsťuje na povrch v podobe vyvieračky (Jakál 2004). Podzemný tok v alochtónnom kraji miestami vystupuje na povrch a opäť sa stráca v podzemí. Tento proces sa vyskytuje aj v Demänovskom kraji Nízkych Tatier.

*V zmiešanom vývojovom type krasu* ide o kombináciu autochtónneho a alochtónneho vývoja krasu. Typický je pre planinový typ krasu s aktívnym prielomovým tokom v dolinovej tiesňave (Stratenská jaskyňa) alebo v planinovom okrajovom kraze s občasným ponorným tokom (Domica). V uvedených prípadoch sa tento proces opakoval pri tvorbe vyššie ležiacich jaskynných úrovni riečnych jaskýň.

Aktívne podzemné vodné toky sa viažu na eróznu bázu povrchových tokov, ktoré odvodňujú územie a zvyšujú jej odtok. V osobitných štruktúrno-geologických podmienkach sa miestami strácajú vody povrchového toku otvorenými alebo v nive skrytými ponormi do podzemia a dopĺňajú hlboko freatickú zónu o vodu, ktorá môže vystupovať k povrchu ďaleko mimo krasu. Alochtónne toky transportujú cudzorodý materiál (štŕky a piesky) do jaskynného prostredia, ktorým zvyšujú eróznu silu toku a pretvárajú jaskynné dutiny, prehlbujú a rozširujú koryto rieky. Miestami sedimentáciou materiálu dvihajú koryto rieky a pritláčajú ho ku stropu jaskyne. Vznikajú tak stropné korytá (paleo-korytá v Domici). Na príklade speleochor prezentovaných Bellom (1998) môžeme spoznať základné typy prúdenia vody a vodných tokov v jaskynnom prostredí (obr. 2).



Obr. 2. Príklady speleochor jaskynného prostredia – pozdĺžne profily (Bella 1998)

A – primárna aktívna fluviokrasová depresná vadzóna speleochora, B – primárna aktívna fluvio-krasová freatická kombinovaná speleochora s úsekmi s voľnou hladinou a bez voľnej hladiny, C – primárna inaktivná fluviokrasová freatická speleochora (1, 2, 3, ... vymedzenie speleotopov; a – aktívny vodný tok, b – bývalý vodný tok)

## SYNCHRÓNNY VÝVOJ POVRCHOVÉHO A PODZEMNÉHO KORYTA RIEKY

Typ riečnych jaskýň aktívnych a inaktívnych sa vyznačuje vodnými tokmi, ktoré ležia vo viacerých úrovniach nad sebou. Najstaršia je najvyššie položená, najmladšia je pretekána aktívnym tokom. Takýto charakter majú väčšie jaskynné systémy formované alochtonými vodnými tokmi. Viacúrovnosť chodieb je typická pre vrchnopliocénne a v kvartéri formované jaskynné útvary. Súvisi to s tektonickým vyzdvihovaním územia a je porovnatelné s tvorbou kvartérneho terasového systému na povrchu krajiny (Droppa 1966). Preukázaná je tvorba najrozsiahlejších priestorov IV. jaskynnej úrovne, ktorá vznikala v období tvorby povrchovej poriečnej rovne Hnilca v Stratenskej jaskyni Slovenského raja (Novotný a Tulis 2005) počas tektonického pokoja.

Proces synchrónneho formovania povrchového a podzemného koryta toho istého vodného toku je pomerne častý. Závisí to aj od dĺžky trvania určitého vyváženého prietoku vody v mieste, kde sa vodný tok rozvetvuje na pokračujúci povrchový a oddelený ponorný tok vtekajúci do jaskyne. Dochádza tak k prehľbovaniu oboch koryt (Demänovská dolina a Demänovská jaskyňa Slobody). V období sucha sú brehové ponory neaktívne a voda preteká v nízkom prietoku po povrchu, v inom prípade sa povrchová voda stráca v korytových ponoroch, povrchové koryto vysychá, podzemný tok má zníženú dynamiku formovania koryta s náchylnosťou tvorby plytkých korytových prietočných jazier.

### Jaskynné sedimenty v riečnych jaskyniach

Zdrojovou oblastou jaskynných sedimentov je povrchový zvetralinový materiál, pochádzajúci z krasových náhorných plošín, preplavovaný ponornými otvormi a krasovými dutinami do podzemných riečnych chodieb. Zdrojovou oblastou je teda vlastný povrch krasu a pozostáva prevažne z červeníc – terra calcis. Ide o jemnozrnný hlinitý materiál, ktorý pri transporte vodným tokom nemá veľkú eróznu silu. Vlastný puklinový priesak zrážkovej vody z povrchu krajiny a jej rýchlosť závisia od veľkosti puklín (prieplustnosti horninového prostredia). V systéme puklín sa zvetralinový materiál zachytáva a upcháva pukliny. Dochádza k filtriácii vody. Od prieplustnosti puklín závisí aj čistota podzemných vôd. Preto sa v krase stretávame s krasovými prameňmi, ktorých vody sa zakaľujú krátko po prívalových dažďoch, iné zostávajú čisté, resp. ich mierne zakalenie sa oneskoruje o viac hodín až dní. Tento princíp ovplyvňuje aj vývoj podzemných riečnych koryt.

Druhým zdrojom sedimentov je susedné nekrasové územie, ktorého pritekajúci alochtonný tok prináša do krasového prostredia piesčitý až štrkový materiál, ktorý je pri transporte riečnym korytom nástrojom hĺbkovej aj laterálnej erózie najmä počas vysokých vodných stavov.

Zmeny fluviaľnych procesov v podzemnom riečisku môžu byť vyvolané stropným rútením, ktorého materiál vytvára bariéry voči prúdiacej vode. Rozdielny vývoj riečiska sa dokázal rádioizotopovým datovaním sintrových kôr v Demänovskej jaskyni Slobody (Hercman et al. 2006).

## Znaky stability riečneho koryta podzemného toku

Dlhodobo vyrovnaný nízky prietok vody podzemného toku, ktorého zdrojom sú priesakové vody, najmä v autochtonne sa vyvíjajúcim krase s nepatrým pohybom vody bez tvorenia čerín, umožňuje v okrajových, brehových častiach koryta tvorbu sintrovej kôry v úrovni pokojnej hladiny vody, alebo sintrotých kaskádových stupňov (Domica).

### MORFOMETRICKÉ ZNAKY KRAZOVÝCH FORIEM A ICH VPLYV NA DYNAMIKU PODZEMNÝCH VÔD

Dynamika formovania koryta jaskynných vodných tokov závisí od povrchových, ale aj podzemných foriem reliéfu, ktoré do značnej miery limitujú rýchlosť a objemový prietok vody. Objem vody prenikajúci do podzemia z povrchu krajiny, ale aj objem vody v podzemí, je určovaný veľkosťou krasových dutín a chodieb, ktorá sa pozdĺž toku môže meniť napríklad pri sifónovej cirkulácii vody.

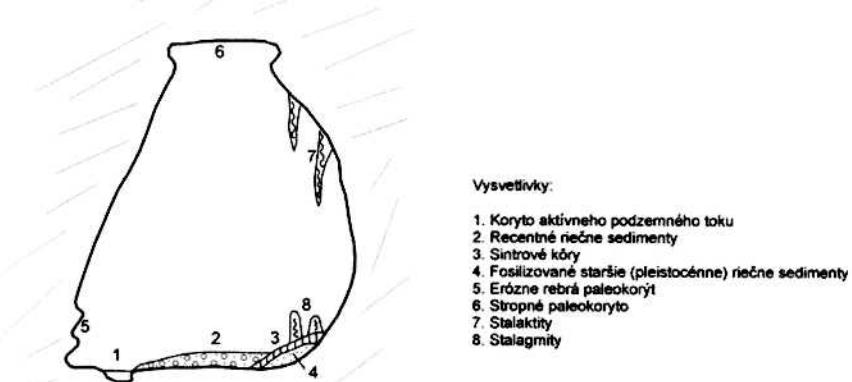
#### Morfologické črty ovplyvňujúce režim prietoku vody v koryte

a) Povrchové formy krasu vplývajú na režim podzemných vodných tokov. Na povrchu krajiny v *kontaktnom okrajovom kraste* je to prietoková (objemová kapacita) ponorov. Veľkosť prietocného profilu ponorov umožňuje odvedenie vody do podzemia za normálnej klimatickej situácie. V čase prívalových dažďov nestačia ponory prijať všetku zrážkovú vodu a vznikajú občasné jazerá. Príval takýchto vôd do podzemia vyvoláva často morfologické zmeny koryta podzemnej rieky, v záverečnej fáze odtoku nastáva sedimentácia transportovaného materiálu na dne koryta (Domica, Ardovská jaskyňa). Podobnú funkciu majú vo vlastnom kraste niektoré ponorné závrty krasových plošín.

b) Morfológia jaskynných priestorov a jej vplyv na prietokový režim riek:

- sifóny trvalo zaplavené vodou, regulujú množstvo vody v toku (priepustnosť), ktorý ovplyvňuje rýchlosť vody za sifónom a akumuláciu vody pred sifónom,
- sifóny občas vyplňované vodou určujú kolísanie dynamiky tečúcej vody za a pred sifónom. Určujú režim vodnej erózie a sedimentácie v jaskynných priestoroch,
- sklon koryta podzemného toku, ktorý je ovplyvnený vlastnosťami (odolnosťou) hornín, resp. tektonikou (vyrovnaný spád, kaskády až vodopády), nachádza odraz v dynamike toku v procese erózie a akumulácie,
- prietokové podzemné jazerá sú výsledkom nielen vlastností materskej horniny, ale aj foriem jaskynnej sekundárnej výplne (sintrové kaskády);
- veľkosť jaskynného priestoru pozdĺž aktívneho koryta podzemného toku. Zúženie priestoru vedie k zovretiu toku v koryte, čo znamená zvýšenie rýchlosťi pohybu vody toku a hlbkovej erózie. Rozšírenie priestoru umožňuje spomalenie toku (pri porovnateľnom prietoku vody), laterálnu eróziu a akumuláciu materiálu,
- stropné korytá (predkvartérne, kvartérne), resp. recentné aktívne úseky zdvíhaného koryta na sedimentoch,

- zmeny priečneho profilu jaskynných chodieb v prostredí vlastného koryta vyvolané rozdielnymi vlastnosťami a odolnosťou hornín, úložnými polymermi (vrstevnatosť vápencov) – obr. 3.



Obr. 3. Schéma riečneho geomorfologického jaskynného geosystému

### Hydrologické ukazovatele

Krasové pramene a vyvieračky sú ukazovateľom režimu podzemných vodných tokov. Kolísanie výdatnosti odtoku je závislé od meteorologických dobových situácií a podzemnej morfológie jaskynného prostredia pozdĺž podzemného koryta rieky.

Režim ťažko merateľných alebo až nemerateľných ukazovateľov dynamiky podzemných tokov v systéme kaskád, vodopádov, divočenia až rozdrojenia tokov s premiestňovaním koryta poukazuje na zložitosť a časovú premenlivosť dynamiky tvorby riečneho podzemného systému.

### METÓDY VÝSKUMU

#### Hydrologické

- analýza dát dlhodobého hydrologického režimu krasových prameňov a vyvieračiek podľa údajov SHMU,
- terénnne expedičné merania vo vybraných profiloch podzemného toku (prietok, rýchlosť toku, teplota),
- analýza podzemných hydrologických sietí v horizontálnej aj vertikálnej dimenzií.

#### Morfologické

- meranie sklonu dna koryta podzemného toku – zmeny pozdĺž toku, erózne a akumulačné úseky, granulometrické merania štrkov (predpokladá sa trienie materiálu pred náhlym zostrením sklonu toku a pod ním, najmä veľkosť a opracovanosť transportovaného materiálu),

- geomorfologické mapovanie eróznych a akumulačných úsekov koryta a jeho súbežného jaskynného koridoru,
- analýza morfológických javov dolinového koryta a súbežného podzemného koryta – komparácia,
- analýza dnových foriem starých korýt (rozdielov rozpätia alebo tvaru brehových rebier), analýza transportu materiálu, korelácia paleokorýt s aktívnym korytom rieky.

#### Fotogrametrické

- porovnanie 50 a viac rokov starých fotografií koryta rieky so súčasným stavom, vyhotovenie fotodokumentácie.

### REPREZENTATÍVNE PODZEMNÉ TOKY V KRASE SLOVENSKA

Dĺžka riečneho koryta odkrytého a pozorovateľného v podzemí, nekorešponduje s dĺžkou jaskynného systému. Riečny tok najčastejšie preteká najnižšími juvenilnými chodbami, ktoré patria k zanedbateľnej časti celého systému. Uvádzame celkovú dĺžku jaskyne; úseky aktívne pretekane vodou a údaje o ich dĺžke v podzemí sa v našej literatúre objavujú len zriedkavo (Bella et al. 2007).

Podzemné toky v planinovom type krasu:

*Slovenský kras* – Domica 5 368 m, Gombasecká jaskyňa 1 525 m, Krásnohorská jaskyňa 1 355 m, Skalistý potok 6 998 m, Drienovská jaskyňa 1 348 m, Hruškovská jaskyňa 780 m,

*Muránska planina* – Bobačka 3 036 m, Teplica 1 000 m.

Podzemné toky v rozčlenenom horskom krase:

*Nizke Tatry* – Demänovský jaskynný systém 35 291 m (jaskyňa Slobody, jaskyňa Mieru),

*Vysoké Tatry* – Javorinka 9 018 m,

*Západné Tatry* – Brestovská jaskyňa 1 450 m.

Podzemné toky vo vysokohorskom krase:

*Nizke Tatry* – Jaskyňa mŕtvych netopierov 19 780 m.

*Domica* – Domický potok a podzemný vodný tok Styx, komparácia s Gombaseckou a Krásnohorskou jaskyňou (Slovenský kras),

*Demänovská jaskyňa Slobody* – rieka Demänovka, komparácia s Demänovskou jaskyňou Mieru (Nízke Tatry, Demänovské vrchy).



Obr. 4. Koryto Demänovky v Demänovskej doline v mieste ponoru (Foto: P. Bella)



Obr. 5. Podzemné koryto Demänovky v jaskyni Sloboda, nárazový breh, stopy úrovne starých korýt (rebrá v stene) a náplavový breh s riečnymi sedimentmi (Foto: A. Droppa, archív Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva)

## ZÁVER

Štúdium komplexnej dynamiky geomorfologického systému rieky v jaskynnom prostredí v porovnaní so systémom rieky v otvorenej krajine musíme chápať v značne limitovanom rozsahu. Vplyv vonkajšieho prostredia a jeho okolitých abiotických prvkov krajiny nemajú priamy bezprostredný dosah na tvorbu podzemného riečneho systému. Ich vplyv je čiastočne sekundárne sprostredkovany cez hydrologický režim krasových vôd a obeh vody v krase.

Relatívne konštantná klíma jaskynného prostredia (teplota a vlhkosť vzduchu) absencia pôdy a pôdotvorného procesu, absencia bioty s výnimkou troglobiontov, obmedzujú komplexnosť štúdia geomorfologického riečneho systému na hydrologický režim a morfologický proces. Pozornosť si však zaslúžia vplyvy vonkajšieho prostredia sekundárne sprostredkovanej pohybom vody vstupujúcej do krasu, ktorá sprostredkúva odozvu meteorologických situácií (napr. prívalové zrážky) a prináša zvýšené množstvo nielen vody, ale aj anorganického a organického materiálu do podzemia.

*Tento príspevok bol spracovaný v rámci riešenia projektu 2/0151/09, ktorému bol pridelený finančný príspevok grantovou agentúrou VEGA.*

## LITERATÚRA

- BELLA, P. (1995). Princípy a teoreticko-metodologické aspekty klasifikácie morfologických typov jaskýň. *Slovenský kras*, 33, 3-15.
- BELLA, P. (1998). Priestorová a chronologická štruktúra jaskynných geosystémov, základné teoreticko-metodologické aspekty. *Slovenský kras*, 36, 7-34.
- BELLA, P. (2008). *Jaskyne ako prirodné geosystémy*. Liptovský Mikuláš (Správa slovenských jaskýň).
- BELLA, P., HLAVÁČOVÁ, I., HOLÚBEK, P. (2007). *Zoznam jaskýň Slovenskej republiky (stav k 30.6.2007)*. Liptovský Mikuláš (Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva).
- DROPPA, A. (1957). *Demänovské jaskyne*. Bratislava (SAV).
- DROPPA, A. (1966). The Correlation of some horizontal caves with river terraces. *Studies in Speleology*, 1(4), 186-192.
- DROPPA, A. (1972). Príspevok k vývoju jaskyne Domica. *Československý kras*, 22, 65-72.
- HERCMAN, H., BELLA, P., GRADZIŃSKI, M., GLAZEK, J., NOWICKI, T., SUJKOVÁ, G. (2006). Výsledky rádioizotopového datovania sintrov z Demänovského jaskynného systému v rokoch 1995-2005. In Bella, P., ed. *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. 5. Zborník referátov 5. vedeckej konferencie. Demänovská dolina, 26.-29.9.2005*. Liptovský Mikuláš (Správa slovenských jaskýň), pp. 21-36.
- HOCHMUTH, Z. (2000). *Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku*. Prešov (Slovenská speleologická spoločnosť).
- JAKÁL, J. (1986). *Relief and waters in a karst geosystem. Bulletin SSS, Dedicated to the 9th International speleological congress in Spain*. Liptovský Mikuláš (Slovenská speleologická spoločnosť), pp. 16-22.
- JAKÁL, J. (2004). Podmienky autochtonného a alochtonného vývoja krasového reliéfu Západných Karpát. *Geografický časopis*, 56, 141-152.

- LEHOTSKÝ, M. (2002). Korytovo-nivný geosystém – terra incognita v slovenskej geomorfológii. *Geomorphologia Slovaca*, 2, 23-30.
- LEHOTSKÝ, M. (2006). Riečna krajina a jej udržateľný rozvoj – nová oblasť aplikácie integrovaného prístupu. In Izakovičová, Z., ed. *Smolenická výzva III, Smolenice, 18.-19. apríl 2006*. Bratislava (Ústav krajinej ekológie SAV), pp. 155-159.
- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2004). Korytovo-nivné geosystémy a riečna krajina: prieskum a hodnotenie. *Geografie – Sborník české geografické společnosti*, 4, 277-287.
- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2005). Základné klasifikačné systémy a morfometrické charakteristiky korytovo-nivných geosystémov. *Geomorphologia Slovaca*, 5, 5-20.
- LEHOTSKÝ, M., NOVOTNÝ, J. (2004). Morfologické zóny vodných tokov Slovenska. *Geomorphologia Slovaca*, 4, 48-53.
- NOVOTNÝ, L., TULIS, J. (2005). *Kras Slovenského raja*. Liptovský Mikuláš (Správa slovenských jaskýň, Slovenská speleologická spoločnosť).
- ROGLIĆ, J. (1960). Das Verhältnis der Flusserosion zum Karstprozess. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 4, 116-128.

*Jozef Jakáš*

## **DYNAMICS OF RIVER GEOSYSTEMS IN THE CAVE ENVIRONMENT**

The dynamics proper to the formation of the geomorphological conditions of an underground stream is distinctly different from that of surface rivers. In conditions of karst formed in carbonate rocks, the size of an underground stream depends on the thickness and level of karstification, vertical hydrological zones of underground karstic waters, the area of the karst from which the precipitation water filtrates underground or the size of allochthonous streams flowing from the non-karstic territory submerging underground. Underground streams respond to changes in the meteorological situation with a certain delay.

Consideration of theoretical problems concerning the formation of underground streams takes into account hydrological circumstances such as the zonality of underground waters (vadose, shallow phreatic or deep phreatic zones). The medium shallow phreatic zone is decisive for the formation of concentrated streams and their horizontal flow with linkage to the channel of the surface stream, which drains the karstic territory.

The differences in formation of river geosystems in cave conditions are controlled by the basic morphological and morphometric relief characteristics and circulation of karstic water. This was the reason why karstic territories with the most conspicuous and distinctly differing morphological karst types of Slovakia were selected. They include: *the plateau type of karst with autogenic development* where the origins of underground river depend on infiltrated precipitation water (Slovenský kras Karst); *the middle mountain dissected type of karst with allogenic development* where the transiting allogenic rivers submerging underground prevail (Demänovský kras Karst, the Nízke Tatry Mts.); and *the contact karst or mixed auto-allogenic development* where autochthonous karstic streams mix with the allochthonous ones. Transport of gravel-sand material increases the erosion power of the stream and with its erosion and accumulation processes the stream becomes the decisive factor in formation of the river geosystem in the cave environment.

Basic methodological procedures analysing the morphology of surface and underground relief forms, their morphometric parameters as well as the hydrological regime of karstic waters and their dependence on the changing meteorological situations are presented.

The model territory consists of the Domica Cave in the Slovenský kras Karst and the Jaskyňa Slobody Cave in the Nízke Tatry Mts. Comparative research is carried out in additional geomorphologically related cave systems.

Translated by H. Contrerasová