

ZÁVRTY NA KRSASOVEJ PLOŠINE BIELA SKALA A ICH MORFOMETRICKÁ ANALÝZA, KUCHYNSKO-OREŠANSKÝ KRAS, MALÉ KARPATY

MICHAL VESELSKÝ¹ – LUKÁŠ ÁGH¹ –
ALEXANDER LAČNÝ² – MILOŠ STANKOVIANSKY¹

¹ Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava 4; michal.veselsky@uniba.sk, lukas.agh@gmail.com, stankoviansky@fns.uniba.sk

² Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra geológie a paleontológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava 4; lacny@fns.uniba.sk

M. Veselský, L. Ágh, A. Lačný, M. Stankoviansky: The morphometric analysis of dolines on the karst plateau Biela skala, Kuchyňa-Orešany Karst, Malé Karpaty Mts., western Slovakia

Abstract: Dolines as the most specific surface karst forms are enclosed depressions with variable dimensions and their sides range from gently sloping to vertical. Dolines situated on the karst plateau Biela skala in the Kuchyňa-Orešany Karst have been subject of research of many authors, but their view on the number and nomenclature are different. The aim of the presented work is therefore to amplify and clarify the existing knowledge and detailed mapping of dolines in the pursuit of their morphometric analysis and subsequent completion of the geomorphological research of dolines in Kuchyňa-Orešany karst plateaus. The Archer Field PC was used to assign coordinates to each doline and subsequently new nomenclature was created. Individual dolines were named in SE-NW direction as doline *bs1* to doline *bs41*. We measured 11 parameters from DMR, which has been created from elevation points collected by total station Topcon GTS-105N. On the basis of these measurements and detailed geological and geomorphological survey of the study area, we can approve formation of dolines on the tectonic structures of NW-SE and NE-SW directions respectively and the relation between geology and geomorphology.

Key words: karst geomorphology, morphometric analysis, dolines, karst plateau Biela skala

ÚVOD

Závrty ako najšpecifickejšie povrchové formy krasového reliéfu predstavujú uzavreté depresie variabilných rozmerov s mierne naklonenými až takmer vertikálnymi bočnými stenami (Bondesan et al., 1992; Williams, 2004). Ich morfológia je ovplyvnená geomorfologickými podmienkami, ktoré vplývajú na vznik geomorfologických činitelov a následný priebeh geomorfologických procesov (Minár, 1996). Uznávané sú štyri základné mechanizmy formovania závrtov (korózia, kolapsy, sufózia a subsidencia), avšak málokedy reprezentujú monogenetické formy reliéfu (Ford a Williams, 2007). Práve morfometrická analýza závrtov predstavuje nástroj kvantifikácie pri vytváraní hypotéz o evolúcii a dynamike nielen krasového geosystému, ale aj okolitej krajiny.

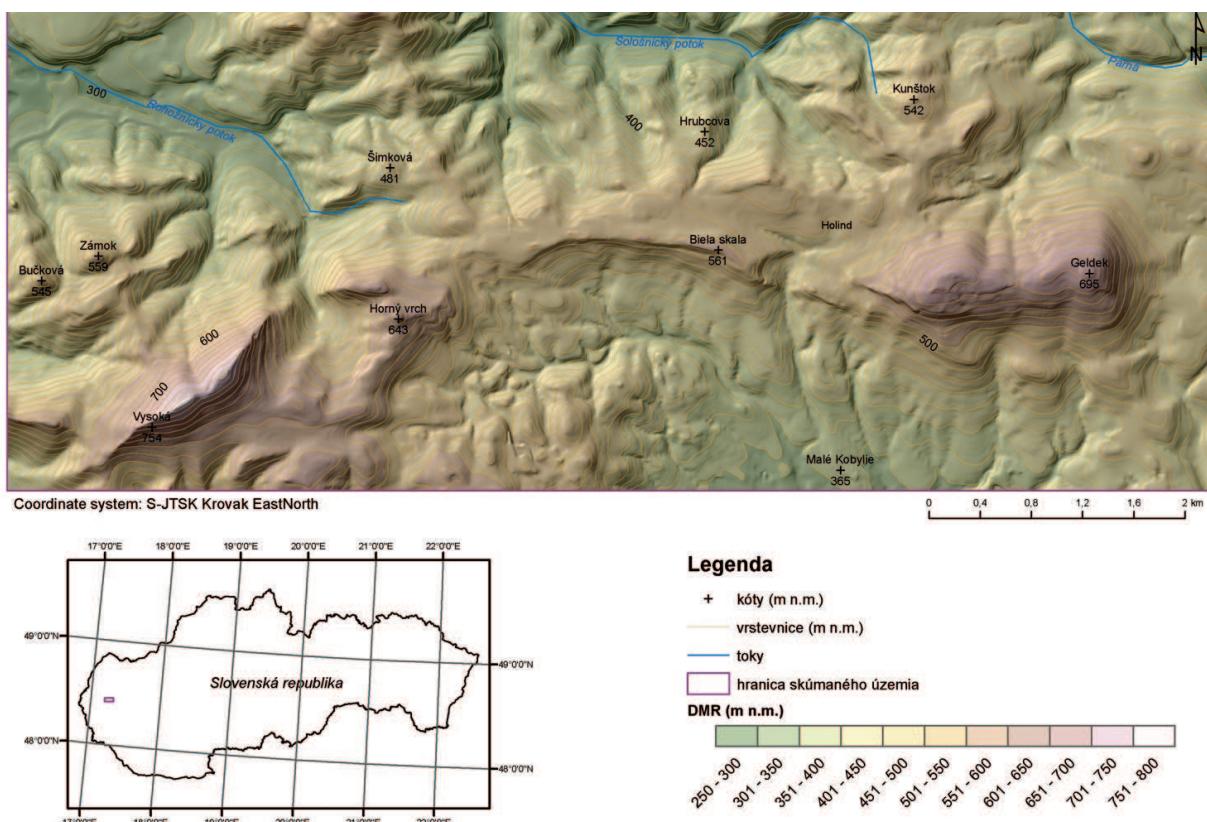
Podnetom mapovania závrtov bol komplexný výskum na krasových plošinách Komberek (Putiška et al., 2013) a Dlhý vrch (Veselský et al., 2014). Závrtom Bielej

skaly sa venovalo viacero autorov, ale názory na ich počet a označenie sa odlišujú (Zaťko, 1959; Stankoviansky, 1970, 1974; Šmíd, 2008; Lačný, 2012 a iní). Cieľom práce je preto doplniť a spresniť doterajšie poznatky a podrobne zmapovať závrtky v snahe o ich morfometrickú analýzu a následnú kompletizáciu geomorfologického výskumu závrtov krasových plošín Kuchynsko-orešanského krasu.

ZÁKLADNÉ ÚDAJE A NÁČRT PROBLEMATIKY

Krasová plošina Biela skala s rozlohou 1,41 km² sa nachádza v strednej časti Pezinských Karpát, v oblasti Kuchynsko-orešanského krasu, medzi obcami Kuchyňa a Horné Orešany. Oblast' kóty Biela skala (561 m) je situovaná na južnom okraji rovnomennej plošiny a spolu s vrcholom Vysoká (754 m) a Geldek (695 m) tvorí trojvršie (obr. 1), ktoré sa ako kulisa strmo dvíha na južnom okraji Bielych hôr nad miernejsie modelovaný reliéf na kryštaliku Pezinských Karpát. Trojvršie tvorí najjužnejšiu zo štyroch kulis v Bielych horách. Na kulisovité usporiadanie štruktúrnych chrbtov a hrebeňov v severnej časti Pezinských Karpát poukazujú už Hromádka (1935) a Lukniš (1952). Hromádka (1956) tunajší reliéf práve pre toto špecifické usporiadanie hrebeňov nazýva apalačským. Predmetná trojvrcholová kulisu sa viaže na vápencovo-dolomitický komplex fatrika (vysockého príkrovu), uklonený na SZ a S, s vrstevnými čelami vystupujúcimi na JV a J. Jej jednotlivé vrcholy, podobne ako vrcholy v ostatných kulisach, sú vlastne monoklinálne hrebene typu kozích chrbtov so skalnými výstupmi na vrstevných čelach karbonátov (Stankoviansky, 1974).

V porovnaní s Vysokou a Geldekom má Biela skala výrazné odlišnosti. Je oveľa nižšia, čo si všíma už Hromádka (1935), a jej povrch je pomerne plochý. Krasová plošina, zrezávajúca jej vrchol, predstavuje zvyšok zarovnaného povrchu z panónu



Obr. 1. Lokalizácia krasovej plošiny Biela skala
Fig. 1. Localization of karst plateau Biela skala

– stredohorskej rovne (Stankoviansky, 1974; Jakál et al., 1990). V zhruba z.-v. smere pretiahnutá plošina vystupuje vo výškach 500 – 550 m n. m., so šírkou zväčšujúcou sa smerom na východ, pričom maximálnu hodnotu dosahuje západne od Holindu. Plytká úvalinovitá depresia s lineárne usporiadaným výskytom zárvsov rozdeľuje plošinu na dve časti. Západná časť je mierne uklonená na sever a východná na juh (Stankoviansky, 1970). Plošina je z juhu aj zo severu ohraničená štruktúrno-litologicky podmienenými nevysokými chrbtami. Severný chrbát je na viacerých miestach prerušený závermi dolín, ústiacich zľava do doliny Sološníckeho potoka. Južný chrbát, ktorého súčasťou je i vrchol Bielej skaly, je výrazne výškovo asymetrický. Smerom na sever, teda k plošine, vystupuje menej výrazne, zato smerom na juh sa v porovnaní s Vysokou a Geldekom „síce nepríliš vysoko, ale strmo dvíha nad reliéf na kryštalíniku“ (cf. Hromádka, 1935).

V minulosti bolo územie krasovej plošiny obývané, čo dosvedčuje listina z roku 1478 z archívu malackého panstva, v ktorej sa spomína „Colonia sub Monte Rachstum“, teda malá osada na horskej lúčine Holind, ležiaca nedaleko sedla medzi Bielou skalou a Geldekom. Obyvateľstvo tvorili pravdepodobne prenasledovaní protestantskí „Českí bratia“, ale nie je možné vylúčiť ani nemeckých „Huncokárov“. Po vyhlásení tolerančného patentu v roku 1781 sa obyvateľstvo vystňovalo do väčších obcí a na území osady boli zriadené vápenné pece. Práve antropogénny zásah do krajiny bol dôvodom nevyhnutnej diferenciácie zárvsov a vápenných jám pri podrobnom mapovaní. Základným rozlišovacím znakom sú rezíduá uhlíka a značne rozdielny tvar premodelovaného zárvta. Nie vždy však možno jednoznačne rozhodnúť, či vápenná jama nie je iba antropogénne premodelovaný zárvrt.

Výskum zárvsov Kuchynsko-orešanského krasu má dlhú história. Priamo z oblasti Bielej skaly sa im venoval už Zaťko (1959), ktorý spomína dva závrty SZ od kóty Geldek, v blízkosti horárne na Holinde. V depresii smeru SZ-JV si všíma jeden plytký zárvrt s tvarom misy, hlboký 1 m, a druhý, menší zárvrt, antropogénne premodelovaný. Krasové „jamy“ na Bielej skale okrajovo spomína aj Lukniš (1972). Za najprínosnejšie možno považovať práce Stankovianskeho (1970, 1974). Vyčleňuje dosiaľ nerozlísnené samostatné územie Kuchynsko-orešanského krasu s rozlohou 26 km², ktoré je od Plaveckého aj Smolenického krasu výrazne morfologicky i hydrogeologicky oddelené. Autor sa zameriava na geomorfologické pomery strednej časti Malých Karpát, pričom uvádzajú závrty z oblasti krasovej plošiny Biela skala. Ide o prvé systematické hodnotenie zárvtovej línie v danej oblasti, s opisom 35 zárvsov v líni. Stankoviansky predpokladá vznik zárvsov na tektonicky predisponovanej líni zsz.-vjj. smeru. Takisto opisuje zárvrt na lúčine Holind a ďalšie 2 závrty 100 m východne od Holindu. Väčší z nich, do ktorého ústi 15 m dlhý zárez, plní funkciu občasného ponoru. Prínosné je ich schematické znázornenie. Okrem lineárneho výskytu Stankoviansky opisuje ďalšie závrty nepravidelne roztrúsené po plošine Bielej skaly. Celkovo uvádzajú vo vysockých vápencoch 46 zárvsov; pri podrobnejšom výskume sme však niektoré charakterizovali ako zložené a iné sme definovali ako vápenné jamy (Ágh et al., 2015). Z toho dôvodu v novej nomenklatúre udávame menší počet zárvsov ako Stankoviansky. Šmíd (2008) opisuje líniu 31 zárvsov v plytkej širokej úvaline so sklonom 3°. Závrty charakterizuje ako malé a veľmi súmerné, lievíkovité alebo kotlovité, s priemerom 3 – 5 m a hĺbkou 0,5 – 2 m. Ich vznik spája s litologickým rozhraním vápenca a nadložného dolomitu a zamýšľa sa nad sz. drenážou v smere úklonu karbonátov (40°). Najsystematickejšie sa zárvtom venoval Lačný (2008, 2012), ktorý pomocou GPS presne lokalizoval 36 zárvsov v plytkej úvaline, 350 m severne

od kóty Biela skala, a opísal geologickú stavbu ich podložia. Najväčší závrt je 8 m dlhý a 4 m hlboký. Ostatné závrty dosahujú dĺžku v priemere 3 – 6 m s hĺbkou 0,3 – 4 m. Štyri závrty na základe ronovej ryhy klasifikoval ako občasne aktívne závrty.

Sumarizáciu závrtov a ich jednotnej nomenklatúre sme sa venovali v predchádzajúcej práci (Ágh et al., 2015).

METODIKA

Na dosiahnutie stanovených cieľov sme kombinovali viaceré metodické postupy. Základným predpokladom pre výskum bolo zozbieranie všetkých dostupných podkladov o záujmovom území. Vzhľadom na skutočnosť, že krasovej plošine sa venovalo viacero autorov, pričom každý použil iné označenie závrtov a lokalizoval iné závrty, bolo nevyhnutné zrealizovať rekognoskačný prieskum s cieľom sumarizácie a vytvorenia jednotnej nomenklatúry. Zber podkladových údajov prebiehal digitalizáciou výškopisu, konkrétnie kót a vrstevníc z topografickej mapy. Ako podklad bola použitá základná mapa SR v mierke 1 : 10 000, ktorej tvorcom je GKÚ. Analógová mapa bola naskenovaná a súradnicovo pripojená do súradnicového systému S-JTSK. Rekognoskáciu terénu sme vykonali v júli 2014. Pomocou GPS Archer Field PC sa nám podarilo bodovo zamerať 41 závrtov s označením *bs1* – *bs41*, ktoré sme spracovali do prehľadnej tabuľky (Ágh et al., 2015). Množina nami zmapovaných závrtov v sebe zahŕňala všetky závrty spomínané jednotlivými autormi, doplnené o nové závrty, ktoré sa nám podarilo lokalizovať.

V druhej časti výskumu sme sa zamerali na morfometrickú analýzu závrtov, ktorá využíva viacero metodických postupov (Cvijič, 1893; Segre, 1948; Williams, 1972; Castiglioni, 1991; Bondesan et al., 1992 a iní). Vzhľadom na pomerne malé územie a snahu o maximálnu presnosť sme sa rozhodli pre automatickú detekciu depresií v kráse (Pardo-Igúzquiza et al., 2013) a ich následnú morfometrickú analýzu s využitím DMR (digitálny model reliéfu) a nástrojov hydrologickej terénnej analýzy. Využitie nástrojov geografického informačného systému (GIS) pri určení hraníc závrtov a ich morfometrických charakteristík predstavuje v porovnaní s ručným, často subjektívnym vyčleňovaním vhodného alternatívu ich automatizovaného ohraničenia. Na základe bodového zamerania závrtov sme rozdelili územie na 5 lokalít a pre každú lokalitu sme vytvorili podrobný DMR na základe výškového bodového poľa zozbieraného pomocou totálnej stanice Topcon GTS-105N. Na ploche 0,076 km² (*Lokalita 1* – 1800 m², *Lokalita 2* – 875 m², *Lokalita 3* – 2031 m², *Lokalita 4* – 20 900 m², *Lokalita 5* – 3825 m²) sme zozbierali 2685 výškových bodov (*Lokalita 1* – 149 bodov, *Lokalita 2* – 73 bodov, *Lokalita 3* – 2031 bodov, *Lokalita 4* – 295 bodov, *Lokalita 5* – 137 bodov) a následne sme v prostredí ESRI ArcGIS 10.1 vytvorili digitálny model reliéfu s rozlíšením 0,1 m na pixel (Spline – tension). Podľa Pardo-Igúzquiza et al. (2013) sme použili nástroj „Fill“ (Spatial Analyst Tools – Hydrology), na základe ktorého sme vyplnili DMR každej lokality, čím sme dostali hydrologicky korektné modely. Na základe rozdielu pôvodných a vyplnených digitálnych terénnych modelov jednotlivých lokalít (1 až 5) sme vytvorili pre každú lokalitu nový digitálny terénny model, ktorého reklasifikáciu sme získali hranice závrtov predstavujúce sečnú plochu najnižšieho bodu ich okrajovej hrany. Následne sme takto automatizované ohraničené závrty porovnali s bodovo zameranými závrtmi a zistili sme zlúčenie závrtov *bs9* a *bs10*, *bs13* a *bs14*, *bs15* a *bs16*, *bs31* a *bs32*. Zlúčenie dvojíc závrtov do jedného je spôsobené nastavením nástroja „Fill“, ktorý vyplní všetky depresie v digitálnom

modeli reliéfu po tzv. *pour point*, teda bod, z ktorého by sa prelala voda, keby sme depresiu vyplnili po jej okraj. Pri použití nástroja sa nastavuje parameter „*z_limit*“, teda maximálny výškový rozdiel medzi „*pour point*“ a najhlbším bodom depresie, ktorý bude vyplnený. Teda „*z_limit*“ rozhoduje, či bude depresia vyplnená alebo nie. Ak je skutočná hĺbka depresie väčšia ako „*z_limit*“, depresia nebude vyplnená. Ak máme dva závrty v pokročilom štádiu vývoja blízko seba, oddelené už iba miernym „chrbtom“ pod úrovňou „*pour point*“, nástroj „*Fill*“ nám vyplní tieto závrty, akoby boli jeden zložený závrt. Z toho dôvodu sme museli takto zdvojené závrty dodatočne rozdeliť na základe ich DMR. Porovnaním automaticky ohraničených závtrov a závrrov lokalizovaných v rekognoskačnom prieskume sme zistili absenciu závrtu *bs23*. Tento závrt sme nedostali automatickým ohraničením vzhľadom na jeho veľmi malé rozmer a najmä malú hĺbku, a preto ani nevstupoval do ďalšej analýzy. Z celkového počtu závtrov 41 sa nám podarilo poloautomatizované ohraničiť 40 závtrov, ktoré vstupovali do následnej morfometrickej analýzy (Zonal Statistic, Zonal Geometry, Create Longest Transect, Linear Directional Mean...).

V rámci geologického výskumu sme realizovali detailné geologické mapovanie širšieho okolia. Za podklad mapovania sme si zvolili geologickú mapu Poláka et al. (2011).

ZÁKLADNÁ GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

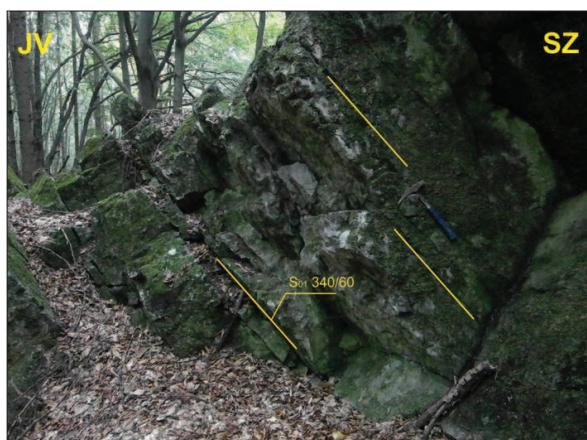
Krasovú plošinu Bielej skaly možno podľa Stankovianskeho (1974) a Jakála et al. (1990) považovať za relikt panónskeho povrchu tzv. stredohorskej rovne, tvorený prevažne karbonátmi vysokého súvrstvia. Okrem karbonátov fatrika sa na geologickej stavbe územia podielajú aj paleoalpínske jednotky tatrika a kryštalínika a prevláda zastúpenie zlomov jv.-sz. smeru. Tatrikum je reprezentované sedimentmi a karbonátmi kriedy kadlubskej jednotky, kryštalínikum je zastúpené granodioritmi a tonalitmi modranského masívu (Polák et al., 2012). Keďže závrty ako formy krasového reliéfu vznikajú v silnej väzbe na geologické podložie, bolo potrebné vykonať detailné geologické mapovanie okolia plošiny.

Geologické mapovanie sme zrealizovali koncom roku 2014 a jeho výsledkom je nová geologická mapa oblasti (obr. 2). Od aktuálnej geologickej mapy Malých Karpat (Polák et al., 2011) sa odlišuje najmä rozsahom ramsauských dolomitov. Ako sa preukázalo aj na krasových plošinách Komberek (Putiška et al., 2013) a Dlhý vrch (Veselský et al., 2014), typické sivé ramsauské dolomity budú absentujú vo vrstevnom slede, alebo sú zastúpené iba marginálne. Totožná situácia je aj na Bielej skale. Dolomity tu vystupujú skôr ako nevymapovateľné šošovky, resp. dolomitizované polohy vápencov vysokého súvrstvia. Často sú dolomitizované aj tmavé bitumenózne vápence gutensteinskej fácie. Ramsauské dolomity sú naznačené v prahu severne od Bielej skaly na kontakte s karpatským keuprom, kde sa dolomity nachádzajú (obr. 2). Nedá sa však s určitosťou povedať, či tieto dolomity už nie sú súčasťou súvrstvia karpatského keupru.

Pri mapovaní sme vytvorili hypotézu vzniku línie závtrov na tektonickej diskontinuite podmienenej predpokladaným zlomom sz.-jv. smeru. Podobný zlom predpokladáme aj v ssv.-jjz. smere, ktorý prebieha Holindom a križuje zlom sz.-jv. smeru. Ak by bola naša hypotéza správna, zlom smeru SZ-JV by bol mladší ako zlom prechádzajúci Holindom a šlo by o smerný dextrálny posun. Nemožno však vylúčiť ani kombináciu s prešmykom alebo poklesom. Vzhľadom na vysoké zalesnenie územia je veľmi ľažké nájsť indikátory, na základe ktorých by sa hypotéza dala verifikovať.



Obr. 2. Detailná geologická mapa skúmanej oblasti (s použitím podkladov Poláka et al., 2011)
Fig. 2. Detailed geological map of studied area (using data from Polák et al., 2011)



Obr. 3. Odkryv v karbonátoch vysočkého súvrstvia. Foto: A. Lačný
Fig. 3. Outcrop in Carbonate rock of the Vysočka Formation. Photo: A. Lačný



Obr. 4. Novoobjavená jaskyňa na Bielej skale. Foto: A. Lačný
Fig. 4. Newly discovered cave in Biela skala. Photo: A. Lačný

Namerané plochy vrstvovitostí karbonátov v okolí (S01: 340/60, 350/65, 335/70) indikujú monotónnu geologickú stavbu s upadajúcimi plochami na SZ zo sklonom 60 – 70° (obr. 3). Pri terénnom mapovaní sme lokalizovali aj menšiu, doteraz neopísanú jaskyňu (obr. 4), nachádzajúcu sa v blízkosti aktívnej vyvieračky, južne od línie závrtov. Je vytvorená v masíve vysočkých vápencov s puklinatostou S02 213/60, ktorá môže mať súvis so zlomovou štruktúrou sz.-jv. smeru.

MORFOMETRICKÁ ANALÝZA ZÁVRTOV

Pri morfometrickej analýze sme vychádzali z príkladovej štúdie Veselského et al. (2014), zaobrajúcej sa analýzou závrtov na Dlhom vrchu s cieľom hľadania ukazovateľov podporujúcich hypotézu ich vzniku na lineárnych diskontinuitách. Použili sme 11 atribútov, z ktorých prvých 7 bolo priamo merateľných nástrojmi morfometrickej analýzy a zvyšné 4 atribúty boli odvodené (tab. 1). Záujmové územie sme rozdelili na menšie lokality (obr. 5).

Lokalita 1 je tvorená dvoma zárvrtmi *bs1* a *bs2*, ktoré kopírujú nevýraznú líniu sv.-jz. smeru. Okrem spomenutých závrtov sme na líniu lokalizovali aj rozsiahlu depresiu, ktorú sme vzhľadom na jej antropogénne premodelované svahy špecifikovali ako vápennú jamu.

Lokalitu 2 tvorí pomerne plytký závrt *bs3*. Poloha na Holinde v blízkosti kŕmidla pre zver ovplyvňuje jeho tvar a charakter (pretváranie na bahnisko).

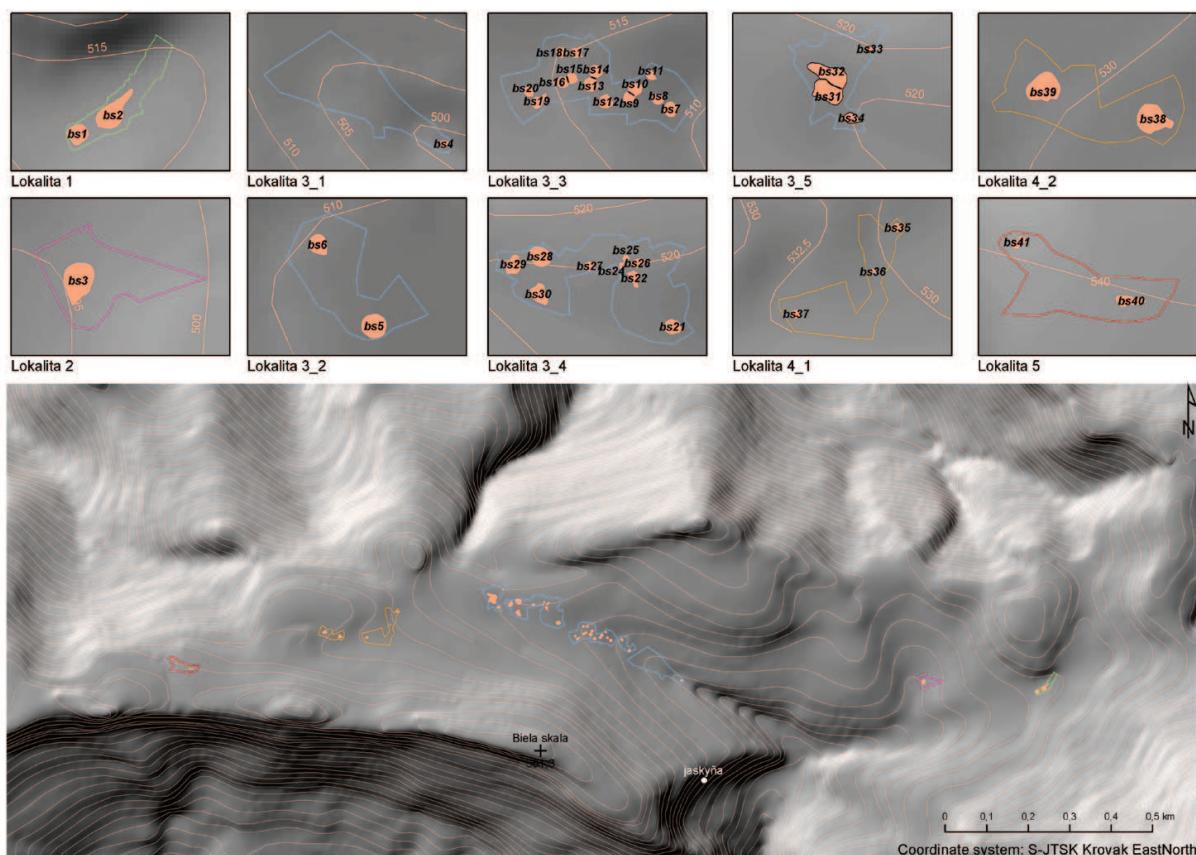
Najvýraznejšia je *Lokalita 3*, tvorená množinou líniovo orientovaných závrtov (*bs4* – *bs34*) v plynkej doline jv. smeru. Ide o symetrické lievikovité závrty rovnakej genézy, vyplnené napadaným drevným materiálom. Najväčšia hustota závrtov je v strednej časti línie (*Lokalita3_3*). Zaujímavá je pomerne veľká nestabilita dna závrtov, čo sa najvýraznejšie prejavuje drobnými kolapsmi, najlepšie pozorovateľnými na závrte *bs28*, a tiež zavodnenie závrtov *bs15*, *bs16*, *bs30*, *bs31* a *bs32* spôsobené ich upchatím (obr. 6). Veľký antropogénny vplyv sledujeme na závrtoch *bs22* – *bs26*, ktoré sú do veľkej miery zničené ťažobnými mechanizmami a v teréne ťažko rozlišiteľné.

Lokalita 4 (*bs35* – *bs39*) a *Lokalita 5* (*bs40*, *bs41*) nie sú veľmi výrazné. Závrty *bs38*, *bs39* a *bs40* možno podľa Šmídu (2008) označiť za „fantómové ploché depresie“ v štádiu postupného zániku, ktoré plnia funkciu „bahnísk“.

Základné merateľné atribúty (obr. 7) nepreukazujú žiadny výrazný trend. Pozoruhodný je veľký pokles hĺbky závrtov *bs21* – *bs30* v porovnaní so zárvrtmi *bs31* a *bs32*. Závrty *bs31* a *bs32* nadobúdajú extrémne hodnoty takmer vo všetkých merateľných atribútoch. Sú pretiahnutého elipsovitého tvaru a v čase zrážok slúžia ako hltače, čo dosvedčuje prívodný kanál odvádzajúci zrážkovú vodu do podzemia (obr. 8). Závrty *bs31* a *bs32* predstavujú akoby prirodzenú bariéru zachytávajúcu povrchový odtok, čo môže mať vplyv na závrty v líniu pod nimi, prejavujúci sa poklesom hodnôt merateľných atribútov (obr. 7).

Ohraničenie najdlhšej osi závrtu, podľa Bondesana et al. (1992) – DMAX, nástrojom „Create Longest Transect“ je predpokladom pre zhotovenie ružicového diagramu na analýzu smerov, ktorá prezentuje štruktúrny vývoj za predpokladu vzniku najdlhšej osi závrtov pod vplyvom tektonických porúch a zlomov. Prevláda sz.-jv. smer, čo sa najlepšie prejavuje na *Lokalite 3*. Sv.-jz. smer je málo výrazný a možno ho sledovať na *Lokalite 1* a *Lokalite 5*. Kolmé križovanie línie závrtov na *Lokalite 1* (SV-JZ) a na *Lokalite 5* (SZ-JV) indikuje tektonickú predispozíciu. Zastúpený je aj s.-j. smer, ten sa však potvrdil iba na *Lokalite 2*, a aj to iba na jednom závrte, preto táto informácia nie je veľmi výpovedná.

Bondesan et al. (1992) na základe pomeru hĺbky a priemeru závrtu definuje genetickú homogenitu. Hodnota rozptylu 0,01 ako miery variability dokazuje vznik závrtov rovnakým procesom, resp. množinou procesov. Pomer teoretického priemeru a najdlhšej osi závrtov sme použili na zhodnotenie tvaru planimetrickej plochy závrtov (tab. 1). Hodnota pomeru sa pohybovala od 0,58 (elipsovitý tvar) po 0,97 (okrúhly tvar).



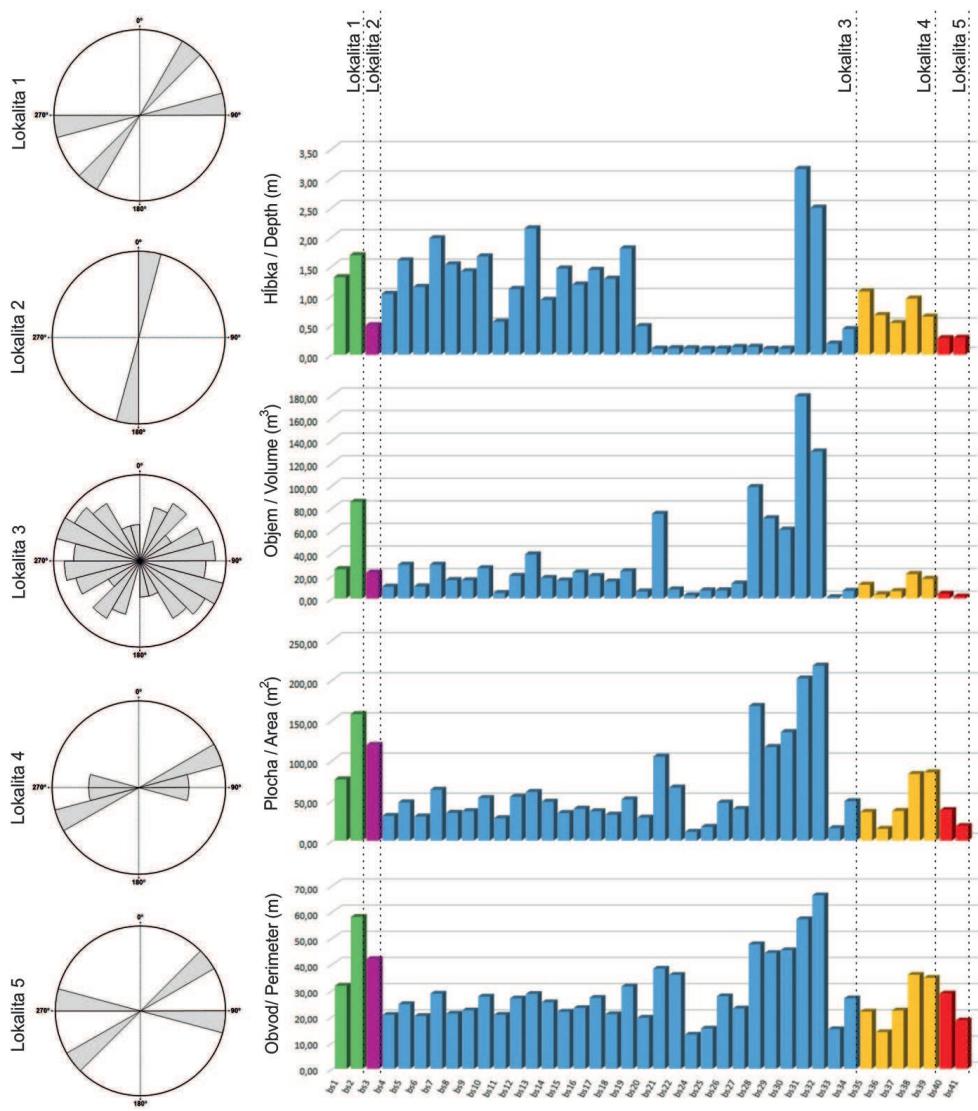
Obr. 5. Detailná lokalizácia závrtov na krasovej plošine Biela skala
 Fig. 5. The detailed localization of dolines in karst plateau Biela skala



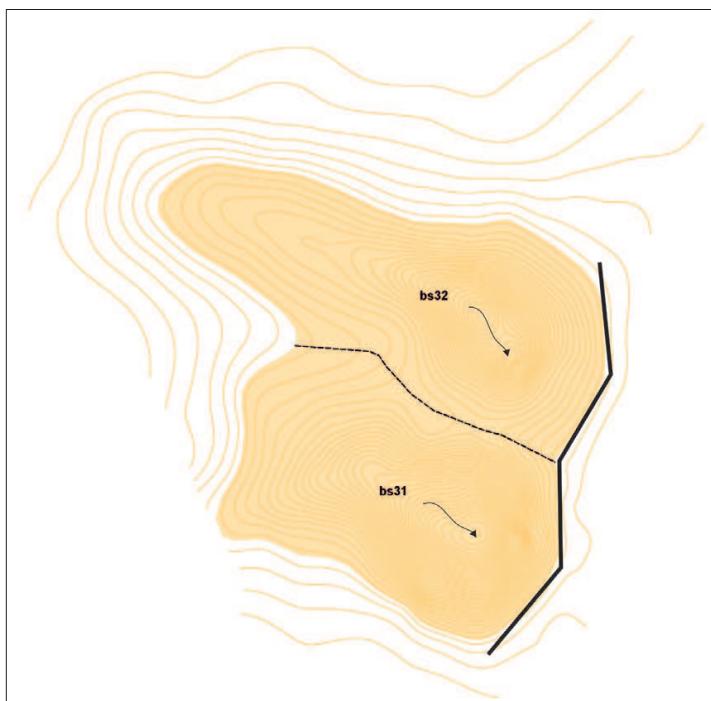
Obr. 6. Upchatie a následné zavodnenie závrtov. Foto: L. Ágh
 Fig. 6. Blocked doline filling by water. Photo: L. Ágh

Tab. 1. Morfometrické charakteristiky závrtov
 Tab. 1. Morphometric doline attributes

	Hĺbka (m)	Plocha (m ²)	Obvod (m)	Objem (m ³)	Povrch (m ²)	Najdlhšia os (m)	Azimut najdlhšej osi (0°-360°)	Teoretický polomer (m)	Teoretický priemer (m)	Hĺbka / priemer	Teoretický priemer / najdlhšia os
bs1	1,32	76,08	31,68	25,83	66,95	10,74	82,00	4,92	9,84	0,13	0,92
bs2	1,69	157,36	57,96	85,45	158,31	24,15	40,00	7,08	14,16	0,12	0,59
bs3	0,49	118,78	41,84	22,59	113,03	15,76	13,00	6,15	12,30	0,04	0,78
bs4	1,03	30,57	20,56	10,26	30,85	7,34	63,00	3,12	6,24	0,17	0,85
bs5	1,60	47,41	24,63	29,71	52,22	8,05	82,00	3,89	7,77	0,21	0,97
bs6	1,15	29,91	20,13	10,50	31,77	7,23	322,00	3,09	6,17	0,19	0,85
bs7	1,98	63,09	28,67	29,72	66,51	9,65	73,00	4,48	8,96	0,22	0,93
bs8	1,53	34,34	21,01	16,14	37,31	7,12	300,00	3,31	6,61	0,23	0,93
bs9	1,42	36,41	22,25	15,95	38,76	7,56	77,00	3,41	6,81	0,21	0,90
bs10	1,67	52,81	27,53	26,65	56,67	9,53	64,00	4,10	8,20	0,20	0,86
bs11	0,56	27,65	20,57	4,63	26,03	7,70	301,00	2,97	5,94	0,09	0,77
bs12	1,11	54,38	26,83	19,84	55,94	8,89	289,00	4,16	8,32	0,13	0,94
bs13	2,15	60,41	28,57	38,90	67,25	9,50	284,00	4,39	8,77	0,24	0,92
bs14	0,93	48,16	25,37	18,04	49,74	8,20	355,00	3,92	7,83	0,12	0,96
bs15	1,46	34,12	21,75	15,74	36,79	7,40	291,00	3,30	6,59	0,22	0,89
bs16	1,19	39,46	23,16	22,86	42,98	7,70	29,00	3,55	7,09	0,17	0,92
bs17	1,44	36,32	27,04	19,72	39,81	8,41	307,00	3,40	6,80	0,21	0,81
bs18	1,29	32,15	20,80	14,83	35,08	6,77	90,00	3,20	6,40	0,20	0,95
bs19	1,81	51,02	31,39	24,06	54,56	11,24	45,00	4,03	8,06	0,22	0,72
bs20	0,48	28,39	19,45	6,13	28,74	7,00	330,00	3,01	6,01	0,08	0,86
bs21	0,10	104,39	38,20	74,84	113,82	13,03	274,00	5,77	11,53	0,01	0,89
bs22	0,11	65,87	35,85	7,84	64,37	12,58	342,00	4,58	9,16	0,01	0,73
bs24	0,10	10,68	12,98	2,60	11,45	4,58	44,00	1,84	3,69	0,03	0,80
bs25	0,10	16,90	15,30	6,97	19,25	5,14	17,00	2,32	4,64	0,02	0,90
bs26	0,10	47,07	27,65	7,07	40,43	10,34	80,00	3,87	7,74	0,01	0,75
bs27	0,13	39,11	22,98	13,05	41,47	7,62	59,00	3,53	7,06	0,02	0,93
bs28	0,13	167,48	47,54	98,53	177,51	17,29	301,00	7,30	14,61	0,01	0,85
bs29	0,10	116,42	44,20	70,89	123,32	14,27	31,00	6,09	12,18	0,01	0,85
bs30	0,10	134,92	45,27	60,80	137,94	15,47	321,00	6,55	13,11	0,01	0,85
bs31	3,16	201,74	57,10	178,96	219,29	20,24	308,00	8,02	16,03	0,20	0,79
bs32	2,50	217,62	66,21	130,05	227,54	26,83	292,00	8,32	16,65	0,15	0,62
bs33	0,19	15,27	15,08	0,94	14,11	5,59	283,00	2,21	4,41	0,04	0,79
bs34	0,43	48,84	26,86	6,58	48,00	10,70	293,00	3,94	7,89	0,05	0,74
bs35	1,07	35,55	21,81	12,08	36,91	7,55	66,00	3,36	6,73	0,16	0,89
bs36	0,67	14,51	13,96	3,48	15,22	4,67	72,00	2,15	4,30	0,16	0,92
bs37	0,54	36,77	22,23	6,43	36,92	7,90	66,00	3,42	6,84	0,08	0,87
bs38	0,95	82,86	35,88	21,57	76,89	12,66	285,00	5,14	10,27	0,09	0,81
bs39	0,65	84,91	34,73	17,28	85,06	11,65	82,00	5,20	10,40	0,06	0,89
bs40	0,28	37,63	28,68	3,84	34,77	12,04	271,00	3,46	6,92	0,04	0,58
bs41	0,28	17,80	18,37	1,42	16,68	6,27	53,00	2,38	4,76	0,06	0,76



Obr. 7. Ružicové diagramy najdlhších osí závrtov a histogram základných atribútov
 Fig. 7. Rose diagram of the longest doline axes and histogram of basic attributes



Obr. 8. Závrtys bs31 a bs32
 Fig. 8. Dolines bs31 and bs3

DISKUSIA A ZÁVER

Na základe podrobného mapovania závrtov na krasovej plošine Biela skala možno hovoriť o vzniku závrtov na tektonických štruktúrach sz.-jv., resp. sv.-jz. smeru. Tieto smery korelujú so smerom pomyselných osí spájajúcich závrty na jednotlivých lokalitách. Na *Lokalite 1* a *Lokalite 4* (*bs35, bs36*) je to os sv.-jz. smeru, na *Lokalite 3, Lokalite 4* (*bs37, bs38, bs39*) a *Lokalite 5* je to os sz.-jv. smeru. Smer SZ-JV je dokázaťný najmä na *Lokalite 3*, čo možno vidieť na ružicovom diagrame lokality (obr. 7). Tento generálny smer sledujú všetky línie závrtov na krasových plošinách Kuchynsko-orešanského krasu. Z posunov na geologických rozhraniach vyplýva, že dextrálne zlomy sz.-jv. smeru sa pôsobením kompresie s.-j. smeru reaktivizovali a tvoria párový systém so sinistrálnymi zlomami s.-j. smeru (Marko a Jureňa, 1999). Vplyv smerov tektonických štruktúr sa prejavuje aj v generálnych smeroch jaskýň v oblasti, čo potvrdzuje aj Lačný (2013).

Závrty na západ od opisanej líniovej štruktúry sú odlišné. Nedá sa s určitosťou tvrdiť, či ide o vznik na litologickej diskontinuite (dolomitizovaná vs. nedolomitizovaná časť vysockého súvrstvia), prípadne či nejde o reaktivizovanú plochu v procese juhovergentného tektonického prepracovania pôvodnej severovergentnej stavby v období spodného miocénu (Marko et al., 1991, 1995).

Na základe porovnania krasovej plošiny Biela skala s krasovými plošinami Komberek a Dlhý vrch si môžeme všimnúť podobnosť nielen smerov líniových diskontinuit prejavujúcich sa v usporiadaní závrtov ako povrchových krasových foriem, ale aj zastúpenia foriem krasového reliéfu. Výška krasových plošín klesá od Bielej skaly (561 m n. m.) sv. smerom cez plošinu Dlhý vrch (481 m n. m.) až po plošinu Komberek (409 m n. m.). Napriek veľkej podobnosti zastúpenia povrchových aj podzemných krasových foriem sa tieto lokality odlišujú typom krasového reliéfu podľa Jakála (1993). Krasová plošina Bielej skaly na základe spomenutej typológie zasahuje do dvoch typov krasu. Oblast' Holindu začleňujeme do rozčleneného krasu monoklinálnych hrebeňov a chrbtov s čiastočne vyvinutým exo- a endokrasom, s prevažne nedokonale vytvorenými formami krasu, prejavom fluviokrasu, alogénym a lokálne autogénym vývojom. Zúžená časť plošiny tiahnuca sa na západ patrí do rozčleneného krasu masívnych chrbtov, hrástí a vrásovo-zlomových štruktúr, ale má dobre vyvinutý exo- a endokras s početným zastúpením krasových foriem, s prevažne autogénym vývojom, kombinovaným s alogénym vývojom. Už v prípade plošiny Bielej skaly možno uvažovať o zjednotení typológie pre celú krasovú plošinu. Duálne členenie je pravdepodobne spôsobené nepresnosťou v ručnom zakreslení plošiny v rámci typológie krasu (Jakál, 1993). Krasová plošina Dlhý vrch je tvorená rozčleneným krasom masívnych chrbtov, hrástí a kombinovaných vrásovo-zlomových štruktúr s čiastočne vyvinutým exo- a endokrasom, s prevažne nedokonale vytvorenými formami krasu, prejavom fluviokrasu a alogénym a lokálne autogénym vývojom. Komberek patrí podobne ako Dlhý vrch do rozčleneného krasu masívnych chrbtov, hrástí a vrásovo-zlomových štruktúr, ale má dobre vyvinutý exo- a endokras s početným zastúpením krasových foriem, s prevažne autogénym vývojom, kombinovaným s alogénym vývojom. Vzhľadom na spomenuté odlišnosti je potrebné sa zamyslieť nad zjednotením typológie, resp. začlenením krasových plošín Kuchynsko-orešanského krasu do jednej kategórie, čo by mohlo byť predmetom ďalšej štúdie.

Podákovanie: Túto prácu podporila Agentúra na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0625-11 a Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied na základe zmluvy č. 1/0095/14. Podákovanie patrí aj študentom Katedry fyzickej geografie a geoekológie PriF UK za pomoc pri zbere údajov z topografických máp a ich spracovaní.

LITERATÚRA

- ÁGH, L. – VESELSKÝ, M. – LAČNÝ, A. 2015. Nová nomenklatúra závrtov krasovej plošiny Biela skala, Kuchynsko-orešanský kras. In Študentská vedecká konferencia PriF UK (Bratislava, 22. apríl 2015), Zborník recenzovaných príspevkov. Univerzita Komenského v Bratislave, Bratislava (v tlači).
- BONDESAN, A. – MENEGHEL, M. – SAURO, U. 1992. Morphometric analysis of dolines. International Journal of Speleology, 21, 1–4, 1–55.
- CASTIGLIONI, B. 1991. Some morphometric and environmental aspects of dolines in Berici Hills (Vincenza, Italy). Proceeding of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas – I.G.U.-U.I.S., 15-27 Sept. 1991: Quaderni del Dipartimento di Geografia, 13, 143–156.
- CVIJIĆ, J. 1893. Der Karstphänomen. Geographische Abhandlungen, 5, 219–329.
- FORD, D. – WILLIAMS, P. 2007. Karst Hydrology and Geomorphology. Wiley, Chichester, 562 s.
- HROMÁDKA, J. 1935. Zemepis okresu bratislavského a malackého. Sväzok druhý: Malé Karpaty, Záhorská nížina, Podunajská nížina pri Bratislave. Knihtlačiareň Ján Pocisk a spol., Bratislava, 280 s.
- HROMÁDKA, J. 1956. Orografické trídění Československé republiky. Sborník Československé společnosti zeměpisné, 61, 3, 161–299.
- JAKÁL, J. 1993. Karst geomorphology of Slovakia. Geographia Slovaca, 4, 5–24.
- JAKÁL, J. – LACIKA, J. – STANKOVIAK, M. – URBÁNEK, J. 1990. Morfoštruktúry Malých Karpát. Manuskrift. Geografický ústav SAV, Bratislava, 163 s.
- LAČNÝ, A. 2008. Zhrnutie doterajšieho speleologického prieskumu na Komberku. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti, 39, 2, 35–37.
- LAČNÝ, A. 2012. Kuchynsko-orešanský kras (geológia, tektonika, hydrogeológia). Diplomová práca, Univerzita Komenského v Bratislave, 85 s.
- LAČNÝ, A. 2013. Vplyv litológie a tektoniky na vznik jaskýň v Kuchynsko-orešanskom krase. Acta Geologica Slovaca, 5, 1, 97–105.
- LUKNIŠ, M. 1952. Náčrt geomorfologických pomerov Malých Karpát. In Virsík, A. (Ed.): Kras a jaskyne malých Karpát. Tatran, Bratislava, 22–27.
- LUKNIŠ, M. 1972. Slovensko 2 – Príroda. Obzor, Bratislava, 166 s.
- MARKO, F. – FODOR, L. – KOVÁČ, M. 1991. Miocene strike-slip faulting and block rotation in Brezovské Karpaty Mts. (Western Carpathians). Mineralia Slovaca, 23, 3, 189–200.
- MARKO, F. – PLAŠIENKA, D. – FODOR, L. 1995. Meso-cenozoic tectonic stress fields within the Alpine-Carpathian transition zone: A review. Geologica Carpathica, 46, 1, 19–27.
- MARKO, F. – JUREŇA, V. 1999. Zlomová tektonika východného okraja viedenskej panvy a hrastu Malých Karpát. Mineralia Slovaca, 31, 5–6, 513–524.
- MINÁR, J. 1996. Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfológie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp. Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica, 36, 7–125.
- PADRO-IGÚZQUIZA, E. – VALSERO J. J. D. – DOWD, P. A. 2013. Automatic detection and delineation of karst terrain depressions and its application in geomorphological mapping and morphometric analysis. Acta Carsologica, 42, 1, 17–24.
- POLÁK, M. – PLAŠIENKA, D. – KOHÚT, M. – PUTIŠ, M. – BEZÁK, V. – MAGLAY, J. – OLŠAVSKÝ, M. – HAVRILA, M. – BUČEK, S. – ELEČKO, M. – FORDINÁL, K. – NAGY, A. – HRAŠKO, L. –

- NÉMETH, Z. – MALÍK, P. – LIŠČÁK, P. – MADARÁS, J. – SLAVKAY, M. – KUBEŠ, P. – KUCHARIČ, L. – BOOROVÁ, D. – ZLÍNSKA, A. – SIRÁŇOVÁ, Z. – ŽECOVÁ, K. 2012. Vysvetlivky ku geologickej mape regiónu Malé Karpaty v mierke 1 : 50 000. MŽP SR, Štátny geologický ústav, Bratislava, 309 s.
- POLÁK, M. – PLAŠIENKA, D. – KOHÚT, M. - PUTIŠ, M. – BEZÁK, V. – FILO, I. – OLŠAVSKÝ, M. – HAVRILA, M. – BUČEK, S. – MAGLAY, J. – ELEČKO, M. – FORDINÁL, K. – NAGY, A. – HRAŠKO, L. – NÉMETH, Z. – IVANIČKA, J. – BROSKA, I. 2011. Geologická mapa regiónu Malých Karpát v M 1 : 50 000. MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.
- PUTIŠKA, R. – KUŠNIRÁK, D. – DOSTÁL, I. – LAČNÝ, A. – MOJZEŠ, A. – HÓK, J. – PAŠTEKA, R. – KRAJNÁK, M. – BOŠANSKÝ, M. 2013. Integrated geophysical and geological investigation of karst structures in Komberek, Slovakia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76, 3, 155–163.
- SEGRE, A. G. 1948. I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio. *Pubblicazioni dell'Istituto di Geografia dell'Università di Roma*, 7, 236 s.
- STANKOVIANSKY, M. 1970. Geomorfologické pomery strednej časti Malých Karpát v oblasti Vápenná – Vysoká. Diplomová práca, Univerzita Komenského v Bratislave, 125 s.
- STANKOVIANSKY, M. 1974. Príspevok k poznaniu krasu Bielych Hôr v Malých Karpatoch. *Geografický časopis*, 26, 3, 241–257.
- ŠMÍDA, B. 2008. Krasové jamy (závrty) Západných Karpát: štúdium ich morfológie a genézy. Minimová práca, Univerzita Komenského v Bratislave, 113 s.
- VESELSKÝ, M. – LAČNÝ, A. – HÓK, J. 2014. Závrty na Dlhom vrchu: modelová štúdia ich vzniku na lineárnych diskontinuitách (Malé Karpaty). *Acta Geologica Slovaca*, 6, 2, 159–168.
- WILLIAMS, P. 2004. Dolines. In Gunn, J. (Ed.): *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Taylor and Francis Group, London, 304–310.
- WILLIAMS, P. W. 1972. Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 3, 761–796.
- ZAŤKO, M. 1959. Geomorfologické pomery v oblasti Dubová-Častá-Doľany v strednej časti Malých Karpát. *Acta Geologica et Geographica Universitatis Comenianae, Geographica*, 1, 49–84.