

# Alochtónne jemnozrnné sedimenty a ich vzťah ku genéze Liskovskej jaskyne (Chočské podhorie, severné Slovensko)

Katarína Bónová<sup>1</sup>, Pavel Bella<sup>2,3</sup>, Martin Kováčik<sup>4</sup>, Ján Bóna<sup>5</sup>, Ľubomír Petro<sup>4</sup>,  
Viera Kollárová<sup>6</sup> & Ľubica Kovaničová<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach, Jesenná 5, 040 01 Košice, katarina.bonova@upjs.sk

<sup>2</sup>Katedra geografie, Pedagogická fakulta Katolíckej univerzity v Ružomberku, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok

<sup>3</sup>Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, bella@ssj.sk

<sup>4</sup>Štátny geologický ústav D. Štúra – RC Košice, Jesenského 8, 040 01 Košice, martin.kovacik@geology.sk, lubomir.petro@geology.sk, lubica.kovanicova@geology.sk

<sup>5</sup>Kpt. Jaroša 13, 040 22 Košice, janobona@hotmail.com

<sup>6</sup>Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 01 Bratislava, viera.kollarova@geology.sk

## AGEOS Allochthonous fine-grained sediments and their relation to the genesis of Liskovská jaskyňa Cave (Chočské Foothills, northern Slovakia)

**Abstract:** A combination of sedimentological and mineralogical methods with emphasis on heavy mineral assemblage research applied to allochthonous sediments in the Liskovská jaskyňa Cave located in the western part of the Liptovská kotlina Basin (in the tectonic horst composed of Triassic limestones at foothills of the Chočské vrchy Mts.) were used for the identification their provenance and sedimentary history. Allochthonous fine-grained sediments were studied in three profiles (LI-1 to LI-3). The sediments originated mostly from the suspension in slow water flow to stagnant water (slackwater facies). This material could be later redeposited during the younger flooding event and small-scale slumps and gravity flows (mudflows) have been locally generated on steeper cave floors. Based on mineralogical study the cave sediments are composed of quartz, muscovite, calcite, chlorite, K-feldspar, plagioclase and dolomite. A heavy mineral assemblage is formed by garnet, zircon, apatite, monazite, tourmaline, staurolite, amphibole, rutile, titanite, epidote, sillimanite, allanite, andalusite, pyroxene and xenotime. Opaque minerals are represented by ilmenite, pyrite, magnetite, Cr-spinel, hematite, Cu-sulfides and Fe-oxyhydroxides. Their mineralogical character indicates the heterogenous source material which was transported by the Váh River. The results are significant for a more accurate reconstruction of origin and development of the cave, mainly its sedimentary phases in Middle and Late Pleistocene related to floods from the adjacent river bed.

**Key words:** Liptovská kotlina Basin, Liskovská jaskyňa Cave, paleohydrography, allochthonous sediment, slackwater facies, grain-size analysis, heavy minerals, mineral composition

### 1. ÚVOD

Mineralogický a sedimentologický výskum sedimentov vyskytujúcich sa v jaskyniach má mimoriadny význam pre riešenie otázok týkajúcich sa ich genézy. Alochtónne sedimenty v jaskyniach sú významným zdrojom informácií o geologickom a paleogeografickom vývoji blízkeho územia, ako aj o hydrologii pôvodných paleotokov. Výskumom alochtónnych sedimentov v jaskyniach Západných Karpát sa zaoberali Tulis & Novotný (1989), Hlaváč et al. (2004), Kojdová & Sliva (2005), Gaál & Psočka (2006), Psočka et al. (2006<sup>a,b</sup>) a iní. Asociácie ťažkých minerálov na interpretáciu zdrojových oblastí skúmali Kicińska & Glazek (2005) v krase Belianskych Tatier, Orvošová et al. (2006<sup>a,b</sup>) v krase Nízkyh Tatier a Bónová et al. (2008) v jaskyni Skalísty potok v Slovenskom krase.

Liskovská jaskyňa patrí k najznámejším jaskyniam na Slovensku, je speleologicky, geomorfologicky a archeologicky pomerne podrobne preskúmaná. Doteraz však nie je uspokojivo vysvetlená jej genéza. Detailnejšiu sedimentologickú charakteristiku

jej alochtónnej výplne podáva Psočka et al. (2006<sup>a</sup>). Podrobný výskum minerálneho zloženia sedimentov sa však doteraz nerealizoval. Náš výskum sa zamerl na sedimentológiu a mineralogickú charakteristiku jemnozrnných alochtónnych sedimentov v dvoch morfológicky odlišných úsekoch Liskovskej jaskyne – v šikmej chodbe v spodnej časti jaskyne a v sústave takmer horizontálnych (subhorizontálnych) chodieb v strednej časti jaskyne. Z mineralogického hľadiska sme detailnejšie skúmali asociáciu ťažkých minerálov. Výsledky nášho výskumu dopĺňajú a spresňujú doterajšie poznatky o genéze Liskovskej jaskyne.

### 2. LOKALIZÁCIA A GEOLOGICKO-GEOMORFOLOGICKÉ POMERY

Liskovská jaskyňa (GPS súradnice hlavného vchodu: 49°05'29,65"N a 19°20'39,95"E) sa nachádza v západnej časti Liptovskej kotliny, vo východnom výbežku vrchu Mních (695 m n. m.) pri Ružomberku, v katastrálnom území obce

Lisková (Obr. 1a). Spodný (hlavný) vchod do jaskyne je v nadmorskej výške 500 m n. m. Jaskyňa dosahuje dĺžku 4 452 m a deniveláciu 72 m. Na pôdorysnej ploche iba 120 × 100 m tvorí hustý labyrint chodieb, siení a komínov (cf. Hochmuth, 1983; Jurečka, 2001, 2002).

Oblasť Mnícha medzi Ružomberkom, Liskovou a Likavkou tvorí hrastovitá kryha karbonátov chočského príkrovu VSV–ZJZ smeru vyzdvihnutá pozdĺž VSV–ZJZ zlomov v paleogénom a najmä v popaleogénom období a sedimenty borovského súvrstvia patriace podtatranskej skupine. Štruktúra je porušená mladšími zlomami generálne S–J (SSZ–JJV až SSV–JJZ) smeru (Gross, 1971, 1980; Gross et al., 1994).

Liskovská jaskyňa je vytvorená v strednotriasových sivých lavicovitých až doskovitých vápencoch s polohami dolomitov zodpovedajúcich gutensteinským vápencom. Na zakladaní jaskynných priestorov sa výrazne prejavili najmä zlomy smeru V–Z, VSV–ZJZ a SV–JZ, ktoré podmienili aj rútenie v najväčších dómoch a sieňach. Niektoré chodby alebo ich úseky sa vytvorili pozdĺž vrstevných plôch karbonátov sklonených 24–30° na západ (Psočka et al., 2006<sup>a</sup>).

### 3. PROBLEMATIKA GENÉZY JASKYNE

Vzhľadom na polohu jaskyne na pravej strane doliny Váhu sa v starších prácach predpokladá, že vznikla koróznou a mechanickou eróznou činnosťou vôd jeho bočného ramena, sčasti aj koróziou spôsobenou presakujúcimi zrážkovými vodami (Lóczy, 1877, 1878; Janáčik & Šrol, 1965; Janáčik, 1968; Droppa, 1971; Hochmuth, 1983, 1997 a iní). Prevažnú časť jaskyne však tvoria korózne modelované priestory nepravidelnej morfológie, ktoré nemajú znaky koróznej a mechanickej eróznej modelácie poukazujúce na činnosť podzemného vodného toku. V jaskyni takmer úplne absentujú stropné korytá, meandrovité zárezy na stenách, podlahové riečišká a iné morfológické tvary typické pre riečnu modeláciu (okrem vstupných častí chodieb vedúcich od bočných vchodov vo východnej časti jaskyne). V niektorých chodbách a sieňach, ktoré majú freatické klenbovité, kupolovité, komínovité či vrecovité stropné tvary, spodné časti stien tvoria šikmé ploché, dovnútra sklonené skalné povrchy – *planes of repose* (Lange, 1963), resp. *facetten* (Kempe et al., 1975) vytvorené v podmienkach stagnujúcej alebo pomaly prúdiacej vody (Bella, 2005).

Z klastických alochtónnych sedimentov majú prevahu stredno- a jemnozrnné piesky, paralelne laminované íly a prachovité íly (Psočka et al., 2006<sup>a</sup>). Paralelná laminácia a masívne zvrstvenie sedimentov indikujú sedimentáciu v pokojnom prostredí z jemnej suspenzie. Pôvod niekoľkých „obliakov granitoidov, karbonátov a pieskocov poukladaných vedľa kopaného chodníka“ (l. c.) je diskutabilný. Podľa Droppu (1971) boli piesky naplavené Váhom, jemné kalové hliny a piesky sa do jaskyne dostali počas povodní.

Na základe morfológických a sedimentologických znakov sa v novších prácach usudzuje, že jaskyňa vznikla koróziou pomaly prúdiacej vody vo freatickej zóne v tektonicky a litologicky obmedzenej kryhe strednotriasových karbonátov. Vo fázach stabilizácie hladiny podzemnej vody v nadväznosti na etapovité zahľbovanie doliny Váhu (s vývojom riečnych terás) sa v jaskyni

čistočne uplatnila epifreatická modelácia podzemných priestorov pomaly prúdiacou až stagnujúcou vodou, resp. záplavovými vodami. Na vytváraní jaskyne sa pravdepodobne podieľali vody infiltrujúce zo štrkov nivy Váhu, povodňové vody, pravdepodobne aj vody vystupujúce pozdĺž zlomov, ktoré z jaskyne prenikali do aluviálnych sedimentov alebo v podobe vyvierajúcej sa dostávali na povrch na okraji akumuláčnej nivy Váhu (Bella, 2005; Bella et al., 2009; Bella & Bosák, 2012).

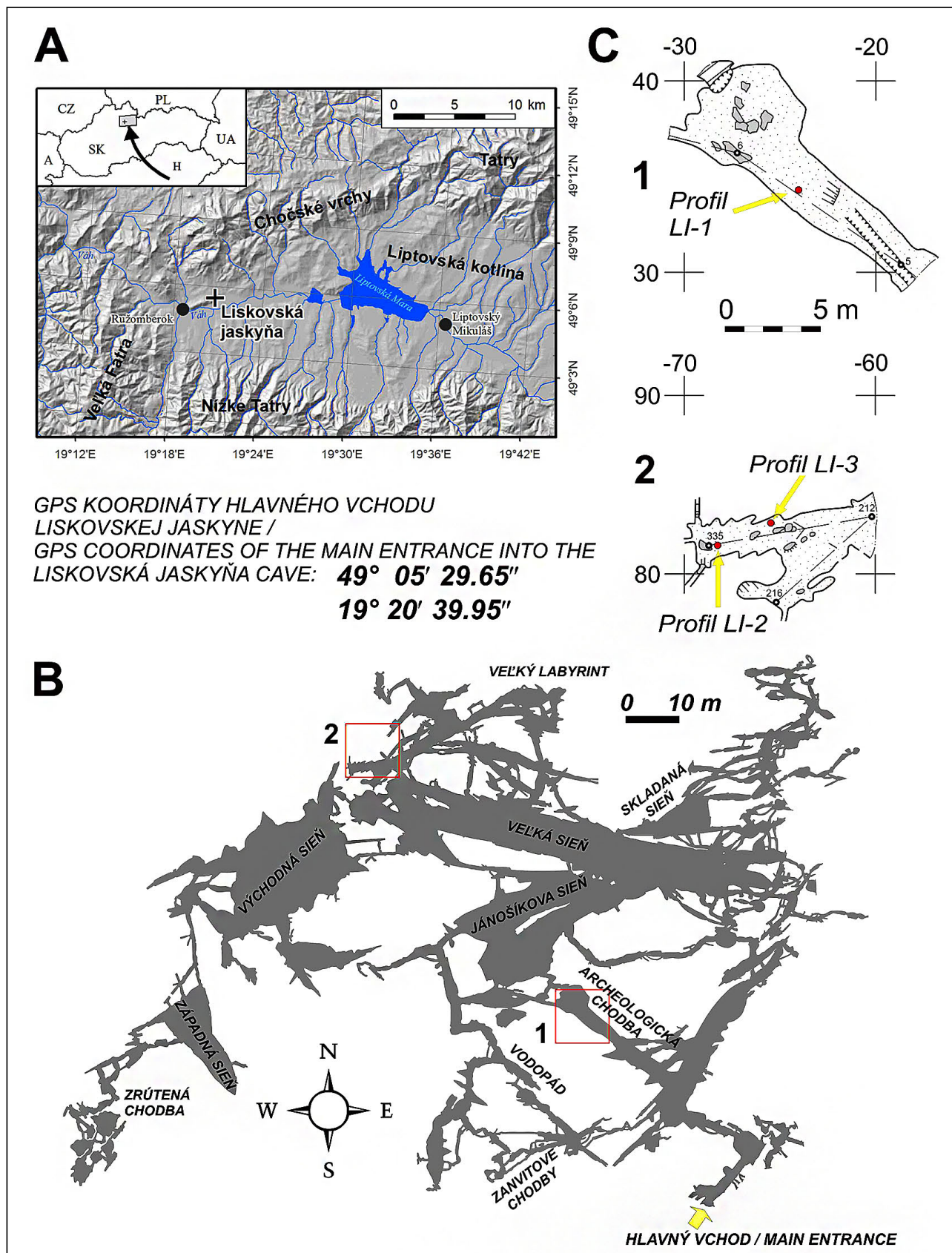
V Liskovskej jaskyni sa vyskytujú aj horizontálne a subhorizontálne úseky chodieb (najmä vo výške 496, 505 a 526 m n. m.), ktoré sa považujú za jaskynné úrovne postupne vytvorené odhora nadol, geneticky zodpovedajúce riečnym terasám (Janáčik, 1968; Droppa, 1971; Hochmuth, 1983, 1997). Hornú jaskynnú úroveň vo výške 34 m nad nivou Váhu Droppa (1971) koreluje s terasou T-IV (mindel-2), strednú jaskynnú úroveň s terasou T-III (riss-1) a spodnú jaskynnú úroveň s terasou T-II (riss-2).

### 4. METODIKA

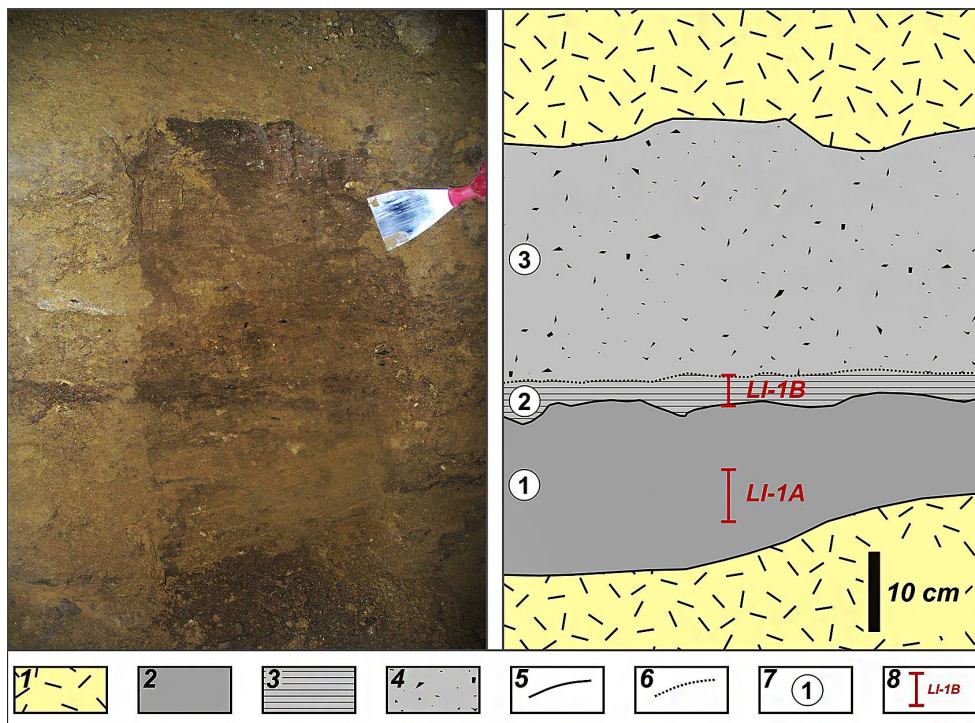
V priestoroch jaskyne sa sedimentologicky skúmali tri profily: LI-1, LI-2 a LI-3 (Obr. 1b,c). Profil LI-1 (500 m n. m.) je situovaný v Archeologickej chodbe vo vykopanom záreze chodníka v blízkosti dilatometra TM-71, približne 35 m sz. od hlavného vchodu do jaskyne. Ide o šikmú chodbu nachádzajúcu sa medzi spodnou a strednou vývojovou úrovňou jaskyne (sensu Droppa, 1971).

Profily LI-2 a LI-3 (vykopaná sonda, 504–505 m n. m.) sa nachádzajú na okraji Pieskových chodieb, sú vzdialené od seba len niekoľko metrov, pričom LI-2 je z hľadiska vertikálnej pozície vyššie. Pieskové chodby sú horizontálnymi chodbami strednej vývojovej úrovne jaskyne (Janáčik, 1968; Droppa, 1971). Z jednotlivých profilov sa odobrali vzorky s hmotnosťou 2–3 kg na zrnitostný rozbor a prípravu koncentrátov ťažkých minerálov. Príprava vzoriek sa realizovala v laboratóriách Oddelenia aplikovanej technológie nerastných surovín (ŠGÚDŠ, regionálne centrum Košice). Koncentrát ťažkých minerálov sa získal štandardným spôsobom zo zrnitostnej frakcie 0,1–0,5 mm finálnym separovaním v bromoforme. Koncentráty sa kvalitatívne a kvantitatívne vyhodnotili, pričom sa pozornosť sústredila na priesvitné ťažké minerály. Opticky sa vyhodnotilo 300 až 350 zrn. Zároveň sa opticky vyhodnotil koncentrát ľahkých minerálov (Qtz, Cal, Dol, Kfs, Pl a iné).

Granáty, amfiboly, turmalíny a spinely sa analyzovali vo vzorke lešteného výbrusu pomocou elektrónového mikroanalýzátora CAMECA SX 100 (ŠGÚDŠ Bratislava) metódou vlnovodisperznej analýzy (WDS) pri urýchľovacom napätí 15 kV, prúde 20 nA a priemere elektrónového lúča 2–5 μm. Použili sa prírodné a syntetické štandardy: fluór apatit (P Ka), ortoklas (Si Ka), TiO<sub>2</sub> (Ti Ka), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Al Ka), Cr (Cr Ka), fayalit (Fe Ka), rodonit (Mn Ka), forsterit (Mg Ka), wollastonit (Ca Ka), SrTiO<sub>3</sub> (Sr Ka), albit (Na Ka), LiF (F Ka) a NaCl (Cl Ka). Analýzy granátov boli lokalizované v centre a okraji zrn. Ich kryštalochemické vzorce sa normalizovali na 12 atómov kyslíka, pričom hodnoty Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> sa prepočítali podľa ideálnej stechiometrie. Na základe kryštalochemických vzorcov boli vypočítané koncové členy granátov. Analyzované body v prípade turmalínov boli lokalizované v centre (príp. jadre),



Obr. 1. A) Digitálny model reliéfu širšieho okolia Liskovskej jaskyne s jej lokalizáciou; B) Pôdorys Liskovskej jaskyne podľa Hochmutha & Pateka (1983), upravené; C) Výrezy z pôdorysu Liskovskej jaskyne (Hochmuth & Patek, l. c.) s lokalizáciou profilov a odberu vzoriek.  
Fig. 1. A) Digital model of the Liskovská jaskyňa Cave surroundings and its location; B) Floor plan of the cave according to Hochmuth & Patek (1983), modified; C) Section from the floor plan of the cave (Hochmuth & Patek, l. c.) with the location of the profiles and sampling points.



Obr. 2. Profil LI-1, Liskovská jaskyňa: 1) sutina (resp. zakrytý profil); 2) tmavo-hnedozelený kal; 3) paralelne laminovaný sivohnedý štrkovo-piesčitý kal; 4) sivohnedý slabó štrkový kal s úlomkami uhlíkov; 5) ostrá hranica medzi litofáciami (resp. vrstvami); 6) pozvoľná hranica medzi litofáciami; 7) číslo vrstvy; 8) miesto odberu a označenie vzorky.

Fig. 2. Profile LI-1, Liskovská jaskyňa Cave: 1) debris (hidden profile); 2) dark brown-green mud; 3) parallel laminated gray-brown gravelly sandy mud; 4) gray-brown slightly gravelly mud with fragments of charcoals; 5) sharp boundary between lithofacies; 6) gradual boundary between lithofacies; 7) layer number; 8) location of sampling.

v leme i na okrajoch zrn. Vzorce sa normalizovali na 31 aniónov, pričom  $(OH + F) = 4 \text{ a.p.f.u.}$ ,  $B = 3 \text{ a.p.f.u.}$  Kryštalochemický vzorec amfibolov sa získal prepočítaním analýz na 24 atómov kyslíka pomocou programu sensu Locock (2014) a pre porovnanie výsledkov so zreteľom na provenienčné účely prepočtom na 23 atómov kyslíka postupom uvádzaným v prácach Leake et al. (1997) resp. Schumacher (2007), výsledky ktorého nie sú uvedené v tab. 3 (pre porovnanie uvádzame klasifikáciu amfibolov podľa Leake et al. (1997) aj Hawthorne et al. (2012)). Chemické analýzy spinelov sa prepočítali na základe 3 katiónov.  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$  v spineloch sa rozpočítalo podľa ideálnej stechiometrie. Katódoluminiscenciou realizovanou na rovnakom prístroji pri urýchľovacom napätí 8 kV a prúde 10 nA sa sledovala zonálnosť a rast zirkónov.

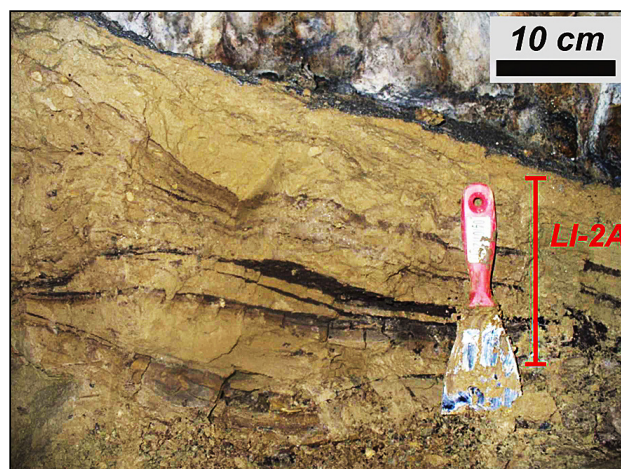
## 5. VÝSLEDKY

### 5. 1. Sedimentologická charakteristika

Študované profily zobrazujú vrchnú časť sedimentárnej výplne poskytujúcej záznam o najmladších sedimentárnych procesoch, ktoré v jaskyni prebehli. V profiloch sa zachovalo niekoľko fáz depozície a erózie klastického materiálu. V profile LI-1 (Obr. 2) sa identifikovali 3 vrstvy, z ktorých spodná (relatívne najstaršia) je tvorená kalom (angl. mud, cf. Tucker, 2001 a iní) tmavej hnedozelenej farby bez zjavných sedimentárnych štruktúr; ten je vo vyšších úrovniach erodovaný, pričom naň sedimentuje nevýrazne paralelne laminovaný štrkovo-piesčitý kal s vyšším podielom hrubozrnej frakcie. Sedimentárny záznam sa v tomto profile končí polohami sivohnedého kalu s uhlíkmi antropogénneho pôvodu (napr. Struhár, 1999) bez zjavných sedimentárnych

štruktúr (Obr. 2). Uvedený sled predstavuje v spodnej časti depozíciu zo suspenzie z veľmi pomalého toku. Erózný kontakt vrstvy 1 a 2 v strednej časti profilu však poukazuje na erózný účinok silnejšieho prúdu a nadložný paralelne laminovaný jemnozrnný kalový materiál sedimentoval neskôršie z prúdu pri subkritickéj rýchlosti. Sediment najmladšej vrstvy 3 (Obr. 2) je nevytriedený, bez sedimentárnych štruktúr a pravdepodobne bol transportovaný a usadený pri jednej udalosti vo forme bahnotoku.

Profil LI-2 je tvorený výrazne laminovaným sivohnedým slabó štrkovo-piesčitým kalom s laminami čiernej farby (Obr. 3), ktoré Psoťka et al. (2006<sup>a</sup>) považuje za humusovú



Obr. 3. Profil LI-2, Liskovská jaskyňa. Šikmá čerinová (?) a paralelná laminácia.

Fig. 3. Profile LI-2, Liskovská jaskyňa Cave. Ripple-cross (?) and parallel lamination.

zložku. Bol pravdepodobne deponovaný zo suspenzie v pomalom až slabnúcim toku.

Profil LI-3 je tvorený v spodnej časti piesčítym kalom, litologicky zhodným so spodnou vrstvou profilu LI-1, reprezentujúcim tzv. *slackwater facies* (Bosch & White, 2004). V nadloží tejto vrstvy sa nachádza vrstva pestrého kalu tmavozelenožltej, v strede ocelovomodrej farby bez sedimentárnych štruktúr, ktorej vrchná i spodná hranica je ostrá s nepravidelným priebehom. Nad ňou vystupuje vrstva slabo štrkovo-piesčitého kalu svetlej farby bez sedimentárnych štruktúr, v jej nadloží je vyvinutá vrstva tvorená kalom sivohnedej farby. Jej spodná hranica je ostrá, erózna a poukazuje na účinok relatívne silnejšieho vodného prúdu, ktorý erodoval staršie sedimenty. Po stagnácii a opadnutí vody došlo k pomalej sedimentácii kalovej suspenzie. Najvrchnejšiu časť profilu tvorí vrstva slabo štrkovo-piesčitého kalu tmavej hnedozelenej farby s úlomkami uhlíkov, ktorá je vo vrchnej časti zakrytá sutinou a jej genéza je rovnaká ako v prípade vrstvy 3 z profilu LI-1.

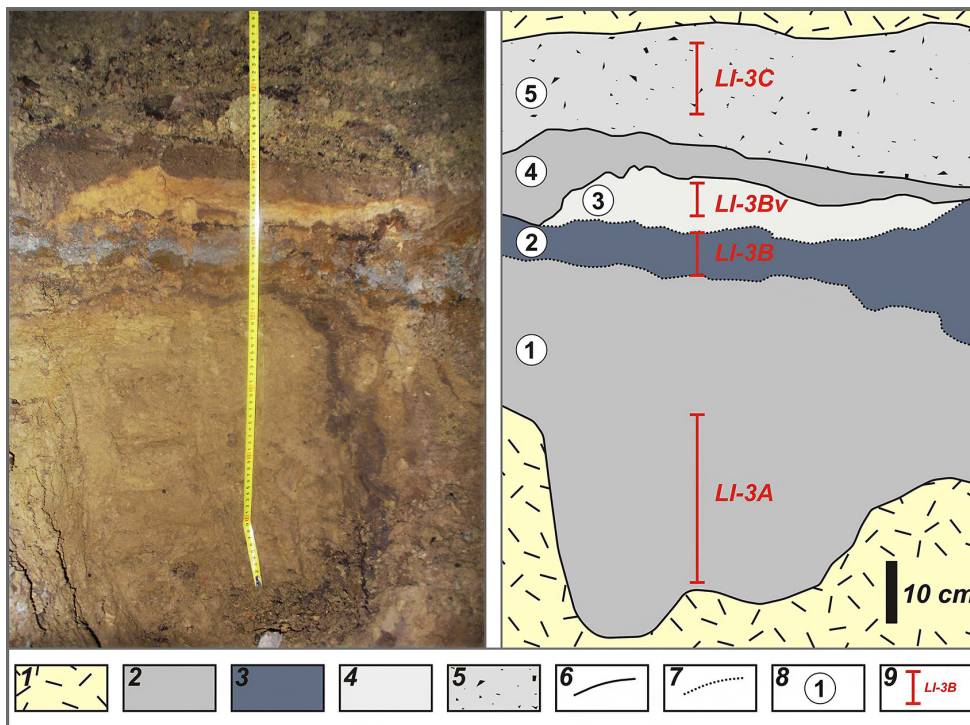
## 5. 2. Petrografická a mineralogická charakteristika

Vo vybraných profiloch Liskovskej jaskyne majú alochtónne jaskynné sedimenty charakter „jaskynných hĺn“, resp. „alogených jaskynných hĺn“ (sensu Panoš, 2001). Na základe

výsledkov zrnitostnej analýzy (Tab. 1) predstavujú skúmané jaskynné hliny kal, piesčítý kal, slabo štrkovo-piesčítý kal, prípadne štrkovo-piesčítý kal (sensu Blair & McPherson, 1999, obr. 5). V pieskovej frakcii je hlavným minerálom **kremeň** vo všetkých vzorkách (LI-1A až LI-3C), výnimkou je vzorka LI-3Bv, kde dominuje kalcit. Zrná kremeňa sú zvyčajne veľmi ostrohranné až poloostrohranné s premenlivým stupňom sféricity (Powers, 1953). Prevláda polykryštalický kremeň nad monokryštalickým v pomere 2:1. Medzi dominantné minerály patrí tiež **muskovit** a kalcit. **Kalcit** vystupuje vo forme priesvitných úlomkov pochádzajúcich pravdepodobne z hydrotermálnej (?) výplne trhlín v okolitých vápencoch a dolomitoch, prípadne predstavuje ostrohranné úlomky vápenca zo skalných masívov najmä vo vzorkách LI-1B, LI-3B a LI-3Bv. Vo vzorke LI-1B sa vyskytujú mierne opracované sintre. **K-živce** (zastúpený najmä ortoklasom) a **plagioklasy** tvoria zvyčajne nepravidelne obmedzené úlomky. Vo vzorkách sú zastúpené približne v rovnakom pomere, vo vzorkách LI-3A a LI-3C prevláda plagioklas nad K-živcom. Vo vzorke LI-1B K-živce úplne chýba. **Chlorit** a **dolomit** sú vzácne. Dolomit prítomný vo vzorkách LI-1A, LI-2A a LI-3C tvorí litické úlomky (max. 2 obj. %). Vo vzorke LI-1B sú prítomné uhlíky (Obr. 6a), ojedinele fosilné guáno (?) a úlomky kostí nižších stavovcov (Obr. 6b).

Obr. 4. Profil LI-3, Liskovská jaskyňa. 1) sutina (resp. zakrytý profil); 2) tmavo-hnedozelený piesčítý kal; 3) pestrý kal; 4) slabo štrkovo-piesčítý kal svetlej pieskovej farby; 5) sivohnedý slabo štrkovo-piesčítý kal s úlomkami uhlíkov; 6) ostrá hranica medzi litofáciami (resp. vrstvami); 7) pozvoľná hranica medzi litofáciami; 8) číslo vrstvy; 9) miesto odberu a označenie vzorky.

Fig. 4. Profile LI-3, Liskovská Cave: 1) debris (hidden profile); 2) dark brown-green slightly sandy mud; 3) variegated mud; 4) slightly gravelly sandy mud of light sand colour; 5) gray-brown slightly gravelly sandy mud with fragments of charcoal; 6) sharp boundary between lithofacies; 7) gradual boundary between lithofacies; 8) layer number; 9) location of sampling.

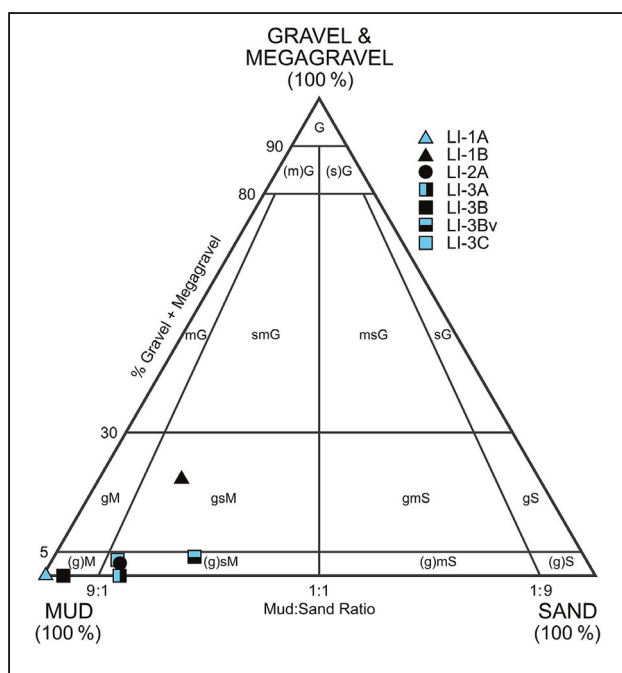


Tab. 1. Percentuálne zastúpenie sedimentárnych častíc v alochtónnych sedimentoch Liskovskej jaskyne.

Tab. 1. Percentual abundance of sedimentary particles in allochthonous cave sediments from the Liskovská jaskyňa Cave.

Vzorka / sample	LI-1A	LI-1B	LI-2A	LI-3A	LI-3B	LI-3Bv	LI-3C
Štrk / gravel	0	20,16	2,58	0	0	3,86	3,28
Piesok / sand	0,36	14,84	12,46	13,72	3,52	25,36	11,7
Prach + il (kal) / silt + clay (mud)	99,64	65	84,96	86,28	96,48	70,78	85,02

Frakcia > 2 mm (štrková frakcia) je významnejšie zastúpená vo vzorke LI-1B (20,16 obj. %). Je tvorená korodovanými sinterami (3–25 mm, miestami aj viac) s hnedou a béžovou patinou. Prítomné sú aj úlomky kostí. Uvedený štrkový materiál je autochtónneho pôvodu. Štrková frakcia rovnakého charakteru bola v minimálnom množstve zachytená aj vo vzorkách LI-2A (2,58 obj. %), LI-3Bv (3,86 obj. %) a LI-3C (3,28 obj. %).



Obr. 5. Ternárny klasifikačný diagram (Blair & McPherson, 1999) znázorňujúci zrnitostné charakteristiky skúmaných alochtónnych sedimentov Liskovskej jaskyne. Vysvetlivky: G – štrk (zlepenec); (m)G – slabo kalový štrk; (s)G – slabo piesčitý štrk; mG – kalový štrk; smG – piesčito-kalový štrk; msG – kalovo-piesčitý štrk; sG – piesčitý štrk; gmM – štrkový kal (kalovec); gsM – štrkovo-piesčitý kal; gmS – štrkovo-kalový piesok (alebo pieskovec); gsS – štrkový piesok; (g)M – slabo štrkový kal; (g)sM – slabo štrkovo-piesčitý kal; (g)mS – slabo štrkovo-kalový piesok; (g)S – slabo štrkový piesok.

Fig. 5. Ternary classification diagram after Blair & McPherson (1999) showing the allochthonous sediment grain size characteristics of the Liskovská jaskyňa Cave. Explanations: G – gravel (conglomerate); (m)G – slightly muddy gravel; (s)G – slightly sandy gravel; mG – muddy gravel; smG – sandy muddy gravel; msG – muddy sandy gravel; sG – sandy gravel; gmM – gravelly mud (mudstone); gsM – gravelly sandy mud; gmS – gravelly muddy sand (or sandstone); gsS – gravelly sand; (g)M – slightly gravelly mud; (g)sM – slightly gravelly sandy mud; (g)mS – slightly gravelly muddy sand; (g)S – slightly gravelly sand.

## 6. ŤAŽKÉ MINERÁLY

Percentuálne zastúpenie ťažkých minerálov sa vyhodnotilo zo šiestich vzoriek. V koncentrácii ťažkých minerálov v profiloch LI-1 a LI-2 generálne prevláda granát (do 24,9 obj. %) nad apatitom, zirkónom a amfibolom (Tab. 2), v profile LI-3 je zastúpenie mierne odlišné. Z priesvitných ťažkých minerálov dominuje v bazálnej časti profilu rovnako ako v predošlých granát, apatit

a zirkón, v jeho nadloží (vzorky LI-3B, LI-3Bv a LI-3C) prevláda apatit nad amfibolom a granátom (Tab. 2). Celkový charakter zastúpenia jednotlivých priesvitných ťažkých minerálov sa nemení. Okrem granátu, apatitu, zirkónu a amfibolu je vo väčšom množstve prítomný turmalín, epidot a rutil. Prítomnosť ostatných priesvitných minerálov uvádza tab. 2. Z opakovaných minerálov (v tab. 2 označené skratkou Opq) bol pozorovaný ilmenit, pyrit, hematit, magnetit (najmä vo vz. LI-1B, LI-2A, LI-3A), sulfidy Cu a Fe oxo-hydroxidy (limonit) dominantne zastúpené vo vzorkách LI-3B, LI-3Bv a LI-3C; mimochodom vo výraznej prevahe nad priesvitnými ťažkými minerálmi. Vzhľadom na markantnú výpovednú hodnotu pri provenienčných úvahách je samostatne uvedený Cr-spinel zaznamenaný vo vzorkách všetkých troch študovaných profilov (Tab. 2).

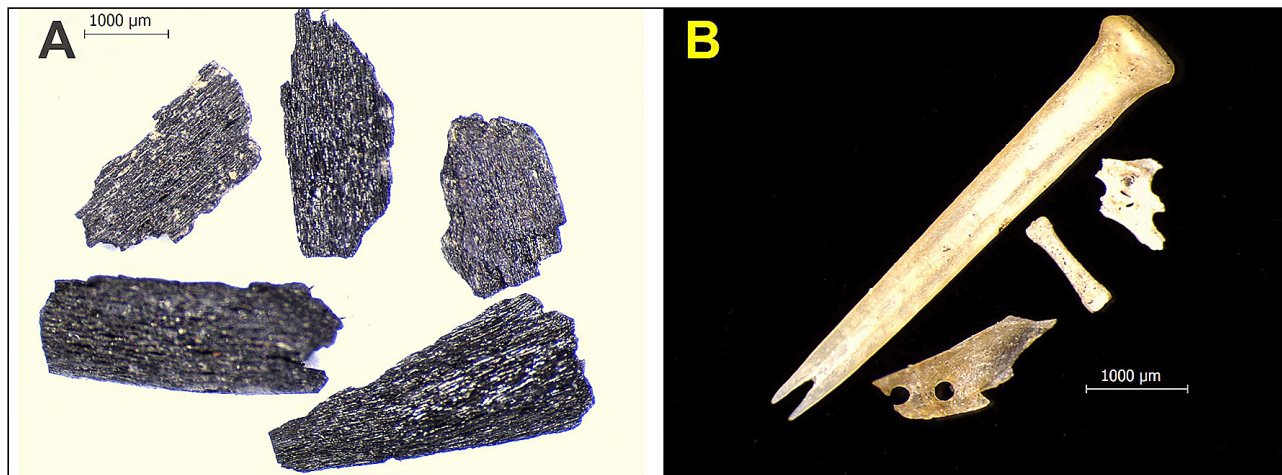
### 6. 1. Granáty

Populácia detritických granátov je v skúmaných sedimentoch pomerne heterogénna. Skúmala sa v 3 profiloch, konkrétne vo vzorkách LI-1B a LI-2A; LI-3A (Obr. 7). Pre vzorku LI-1B sú charakteristické granáty s vyšším obsahom pyropovej a grosulárovej zložky zvyšujúcej sa na úkor almandínovej zložky

Tab. 2. Zastúpenie ťažkých minerálov v alochtónnych sedimentoch z profilov LI-1 až LI-3. Skratky minerálov podľa Whitney & Evans (2010), \*ost – ostatné.

Tab. 2. Heavy mineral assemblage of allochthonous cave sediments from the LI-1 to LI-3 profiles. Abbreviations of minerals according to Whitney & Evans (2010), \*ost – others.

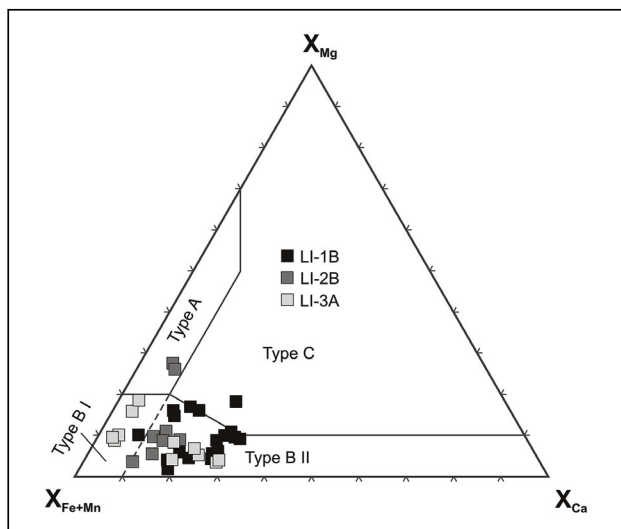
vzorka/ minerál sample/ mineral	LI-1B	LI-2A	LI-3A	LI-3B	LI-3Bv	LI-3C
Grt	20,5	24,9	22,3	2,7	2,6	11,4
Zrn	7,5	11,6	7,2	4,6	0,7	6,5
Ap	16,6	12,3	15,4	5,5	5,1	21,2
Mnz	2	1,2	4,1	0,9	1,1	1
Tur	8,5	7,1	5,3	3,2	1,1	2,3
St	2	3,2	5,6	0,5	-	-
Amp	10,1	3,4	8,2	2,7	2,9	5,6
Rt	2,3	6,7	5,6	5	1,1	2
Ttn	-	-	0,3	-	-	1,3
Ep	5,9	9,9	10,3	4,1	2,9	5,6
Spl	1,3	1	-	1,4	-	0,3
Py	2	1,2	1,9	-	-	-
Chl (Bt)	0,7	1	0,3	0,9	-	-
Px	-	0,7	-	-	-	-
Opq	15	15,8	11,2	68,5	82,1	42,5
Sil	-	-	-	-	0,4	-
And	1,3	-	0,6	-	-	0,3
Aln	0,7	-	0,3	-	-	-
Xnt	0	-	0,6	-	-	-
*ost	3,6	-	0,8	-	-	-



Obr. 6. A) uhlíky pochádzajúce z rozplavenia ohnísk „kultúrnej vrstvy“; B) úlomky kostí nižších stavovcov; vz. LI-1B.  
 Fig. 6. A) Charcoal derived from the wash separation of outbreaks from the „cultural layer“; B) Bone fragments of lower vertebrates; LI-1B sample.

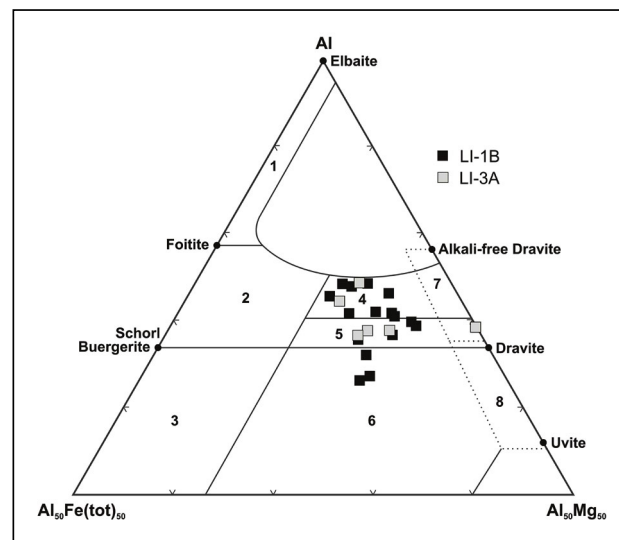
( $Sps_{0-3}Adr_{1-4}Prp_{9-18}Grs_{13-26}Alm_{66-71}$ ), čo indikuje bázický protolit metamorfovaný vo vyššom stupni metamorfózy amfibolitevej fácie. Granáty nevykazujú zonalitu. Vo vzorke sú zastúpené grosulárovo-almandínové granáty ( $Sps_{1-4}Prp_{2-10}Grs_{19-26}Alm_{61-66}$ ). Ich charakter poukazuje na pôvod v metapelitoch nízkej amfibolitevej fácie, pravdepodobne vo svoroch, vzácnejšie vo fylitoch ( $Adr_3Prp_2Grs_{15}Sps_{31}Alm_{49}$ ), v ktorých sa okrem zvýšeného spesartínového komponentu zaznamenala aj rastová zonálnosť (Obr. 9a). Podobná situácia sa zaznamenala vo vzorkách profilu LI-3. Prítomné sú granáty pochádzajúce pravdepodobne z metamorfítov kyslého protolitu ( $Sps_{0-14}Prp_{4-8}Grs_{4-21}Alm_{64-72}$ ), t. j. svorov a rúl, nevyklúčujeme

pôvod niektorých spesartínovo-almandínových zŕn ( $Grs_2Prp_{10}Sps_{24}Alm_{63}$ ) v granitoch (Obr. 7). Vzácnejšie sa zaznamenali zrná s vyšším obsahom pyropovej (27 mol % Prp) a nízkym obsahom grosulárovej molekuly (do 8 mol % Grs; vz. LI-2A). Za protolit takýchto granátov sa považujú granulity (cf. Aubrecht & Méres, 2000).



Obr. 7. A) Zloženie detritických granátov v Fe + Mn-Mg-Ca ternárnom diagrame podľa Mortona et al. (2004). Typ A – Grt z granulitov; typ BI – Grt z intermediárnych až kyslých magmatických hornín; typ BII – Grt z metasedimentov amfibolitevej fácie; typ C – Grt z metabazitov.

Fig. 7. A) Composition of detritic garnets in Fe + Mn-Mg-Ca ternary diagram according to Morton et al. (2004). Type A – Grt from granulites; type BI – Grt from intermediate to acid igneous rocks; type BII – Grt from metasediments of amphibolite facies; type C – Grt from metabasites.



Obr. 8. Ternárny diagram Al-Fe-Mg (Henry & Guidotti, 1985). 1 – granitické pegmatity a aplity bohaté na Li; 2 – granity, s nimi asociované pegmatity a aplity chudobné na Li; 3 – kremenno-turmalinické horniny bohaté na Fe<sup>3+</sup>; 4 – metapelity koexistujúce s Al saturačnou fázou; 5 – metapelity nekoexistujúce s Al saturačnou fázou; 6 – kremenno-turmalinické horniny bohaté na Fe<sup>3+</sup>, Ca-silikátové horniny a metapelity; 7 – nízkovápenaté metaultramafity, metasedimenty bohaté na Cr a V; 8 – metakarbonáty a metapyroxenity.

Fig. 8. Diagram Al-Fe-Mg for tourmalines (Henry & Guidotti, 1985). 1 – Li-rich granites; 2 – Li-poor granites and aplites; 3 and 6 – Fe<sup>3+</sup>-rich quartz-tourmaline rocks; 4 – metapelites and metapsamites co-existed with Al-rich phases; 5 – metapelites and metapsamites not co-existed with Al-rich phases; 7 – low-Ca metaultramafites, Cr- and V-rich metasediments; 8 – metacarbonates and metapyroxenites.

Tab. 3. Reprezentatívne chemické analýzy amfibolov, turmalínov, granátov a Cr-spinelu z alochtónnych sedimentov Liskovskej jaskyne vyjadrené v hmotnostných percentách (hm. %).

Tab. 3. Representative microprobe analyses of amphiboles, tourmalines, garnets and Cr-spinel from allochthonous cave sediments (in wt. %).

	LI-2A Amp		LI-3A Amp		LI-3A Tur					
	stred core	okraj rim	stred core	okraj rim	stred core	okraj rim	stred core	lem margin	okraj rim	
SiO <sub>2</sub>	45,32	44,96	43,62	42,96	45,42	43,28	SiO <sub>2</sub>	36,52	38,11	36,77
TiO <sub>2</sub>	0,78	0,78	0,92	0,87	1,24	0,59	TiO <sub>2</sub>	0,86	0,14	0,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,38	10,43	13,81	14,23	9,81	9,74	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,51	33,45	31,00
MnO	0,38	0,34	0,44	0,37	0,26	0,31	MgO	7,27	11,80	7,00
FeO	14,13	16,12	13,05	13,06	13,49	17,59	CaO	0,21	0,11	0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,04	3,49	2,28	2,15	2,75	4,29	MnO	0,03	0,00	0,00
NiO	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	FeO	7,50	0,16	8,20
MgO	9,93	9,78	10,68	10,51	10,95	8,18	NiO	0,02	0,01	0,00
CaO	9,86	9,89	11,23	11,25	11,81	10,86	Na <sub>2</sub> O	2,68	2,45	2,55
Na <sub>2</sub> O	1,97	2,06	1,54	1,63	1,07	1,95	Cl	0,00	0,01	0,01
K <sub>2</sub> O	0,07	0,07	0,44	0,56	0,05	0,09	K <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,02
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	2,03	2,01	2,04	2,03	2,04	1,98	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10,64	11,05	10,54
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	3,66	3,80	3,63
Cl	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	Σ	100,93	101,11	100,03
O=F,Cl(calc)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ek.F,Cl	0,00	0,00	0,00
Σ	99,92	99,97	100,09	99,77	98,95	98,88	Σ(F,Cl)	100,93	101,11	100,03
Si	6,710	6,693	6,404	6,340	6,750	6,624	Si	5,963	5,993	6,063
Al	1,290	1,307	1,596	1,660	1,250	1,376	AlT	0,037	0,007	0,000
ΣT	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	ΣT	6,000	6,000	6,064
Ti	0,087	0,087	0,102	0,097	0,139	0,068	AlZ	6,000	6,000	6,000
Al	0,522	0,523	0,793	0,815	0,469	0,380	FeZ	0,000	0,000	0,000
Cr	0,001	0,002	0,005	0,012	0,006	0,002	ΣZ	6,000	6,000	6,000
Fe <sup>3+</sup>	0,561	0,391	0,252	0,238	0,307	0,495	AlY	0,028	0,193	0,025
Ni	0,001	0,002	0,000	0,005	0,000	0,000	Ti	0,106	0,017	0,032
Fe <sup>2+</sup>	1,636	1,824	1,511	1,522	1,653	2,188	FeY	1,024	0,021	1,131
Mg	2,192	2,17	2,337	2,312	2,426	1,866	Mn	0,004	0,000	0,000
ΣC	5,000	4,999	5,000	5,001	5,000	4,999	Mg	1,770	2,766	1,721
Mn <sup>2+</sup>	0,048	0,043	0,055	0,046	0,033	0,04	Ni	0,003	0,001	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,115	0,184	0,090	0,090	0,023	0,062	Cr	0,001	0,000	0,003
Ca	1,564	1,578	1,766	1,779	1,881	1,781	ΣY	2,936	2,998	2,911
Na	0,273	0,196	0,089	0,085	0,064	0,117	Y <sub>vák</sub>	0,064	0,002	0,089
ΣB	2,000	2,001	2,000	2,000	2,001	2,000	Ca	0,037	0,019	0,005
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Na	0,849	0,747	0,815
Na	0,292	0,399	0,35	0,382	0,245	0,462	K	0,004	0,004	0,004
K	0,013	0,013	0,082	0,105	0,009	0,018	ΣX	0,889	0,770	0,825
ΣA	0,305	0,412	0,432	0,487	0,254	0,480	X <sub>vák</sub>	0,111	0,230	0,175
O(-W)	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	B	3,000	3,000	3,000
OH	2,000	2,000	2,000	1,997	1,997	2,000	OHV	3,000	3,000	3,000
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	OH <sub>total</sub>	4,000	3,997	3,997
Cl	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	OHW	1,000	0,997	0,997
O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	F	0,000	0,000	0,000
ΣW	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	Cl	0,000	0,003	0,003
Σ	15,305	15,412	15,432	15,488	15,255	15,479	W <sub>total</sub>	1,000	1,000	1,000
**	MFhb	Mhb	Mhb	Mhb	Mhb	FFhb				
***	Fhb	Fed	Prg	Prg	Mhb	Fed				



Tab. 3.

pokračovanie/continued

	LI-1B Grt		LI-3A Grt							LI-3A Cr-Spl	
	stred core	okraj rim	stred core	okraj rim	stred core	okraj rim	stred core	okraj rim	stred core		
SiO <sub>2</sub>	37,40	37,51	37,28	37,39	37,82	36,64	37,63	37,53	37,29	SiO <sub>2</sub>	0,10
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,10	0,04	0,07	0,09	0,01	0,01	0,03	0,08	TiO <sub>2</sub>	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,68	21,65	21,56	21,56	21,60	21,37	21,40	21,52	21,22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,29	1,03	1,26	1,23	0,00	0,00	0,55	0,00	0,45	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,06	0,00	0,08	0,00	0,02	0,04	0,02	0,01	FeO	15,70
MgO	4,35	4,08	2,24	2,69	1,36	2,37	4,74	4,01	1,69	MnO	0,41
CaO	5,59	6,39	9,01	9,75	9,44	1,42	1,39	1,39	7,69	MgO	11,87
MnO	1,21	1,32	1,23	1,30	3,05	4,70	2,07	2,14	0,12	CaO	0,02
FeO	28,49	27,87	27,69	26,14	27,32	32,35	32,49	33,54	31,68	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46,23
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NiO	0,09
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,06	0,03	0,00	0,01	0,03	0,04	0,02	0,00	ZnO	0,19
K <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29
Σ	100,19	100,07	100,35	100,22	100,69	98,92	100,37	100,20	100,23	Σ	98,63
Si	2,959	2,967	2,964	2,963	2,995	2,986	2,989	2,992	2,985	Si	0,003
Ti	0,005	0,006	0,002	0,004	0,005	0,001	0,001	0,002	0,005	Ti	0,000
Al	2,022	2,018	2,021	2,013	2,016	2,053	2,003	2,022	2,002	Al	0,770
Fe <sup>3+</sup>	0,077	0,062	0,076	0,074	0,000	0,000	0,033	0,000	0,027	Fe <sup>3+</sup>	0,073
Cr	0,003	0,004	0,000	0,005	0,000	0,001	0,003	0,001	0,001	Fe <sup>2+</sup>	0,415
Mg	0,513	0,481	0,265	0,318	0,161	0,288	0,561	0,477	0,202	Mn	0,011
Ca	0,474	0,542	0,768	0,828	0,801	0,124	0,118	0,119	0,660	Mg	0,559
Mn	0,081	0,088	0,083	0,087	0,205	0,324	0,139	0,145	0,008	Ca	0,001
Fe <sup>2+</sup>	1,962	1,844	1,842	1,732	1,809	2,205	2,158	2,236	2,120	Cr	1,155
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Ni	0,002
Na	0,005	0,009	0,005	0,000	0,002	0,005	0,006	0,003	0,000	Zn	0,004
K	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	V	0,006
Σ	8,026	8,021	8,025	8,025	7,993	7,989	8,011	7,996	8,009	Σ	3,000
Prp	17,37	16,28	8,98	10,72	5,40	9,79	18,85	16,01	6,74	O	4,011
Alm	63,84	62,40	62,27	58,42	60,81	74,96	72,50	75,14	70,92		
Uv	0,15	0,18	0,00	0,24	0,00	0,06	0,12	0,06	0,03		
Grs	12,18	15,14	22,29	24,09	26,92	4,15	2,23	3,93	20,68		
Sps	2,75	2,99	2,80	2,94	6,88	11,03	4,68	4,86	0,27		
Adr	3,72	3,00	3,67	3,58	0,00	0,00	1,62	0,00	1,34		

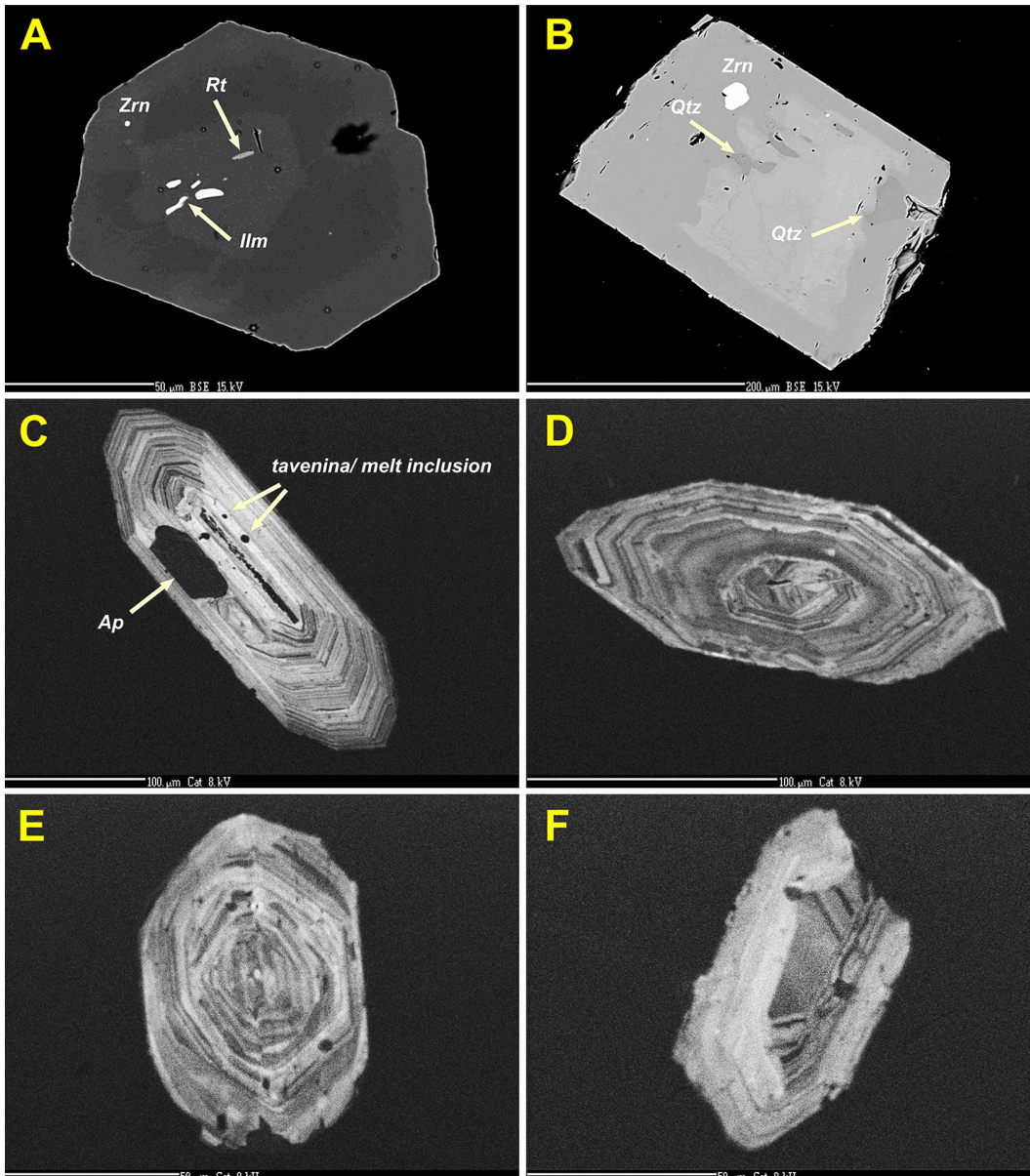
\*vypočítané; \*\*klasifikácia sensu Hawthorne et al. (2012); \*\*\*klasifikácia sensu Leake et al. (1997). Skratky názvov minerálov sensu Whitney & Evans (2010) a Hawthorne et al. (2012); MFhb – magnezio-feri-hornblend, FFhb – fero-feri-hornblend, Fhb – fero-hornblend.

\*calculated; \*\*classification sensu Hawthorne et al. (2012); \*\*\*classification sensu Leake et al. (1997); Abbreviations for names of minerals sensu Whitney & Evans (2010) and Hawthorne et al. (2012); MFhb – magnezio-ferri-hornblende, FFhb – fero-ferri-hornblende, Fhb – ferro-hornblende.

## 6. 2. Amfiboly

Skúmali sa vzorky z profilov LI-1, LI-2 a LI-3 (vzorky LI-1B, LI-2A a LI-3A). Vo vzorkách sú zastúpené <sup>W</sup>(OH, F, Cl) vápenaté amfiboly, t. j.  ${}^B(\text{Ca} + \Sigma\text{M}^{2+}) / \Sigma\text{B} \geq 0,75$ ;  ${}^B\text{Ca} / \Sigma\text{B} \geq {}^B\Sigma\text{M}^{2+} / \Sigma\text{B}$  (Hawthorne et al., 2012). Analyzované amfiboly odpovedajú magnezio-feri-hornblendu, magnezio-hornblendu, fero-feri-hornblendu a pargasitu (Hawthorne et al., l. c., tab. 3), resp.

magnezio-hornblendu, edenitu, fero-edenitu a pargasitu (Leake et al., 1997; tab. 3), pričom zmeny v chemickom zložení v smere stred – periférna zóna zrna sú minimálne. Ide o členy skupiny hornblendu vyskytujúce sa v širokom diapazóne hornín magmatického i metamorfného pôvodu (v metamorfitoch amfibolitovej fácie až po granulitovú fáciu, najmä však amfibolitovú fáciu). Vzhľadom na relatívne nízky (v jednom prípade stredný) obsah Ti (0,07–0,16 *a.p.f.u.*) nepredpokladáme ich vysokoteplotný



Obr. 9. Ťažké minerály (BSE obrázky): A – idiomorfne zrnó granátu s inklúziami rutilu, zirkónu a ilmenitu (vz. LI-2A); B – zonálne zrnó turmalínu s inklúziami kremeňa a zirkónu (vz. LI-1B). Vnútrotná stavba zirkónov (vz. LI-3A). Zirkóny C, D – magmatického (granitoideného) pôvodu; E, F – metasedimentárneho pôvodu.  
Fig. 9. Heavy minerals (BSE images): A – euhedral zonal garnet with rutile, zircon and ilmenite inclusions (LI-2A); B – zonal tourmaline with quartz and zircon inclusions (LI-1B). Internal texture of zircon (CL; LI-3A): C, D – igneous (granitoid) zircon; E, F – metasedimentary origin of zircon.

pôvod. Taktiež možno predbežne vylúčiť na základe nízkeho obsahu Cr (0,002–0,01 *a.p.f.u.*) ultrabázický zdroj. Obyčajne nízky (0,1–0,2 *a.p.f.u.*, ojedinele 0,27 *a.p.f.u.*) obsah Na v pozícii B signalizuje skôr nízkotlakové podmienky (Brown, 1977). Inklúzie v amfiboloch sa nepozorovali.

### 6. 3. Turmalíny

Vo vzorkách LI-1B a LI-3A z profilov LI-1 a LI-3 sa vyskytujú alkalické turmalíny sprevádzané nízkym až stredným obsahom Ca. Zastúpené sú skorylovo-dravitové turmalíny, ktoré v periférnych zónach (smerom k vonkajšiemu lemu) nadobúdajú dravitové zloženie, resp. sa generálne stávajú bohatšie na Mg a Ca, prípadne <sup>V</sup>Al na úkor Na (Obr. 9b). Molárny pomer Fe/(Fe + Mg) varíruje v intervale 0,26–0,45. Na zvýšenie teploty v záverečných štádiách kryštalizácie turmalínu poukazuje obsadenie pozície X alkáliami resp. pokles X-vakancií (Henry & Dutrow, 1996).

Ide o turmalíny, ktoré podľa diagramu používaného na určenie prostredia vzniku turmalínu (Henry & Guidotti, 1985; obr. 8), pochádzajú z metapelitov a metapsamitov bohatých na Al. Pomer X-vakancií vs. <sup>X</sup>Ca v týchto zrnách indikuje stredný stupeň metamorfózy (cf. Bačík et al., 2009). Všetky uvedené fakty sú v súlade s výskytom staurolitu v koncentrácii ťažkých minerálov. Prítomné sú i turmalíny z prostredia metasedimentov bez Al-saturačnej fázy. Zaznamenal sa aj výskyt turmalínu so zložitejšou históriou – vnútorný lem (čistý dravit, Fe # = 0,01, tab. 3) indikuje prostredie nízkovápenatých metaultramafitov resp. metasedimentov bohatých na Cr a V, smerom k periférii ide o prostredie metasedimentov bez prítomnosti Al-saturačnej fázy (Henry & Guidotti, 1985). Vonkajší lem zrna je obohatený o Fe na úkor Al, t. j. možná je prítomnosť substitúcie Fe<sup>3+</sup>Al<sub>1</sub>. Táto chemická zonálnosť môže byť indikátorom progresívnej metamorfózy respektíve rastu turmalínu v dvoch štádiách. Vnútrotný lem, ktorý je oproti strediu zrna ochudobnený o Fe a obohatený o Mg a Al

mohol kryštalizovať v podmienkach relatívne vyššieho tlaku a nižšej teploty, vonkajší lem bohatší o Fe, pričom zastúpenie Mg a Al je nižšie, mohol kryštalizovať v podmienkach nižšieho tlaku a teploty. Všetky generácie turmalínu majú metamorfny pôvod. Vzácnnejšie sa vyskytujú turmalíny pôvodom z kremeňovo-turmalinických hornín prípadne Ca-silikátov a metapelitov (l. c.), ktoré sa zaznamenali vo vzorke LI-1B. Pre ne je typický vyšší obsah  $^{40}\text{Ca} \sim 0,18$ . Generálne možno konštatovať prítomnosť turmalínov z metapelitov najmä stredného stupňa, menej nízkeho stupňa metamorfózy; turmalíny pôvodom z granitov z skúmaných vzorkách absentujú.

#### 6. 4. Zirkón

Variabilita vnútornej stavby detritických zirkónov indikuje ich heterogénny pôvod. Vyskytujú sa oscilačne zonálne zrná so zdedeným jadrom (Obr. 9c), s inklúziami apatitu a taveniny, ktorým pripisujeme magmatický (granitoidný) pôvod. Vzhľadom na počet skúmaných zrn sú v sedimente pomerne vzácne. Časť zirkónov so zdedeným jadrom a nepravidelným oscilačným zónovaním niekoľkokrát atakovaným resorbčnými procesmi a v záverečných štádiách vyvinutým pravidelným oscilačným zónovaním môže pochádzať z migmatitov, respektíve ich vnútorná štruktúra poukazuje na kontakt zirkónu s anatektickou taveninou (granity typu S<sub>2</sub>; obr. 9d). Väčšinu analyzovaných zrn reprezentujú zirkóny metamorfneho pôvodu. Ten býva indikovaný prítomnosťou pravidelne oscilačne zonálneho zirkónu, ktorý postupne prechádza v periférnych častiach do konvolútne zónovaného zirkónu nadobúdajúceho až chaotickú vnútornú štruktúru (Obr. 9e). Zirkóny s nepravidelným oscilačným zónovaním, čiastočne resorbované indikujú metamorfne podmienky (Obr. 9f).

#### 7. DISKUSIA

Skúmané sedimenty (Obr. 2, 3 a 4) zaznamenávajú najmladší vývoj Liskovskej jaskyne a vznikali v čase, keď sa príslušné časti jaskyne nachádzali v epifreatickej zóne a občasne boli zaplavované povodňovými vodami Váhu. Usadený jemnozrný materiál mohol byť počas ďalších záplav redeponovaný, resp. sa v jaskyni (na strmších podlahách) mohli lokálne generovať zosuvy a gravitačné toky malého rozsahu (napr. bahnotoky). Samotné jaskynné priestory vznikli najmä vo freatickej zóne (Bella, 2005).

Relatívne najstaršiu fázu skúmanej depozície reprezentuje vrstva 1 v profiloch LI-1 (Obr. 2) a LI-3 (Obr. 4). Ide o sedimenty vznikajúce sedimentáciou zo suspenzie (*slackwater facies* sensu Bosch & White, 2004). V nasledujúcej fáze sedimentácie došlo k lokálnej redepozícii klastov autochtónneho (zvetrané okolité karbonáty a rozdrobené sintre), ako aj alochtónneho materiálu vodným prúdom, ktorý v suspenzii niesol jemnozrný materiál a väčšie autochtónne klasty boli do prúdu lokálne inkorporované počas transportu v jaskynných priestoroch. Tento materiál (vrstva 3, profil LI-3) nepokryl súvisle povrch staršej sedimentárnej výplne. V tejto fáze sedimentácie došlo aj k depozícii nevýrazne paralelne laminovaného slabo štrkovo-piesčitého kalu (vrstva 2, profil LI-1; obr. 2) a jeho vznik je spätý s lokálnym transportom hrubozrnného materiálu trakciou pri dne (dnový náklad), pričom

jemnejší sediment bol nesený a redeponovaný zo suspenzie. Tieto procesy (hlavne trakcia dnového nákladu) tiež prispeli ku vzniku výrazne laminovaného slabo štrkovo-piesčitého kalu (vzorka LI-2A) v profile LI-2 (Obr. 3). Posledná fáza sedimentácie je opäť charakteristická prítomnosťou jemnozrných sedimentov podobného charakteru a genézy ako má vrstva 1. Najvyššiu (resp. relatívne najmladšiu?) časť výplne skúmaných profilov tvorí slabo štrkovo-piesčité kal s obsahom redeponovaných uhlíkov (vrstva 3 v profile LI-1 a vrstva 5 v profile LI-3). Pravdepodobne ide o tzv. „kultúrnu vrstvu“ (Lóczy, 1878), v ktorej bolo objavených množstvo archeologických nálezov, z ktorých najstaršie pochádzajú z eneolitu (Struhár, 1999). Sediment tejto vrstvy je nevytriedený, bez sedimentárnych štruktúr a pravdepodobne bol transportovaný a usadený pri jednej udalosti vo forme bahnotoku. Bahnotok redeponoval zmes sedimentu (prevažne kalu), uhlíkov a vody (s obsahom sedimentu a uhlíkov v bahnotoku zvyčajne viac ako 60 %) na krátku vzdialenosť a v krátkom časovom úseku. Spúšťacím mechanizmom tohto procesu mohlo byť zosúvanie a následná redepozícia nespevného a vodou saturovaného staršieho sedimentu, pravdepodobne po intenzívnych zrážkach alebo topení snehu (predmetná časť jaskyne, narušená strmými tektonickými poruchami, sa nachádza neďaleko od povrchu).

Jednotlivé vzorky skúmané v troch profiloch Liskovskej jaskyne sa významne v obsahu priesvitných ťažkých minerálov nelíšia, odhliadnuc od zvýšeného obsahu Fe oxi-hydroxidov sekundárneho pôvodu vo vzorkách z vyšších častí profilu LI-3, ktoré môžu vzniknúť priamo v sedimente v diagenetickom alebo post-diagenetickom štádiu a tým nesignalizujú zmenu zdrojovej oblasti; alebo môžu súvisieť s limonitovo-hematitovým infiltračným zrudnením, ktoré v karbonátoch hronika neďaleko Liskovskej opísal Maheľ et al. (1964). Na druhej strane môžu indikovať vyšší podiel primárnych opakných minerálov (najmä magnetitu prípadne pyritu?) v sedimente, ktoré sa v týchto vzorkách už nezaznamenali. Uvedené minerály nie sú však pre provenienčné účely smerodajné.

Zo spomínaných charakteristík alochtónnych jaskynných sedimentov vyplýva, že pravdepodobne vznikli miešaním materiálu z niekoľkých zdrojov. Habitus niektorých priesvitných minerálov (granát, turmalín) indikuje najmä ich metasedimentárny pôvod, prípadne resedimentáciu. Minerálna asociácia tvorená granátom, staurolitom, rutilom, epidotom, sillimanitom, andaluzitom, monazitom, zirkónom a turmalínom pochádza zo svorov a rúl; amfiboly spolu s grosulárovo-almandínovými granátmi poukazujú na pôvod v amfibolitoch. Identická asociácia minerálov v siliciklastikách, pre ktoré je príznačný mierne zaoblený habitus, indikuje recykláciu v paleogénnej výplni. Od zloženia paleogénnych sedimentov (cf. Gross et al., 1980) tvoriacich výplň Liptovskej kotliny sa jaskynné sedimenty čiastočne líšia vyšším obsahom apatitu a epidotu (aj keď rozdiely v kvantitatívnom zastúpení možno zdôvodniť rozdielom v spracovávanej veľkostnej frakcii), prítomnosťou Cr-spinelu, dominanciou mierne zaoblených zirkónových zrn, nižším zastúpením staurolitu (v paleogénnych sedimentoch je považovaný za hlavný minerál; l. c.). Paleogénne sedimenty Liptovskej kotliny zrejme nie sú jediným zdrojom materiálu pre alochtónnu sedimentárnu výplň jaskyne. Idiormfné zirkóny s pravidelným oscilačným zónovaním, euhedrálne až subhedrálne apatit, časť epidotu (?) a „obálkový“

titanit pochádzajú očividne z granitoidov. Spesartínovo-almandínové granáty signalizujú pôvod v granitoch typu S. Pyroxén a Cr-spinel môžu byť indikátorom bázických (ultrabázických) hornín hronika v zdrojovom materiáli. Vzhľadom na takmer identický mineralogický charakter jemnozrnných sedimentov v jednotlivých profiloch, ako aj v jednotlivých vrstvách týchto profilov, v skúmaných úrovniach jaskyne nepredpokladáme zmenu zdrojovej oblasti, ale jej heterogénne petrografické zloženie.

Na použitie asociácií ťažkých minerálov prítomných v alochtónnych sedimentoch Liskovskej jaskyne pri identifikácii zdrojových oblastí treba poznať typické asociácie ťažkých minerálov okolitých, najmä kvartérnych sedimentov (napr. akumulčných terás) v jej blízkosti. Napriek tomu, že výskum ťažkých minerálov v sedimentoch jednotlivých terás Váhu realizovaný nebol, heterogénne zloženie ťažkých minerálov v sedimentoch Liskovskej jaskyne umožňuje uvažovať o účasti vôd Váhu na znose skúmaného materiálu do jaskyne, ako to predpokladali Droppa (1971), Hochmuth (1983, 1997) a ďalší; presnejšiu koreláciu zatiaľ nemožno vykonať. Hoci pred jaskyňou na akumulčnej terase T-Ib (2–3 m nad terajším tokom Váhu) i na terase T-III odkrytej neďaleko od jaskyne na okraji bývalého Kubalovho lomu (22 m nad terajším tokom Váhu) je množstvo riečnych štrkov (Droppa, 1972; Hochmuth, 2012), v jaskyni sa hrubozrnejšie sedimenty (obliaky granitoidov, kremencov, rúl, paleobazaltov prípadne vápencov typických pre terasy Váhu, cf. Droppa, 1972) doteraz nenašli (okrem diskutabilného pôvodu niekoľkých obliakov uložených na okraji prekopaného chodníka – Psočka et al., 2006<sup>a</sup>). Subhorizontálne úseky v spodnej časti jaskyne sú svojou výškovou polohou nad terasou T-Ib. Keďže v čase vytvárania akumulácie terasy T-III z jaskyne pravdepodobne vyvierali vody na povrch, alochtónne štrky z riečiska Váhu sa do podzemia nedostali, resp. iba veľmi sporadicky. V rámci hlbšej krasovej cirkulácie podzemných vôd, ktorých infiltračnou oblasťou boli karbonáty Chočských vrchov, vody asi vystupovali pozdĺž zlomov hraste Mnícha do priestoru jaskyne (Bella & Bosák, 2012).

Výsledky nášho výskumu potvrdzujú, že do jaskyne bol transportovaný premiešaný jemnozrnný materiál hornín kryštalického jadra Západných, Vysokých resp. Nízkych Tatier a sedimentárnej výplne centrálnu-karpatskej paleogénnej panvy Liptovskej kotliny, pravdepodobne v mladších fázach vývoja jaskyne pri postupnom znižovaní hladiny podzemnej vody v nadväznosti na zahlbovanie riečiska Váhu. Vzhľadom na rovnaký mineralogický charakter študovaných jaskynných sedimentov (profily LI-1, LI-2 a LI-3) možno predpokladať, že sa do jaskyne dostali pri niekoľkých udalostiach a následne mohli resedimentovať počas neskorších udalostí spojených s privalovými vodami. Na premiešanie starších nespvených jaskynných sedimentov s najmladším usadeným materiálom poukazuje prítomnosť uhlíkov a kostí kultúrnej vrstvy v staršej (spodnejšej) vrstve profilu LI-1 (vz. LI-1B, obr. 6) ako aj analogické minerálne zloženie vrstiev v profile. Proces depozície skúmaných sedimentov bol generálne 2 spôsobmi: 1) relatívne pomalým vypadávaním jemnozrnného sedimentu (prevažne kalu) zo suspenzie v pomalom až stojatom vodnom prúde (*slackwater facies*), v niektorých prípadoch (lamínované sedimenty) s trakciou dnového nákladu, alebo 2) rýchlym „zamrznutím“ kašovitého, vysoko viskózneho a hustého sedimentárneho gravitačného toku – bahnotoku (najmladšia udalosť).

Nálezy archeologických artefaktov v alochtónnych sedimentoch Archeologickej chodby nastolujú úvahu o ich mladoholocénom veku. V profiloch LI-1 a LI-3 bol zachytený materiál pochádzajúci z kultúrnych vrstiev (uhlíky antropogénneho pôvodu, úlomky kostí). Prvá fáza osídlenia Liskovskej jaskyne sa datuje do obdobia eneolitu – do záveru trvania lengyelskej kultúry (ludanická skupina – Struhár, 1998, 1999; Struhár & Soják, 2009). Ak predpokladáme spoluúčasť vôd Váhu na transporte a usadzovaní jemnozrnných sedimentov v jaskyni, vzhľadom na ich relatívnu výšku nad súčasným riečiskom, ich mladoholocénny vek je nepravdepodobný. Problémom je využívanie stratigrafických princípov v archeológii. Podľa Neustupného (1960) však archeologické vrstvy nemožno považovať za geologické. Váh v súčasnosti tečie strednou časťou Liptovskej kotliny a hlavný vchod do jaskyne je približne 12 m nad jeho eróznou bázou. Počas holocénu zrejme netiekol v blízkosti jaskyne, o čom svedčí rozľahlý povrch akumulčnej terasy T-Ib pred jaskyňou (Hochmuth, 1997). Materiál kultúrnych vrstiev sa zmiešal so staršími sedimentmi pôsobením neskorších sedimentárno-gravitačných procesov na šikmých akumulčných podlahách.

Výraznejšia zmena výškových pomerov medzi aktívnym riečiskom Váhu a vchodom do jaskyne následkom neotektonických pohybov na zlomoch ohraničujúcich hrásť Mnícha je v holocéne málo pravdepodobná. Vylučuje to aj v.-z. orientácia paleonapätového poľa počas holocénu (cf. Hók et al., 2000; Pešková et al., 2011).

Alochtónne povodňové vody, ktoré transportovali opísané jemnozrnné sedimenty, vnikali cez neveľké otvory a pukliny do jaskyne zrejme už oveľa skôr a to v strednom až mladšom pleistocéne. Paleomagnetizmus sedimentov v profile LI-2 (na strednej vývojovej úrovni) ukazuje, že sú mladšie ako 780 ka (Pruner ex Bella & Bosák, 2012). Hrubozrnejší materiál sa usadzoval na priestrannej nive pred jaskyňou. Morfológia podzemných priestorov a zloženie alochtónnych sedimentov ukazuje, že na modelácii Liskovskej jaskyne sa čiastočne podieľali vody Váhu, ktoré do podzemia vnikali prevažne nesústredenou infiltráciou cez aluviálne sedimenty agradovaného riečiska a počas povodní cez otvory neumožňujúce transport hrubozrnejších sedimentov (cf. Bella, 2005; Bella & Bosák, 2012).

## 8. ZÁVER

Mineralogický a petrografický výskum jemnozrnných siliciklastických sedimentov, ktoré pokývajú podlahu veľkej časti chodieb labyrintovej Liskovskej jaskyne, doplnil poznatky o ich alochtónnom pôvode so zdrojovou oblasťou v hornej časti povodia Váhu. Spôsobom uloženia hlavne zo suspenzie zodpovedajú fácií stojatej alebo pokojnej vody (*slackwater facies* sensu Bosch & White, 2004). Staršie nespvené jemnozrnné sedimenty boli počas záplav redeponované a na strmších podlahách sa lokálne generovali zosuvy a gravitačné toky malého rozsahu (napr. bahnotoky). Tieto sedimenty sú uložené v jaskynných priestoroch freatickej morfológie (na mnohých miestach pripomínajúcej hypogénne jaskyne), čiastočne korózne remodelovanými v epifreatickej zóne. V závislosti od fáz zahlbovania riečiska Váhu na povrchu v jaskyni poklesávala hladina podzemnej vody. Počas zaplavovania

nivy, ktorá siahala až po okraj hrastovej štruktúry karbonátov, povodňové vody prenikali do jaskyne a transportovali uvedené alochtónne sedimenty. Vzhľadom na zvyšky riečnych terás v bližšom i vzdialenejšom okolí jaskyne, sa transport jemnozrných siliciklastických sedimentov do stredných a spodných častí jaskyne uskutočňoval v strednom pleistocéne.

**Podakovanie:** Úloha sa riešila v rámci vedeckého grantového projektu VEGA č. 1/0030/12 „Hypogénne jaskyne na Slovensku: speleogenéza a morfofogenetické typy“. Za zhotovenie obrázka 1a ďakujeme M. Gallayovi. Za konštruktívne pripomienky ďakujeme Kataríne Šarinovej a anonymnému recenzentovi.

## Literatúra

- Aubrecht R. & Méres Š., 2000: Exotic detrital pyrope-almandine garnets in the Jurassic sediments of the Pieniny Klippen Belt and Tatric Zone: where did they come from? *Mineralia Slovaca*, 32, 1, 17–28.
- Bačík P., Pršek J. & Lipka J., 2009: Turmalinické horniny v metamorfovaných vulkanicko-sedimentárnych horninách komplexu Jánovho grúňa v okolí Bacúcha (veporikum). *Mineralia Slovaca*, 41, 4, 433–444.
- Bella P., 2005: K morfológii a genéze Liskovskej jaskyne. *Slovenský kras*, 43, 37–52.
- Bella P. & Bosák P., 2012: Speleogenesis along deep regional faults by ascending waters: case studies from Slovakia and Czech Republic. *Acta Carsologica*, 41, 2–3, 169–192.
- Bella P., Gaál L. & Bosák P., 2009: Predpoklady a indície vývoja hypogénnych jaskýň na Slovensku. *Aragonit*, 14, 2, 159–161.
- Blair T.C. & McPherson J.G., 1999: Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 1, 6–19.
- Bosch R.F. & White W.B., 2004: Lithofacies and transport of clastic sediments in karst aquifers. In: Sasowsky I.D. & Mylroie J. (Eds.): *Studies of Cave Sediments*. Kluwer Academic, New York, 1–22.
- Bónová K., Hochmuth Z. & Derco J., 2008: Predbežné výsledky mineralogického štúdia fluvialných sedimentov v jaskyni Skalísty potok (Slovenský kras). *Slovenský kras*, 46, 277–286.
- Brown E.H., 1977: The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. *Journal of Petrology*, 18, 1, 53–72.
- Droppa A., 1971: Geomorfologický výskum Liskovskej jaskyne v Liptovskej kotline. *Československý kras*, 20, 75–84.
- Droppa A., 1972: Výskum riečnych terás v okolí Ružomberka. *Liptov 2 - Vlastivedný zborník*, 11–25.
- Gaál L. & Psotka J., 2006: Príspevok ku geológii Bystrianskej jaskyne. In: Bella P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň 5*, zborník referátov z vedeckej konferencie, Demänovská Dolina 26. – 29. 9. 2005, Liptovský Mikuláš, 56–66.
- Gross P., 1971: Geológia západnej časti Liptovskej kotliny. *Geologické práce, Správy*, 56, 109–124.
- Gross P., 1980: Tektonika. In: Gross P. & Köhler E. (Eds.) et al.: *Geológia Liptovskej kotliny. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava*, 116–121.
- Gross P., Köhler E., Papšová J. & Snopková P., 1980: Geológia a stratigrafia sedimentov vnútrokarpatského paleogénu. In: Gross P. & Köhler E. (Eds.) et al.: *Geológia Liptovskej kotliny. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava*, 22–72.
- Gross P., Filo I., Halouzka R., Haško J., Havrila M., Kováč P., Maglay J., Mello J. & Nagy A., 1994: Geologická mapa južnej a východnej Oravy, 1:50 000. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.
- Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher, J.C. & Welch M.D., 2012: Nomenclature of amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 97, 2031–2048.
- Henry D.J. & Dutrow B.L., 1996: Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. In: Grew E.S. & Anowitz L.M. (Eds.): *Boron. Mineralogy, Petrology and Geochemistry*. Mineralogical Society of America and Geochemical Society Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 33, 503–557.
- Henry D.J. & Guidotti C.V., 1985: Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist*, 70, 1–15.
- Hlaváč J., Zimák J. & Štelcl J., 2004: „Jeskynní hlíny“ zpřístupněných jeskyní nízkých a Belianských Tatier. In: Bella P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň 4*, zborník referátov z vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003, Liptovský Mikuláš, 89–94.
- Hochmuth Z., 1983: Kras Chočských vrchov, Liskovská jaskyňa. In: Hlaváč J., Hochmuth Z., Vozárik P. & Valaštiak M. (Eds.): *Exkurzný sprievodca krasom Západných Tatier a Chočských vrchov (24. jaskyniarsky týždeň)*. Príloha *Spravodaja SSS*, 14, 1–23.
- Hochmuth Z., 1997: Príspevok k problematike genézy jaskynných úrovní v Liskovskej jaskyni. *Slovenský kras*, 35, 89–96.
- Hochmuth Z., 2012: Liskovská jaskyňa a príhlhlé riečne terasy Váhu. In: Bella P. & Papčo P. (Eds.): *Geomorfológia a integrovaný výskum krajiny. Zborník abstraktov, Exkurzný sprievodca – 7. vedecká konferencia Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV, Ružomberok 10. – 12. 9. 2012*, 62–65.
- Hochmuth Z. & Patek P., 1983: Liskovská jaskyňa a jaskyne L-2, L-3, L-4, Pódorys (1977). *Spravodaj SSS*, 14, 1, 12–13.
- Hók J., Bielik M., Kováč P. & Šujan M., 2000: Neotektonický charakter územia Slovenska. *Mineralia Slovaca*, 32, 459–470.
- Janáček P., 1968: Zpráva o výskume a o prieskumných prácach v Liskovskej jaskyni. *Slovenský kras*, 6, 83–86.
- Janáček P. & Šrol S., 1965: Zpráva o výskume Liskovskej jaskyne. *Slovenský kras*, 5, 109–110.
- Jurečka M., 2001: Výsledky prieskumnej činnosti v Liskovskej jaskyni (1). *Spravodaj SSS*, 32, 13–18.
- Jurečka M., 2002: Výsledky prieskumnej činnosti v Liskovskej jaskyni (2). *Spravodaj SSS*, 33, 30–35.
- Kempe S., Brandt A., Seeger M. & Vladi F., 1975: “Facetten” and “Laugdecken”, the typical morphological elements of caves developed in standing water. *Annales de Spéléologie*, 30, 705–708.
- Kicińska D. & Glazek J., 2005: Minerality cieziek w osadach Jaskini Bielskiej. In: Gradziński M. & Szelerewicz M. (Eds.): *Materiały 39. Sympozjum Speleologicznego, Starbienio 7.–9. 10. 2005, Kraków*, 34.
- Kojdová M. & Sliva L., 2005: Sedimentologická charakteristika vybraných profilov Demänovskej jaskyne slobody. *Slovenský kras*, 43, 129–144.
- Lange A., 1963: Planes of repose in caves. *Cave Notes*, 5, 6, 41–48.
- Leake B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birchs W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W. & Guo Youzhi, 1997: Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *Canadian Mineralogist*, 35, 219–246.
- Locock A.J., 2014: An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Computers and Geosciences*, 62, 1–11.

- Lóczy L., 1877: A Baráthegeyi barlang megvizsgálásáról. A Baráthegeyi barlangban talált maradványokról. *Természettudományi Közlöny*, 9, 1–16, 321–324.
- Lóczy L., 1878: Die Liskovaer Höhle im Baráthegey (Liptauer comitat). Friedrich Killian's, Budapest, 1–55.
- Mahel M., Andrusov D., Buday T., Franko O., Ilavský J., Kullman E., Kuthan M., Matějka A., Mazúr E., Roth Z., Senes J., Scheibner E. & Zoubek V., 1964: Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape Geologická mapa ČSSR 1:200 000, M-34-XXVI, list Banská Bystrica. Ústřední Ústav Geologický, Bratislava, 269 p.
- Morton A., Hallsworth C. & Chalton B., 2004: Garnet composition in Scottish and Norwegian basement terrains: a framework for interpretation of North Sea sandstone provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 393–410.
- Neustupný J., 1960: Pravek Československa. Orbis, Praha, 309 p.
- Orvošová M., Uhlík P. & Uher P., 2006<sup>a</sup>: Paleokras Ohništa – výskum sedimentárnej výplne Veľkého závrta (Nízke Tatry). *Slovenský kras*, 44, 71–80.
- Orvošová M., Uhlík P. & Uher P., 2006<sup>b</sup>: Alochtónne sedimenty jaskýň vysokohorského krasu Nízkych Tatier. In: Bella P. (ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň 5, zborník referátov z vedeckej konferencie, Demänovská Dolina 26. – 29. 9. 2005. Liptovský Mikuláš, 95–104.
- Panoš V., 2001: Karsologická a speleologická terminologie. Knižné centrum, Žilina, 352 p.
- Pešková I., Hók J. & Sklenková – Hlavnová A., 2011: The integration of the brittle structures analysis, river terraces asymmetry and travitronics – an approach to detect the Quaternary tectonics (Liptov region, Western Carpathians). In: Lexa O., Jeřábek P. & Závada P. (Eds.): Abstracts of the 9<sup>th</sup> CETEG 2011 meeting – Skalský Dvůr, *Travaux Géophysiques*, 40, 60.
- Powers M. C., 1953: A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, 117–119.
- Pspotka J., Gaál L. & Peško M., 2006<sup>a</sup>: Príspevok ku geológii Liskovskej jaskyne. *Aragonit*, 11, 10–14.
- Pspotka J., Janočko J. & Bella P., 2006<sup>b</sup>: Hlinená chodba Demänovskej jaskyne slobody – predbežné výsledky geomorfologického a sedimentologického výskumu. In: Bella P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň 5, zborník referátov z vedeckej konferencie, Demänovská Dolina 26. – 29. 9. 2005. Liptovský Mikuláš, 47–55.
- Schumacher J.C., 2007: Metamorphic amphiboles: Composition and Coexistence. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 67, 359–416.
- Struhár V., 1998: Záchranný archeologický výskum a objav kultového objektu v Liskovskej jaskyni. *Slovenský kras*, 36, 173–178.
- Struhár V., 1999: Eneolitický kolektívny hrob z jaskyne pri Liskovej, okr. Ružomberok. In: Otázky neolitu a eneolitu našich krajín – 1998. Zborník referátov, SAV, Nitra, 203–216.
- Struhár V. & Soják M., 2009: Liskovská jaskyňa – prehistorické sanktuárium v Chočskom pohorí. *Aragonit*, 14, 45–50.
- Tucker M.E., 2001: Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks, 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell Publ., 262 p.
- Tulis J. & Novotný L., 1989: Jaskynný systém Stratenskej jaskyne. Osveta, Martin, 452 p.
- Whitney D.L. & Evans B.W., 2010: Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185–187.

**Summary:** The Liskovská jaskyňa Cave – one of the well-known caves in Slovakia – is located in the western part of the Liptovská kotlina Basin in the partial tectonic horst composed of Triassic limestones at foothills of the Chočské vrchy Mts. (Western Carpathians, Fig. 1). A combination of sedimentological and mineralogical methods with emphasis on heavy

mineral assemblage research applied to allochthonous fine-grained sediments in the Liskovská jaskyňa Cave were used for the identification their provenance and sedimentary history. Allochthonous mostly fine-grained sediment was studied in three profiles (LI-1 to LI-3, Fig. 2–4). The investigated profiles show the upper part of the sedimentary fill providing a record of the youngest sedimentary processes that took place in the cave. The profiles have preserved several phases of erosion and deposition of the clastic material. The older sediments (layer 1–4 in Fig. 2 and 3, layer 1–4 in Fig. 4) originated mostly from the suspension in slow water flow to stagnant water (slackwater facies sensu Bosch & White, 2004). The youngest cave sediments are characterized by an unsorted mixture of mud, sand, and gravel (with small fragments of charcoal) without sedimentary structures (layer 3 in Fig. 2, layer 5 in Fig. 4). This material was re-deposited, transported and deposited from single gravity flow (mudflow) probably during the younger flooding event. A triggering mechanism of mudflow could be slumping, which have been locally generated on steeper cave floors.

Based on mineralogical study the cave sediments are composed of quartz, muscovite, calcite, chlorite, K-feldspar, plagioclase, and dolomite. A heavy mineral assemblage consists of garnet, zircon, apatite, monazite, tourmaline, staurolite, amphibole, rutile, titanite, epidote, sillimanite, albanite, andalusite, pyroxene, and xenotime. Ilmenite, pyrite, magnetite, Cr-spinel, hematite, Cu-sulfides, and Fe-oxyhydroxides represent the opaque minerals (Tab. 2.). Mineralogical compound of the sediments indicates the heterogeneous source material. Chemical composition of the tourmaline and garnet suggests their origin in the various types of metamorphic rocks. Chemical composition of amphibole refers to the hornblende group members originating in metamorphic rocks (mainly amphibolite facies conditions) or occasionally igneous ones. Zircon cathodoluminescence indicates the grains were derived from granitoids and metamorphic rocks, too (Fig. 9c–f). Habitus of the minerals points to their recycling into Palaeogene sedimentary succession.

Palaeogene sediments representing sedimentary fill of the Liptovská kotlina Basin (partial subbasin of the Central Carpathian Palaeogene Basin) probably are not the exclusive source material for the allochthonous sedimentary fill of the Liskovská jaskyňa Cave. Euhedral zircons with regular oscillatory zoning, euhedral to subhedral apatite, epidote, and “envelope” titanite obviously originate from the granitic rocks. Granitic tourmaline absents, garnets derived from granite occur rarely. Cr-spinel and pyroxene may indicate the ultrabasic source rocks derived from the Hronicum Superunit. Almost identical mineralogical character of the fine-grained sediments in the individual profiles, as well as in the individual layers of these profiles in the investigated cave levels suggests no change of the source region, but its heterogeneous petrographical composition. The results of our research confirm that the fine-grained sedimentary material from the Tatricum crystalline basement and sedimentary fill of the Central Carpathian Palaeogene Basin (Liptovská kotlina Basin) was transported into the cave, probably during its younger development stages while gradually lowering the groundwater level in response to countersinking stream of the Váh River. Based on the similar mineralogical character of the investigated cave sediments (in the profiles LI-1, LI-2, and LI-3) can be assumed that they were got to the cave at some events and could subsequently re-deposited during the subsequent floods. In view of the remnants of river terraces located near and distant surroundings of the cave, the transport of fine-grained siliciclastic sediments from the surface into the middle and lower parts of the cave performed in the Middle Pleistocene.