SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	50/1	41 – 60	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2012

VYUŽITIE METÓDY ERT PRI PRIESKUME JASKÝŇ V HAVRANEJ SKALE (PLAVECKÝ KRAS)

ALEXANDER LAČNÝ[1], RENÉ PUTIŠKA[2], IVAN DOSTÁL[2], DÁVID KUŠNIRÁK[2]

[1] Katedra geológie a paleontológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava; sasol@speleott.sk

[2] Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

A. Lačný, R. Putiška, I. Dostál, D. Kušnirák: Utilisation of ERT method in research of caves in the Crow Rock (the Plavecký Karst)

Abstract: In the study 2D and 3D electrical resistivity tomography (ERT) was carried out to prove possible continuation of the existing cavity system in the Plavecký karst area. The ERT technique is a well established and widely employed method for cavity detection. The survey has been performed using two different arrays: dipole-dipole for 2D survey and pole-pole for 3D survey. An ARES ERT multielectrode equipment has been used to perform the survey with set of 48 electrodes evenly spaced each 5.5 meters. A part of the study contains the detailed description of cave with result of geological and speleological survey.

Key words: Havranická cave, Lačniakove gaps, Plavecký karst, Karst Studied, Electrical Resistivity Tomography, Cave (void) detection

GEOLÓGIA

Skúmané jaskyne sa nachádzajú v pohorí Malé Karpaty, asi 1 km severozápadne od obce Smolenice, v blízkosti kóty Havrania skala (599 m n. m., ktorá je súčasťou vrchu Havranica (717 m). Tento vrch patrí do Havranického príkrovu, ktorý je jedným z čiastkových príkrovov hronika (obr. 1).

Jaskyne sú vytvorené v gutensteinských – annaberských vápencoch stredného triasu – stupeň anis. Ide o tmavosivé až čierne hrubolavicovité, vrstevnaté, červíkovité vápence. Stavba Havranického príkrovu na hrebeni Havranice je pomerne jednoduchá, so strmým sklonom vrstiev 60 – 80° (Maheľ, 1986).

V rámci krasovej rajonizácie začleňujeme vrch do Plaveckého krasu (Stankoviansky, 1974). V zatiaľ objavených jaskyniach je zrejmá analógia tektonickej predispozície severným smerom. Netýka sa to iba jaskyne Lačniakove špáry – spodný meander, ktorá smeruje do masívu pod azimutom 268° a môže mať súvis s Lačniakovými špárami, ale zároveň môže byť izolovaným abri.

OPIS JASKÝŇ V SKÚMANOM ÚZEMÍ

Havranická jaskyňa (585 m n. m.), dl. 85 m

Vchod do jaskyne sa nachádza na hrebeni len niekoľko desiatok metrov východne od kóty Havrania skala (599 m n. m.). Strmým komínom sa dá zliezť do prvej sienky s rozmermi 4 × 3 m. Odtiaľ vedie úzka plazivka, v ktorej je ešte cítiť prievan. Neskôr sa zatáča, rozširuje do väčších priestorov a prechádza až do najväčšej siene s rozmermi

5 × 10 m a výškou 5 m, nazvanej Zbojnícka sieň. Táto sieň je založená na poruche azimut 19° a upadá pod sklonom 30°. Zakončená je presintreným závalom, v ktorom jaskyniari razia sondu v smere poruchy. Čiatočne sa tu pri výkopových prácach objavujú menšie dutinky.

Obr. 1. Kóta Havrania skala. Foto: A. Lačný
Fig. 1. Peak Havrania skala. Foto: A. Lačný

História jaskyne

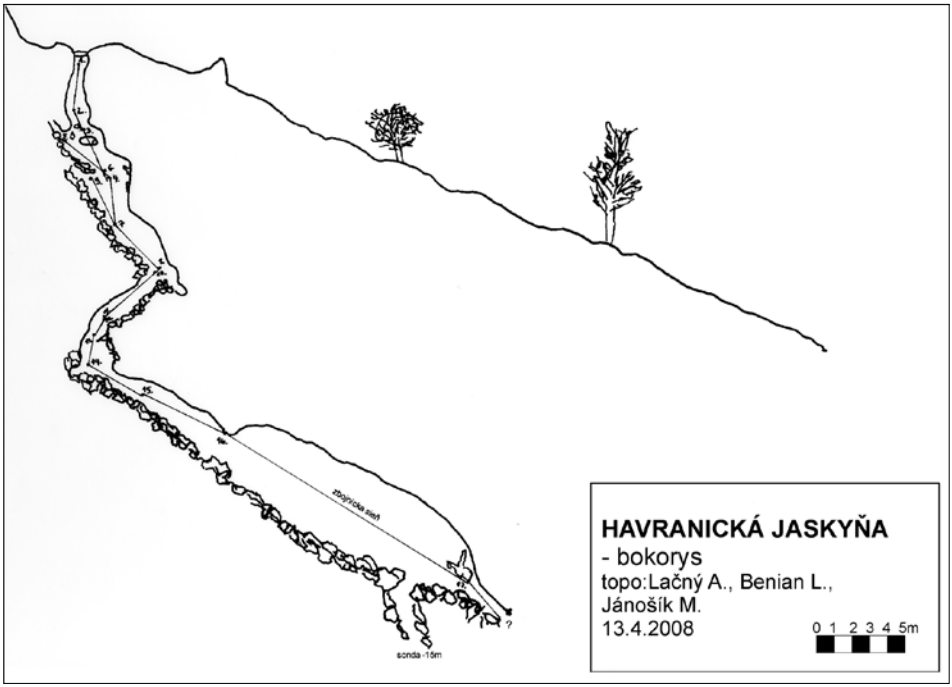
Jaskyňa bola ľuďom známa odnepamäti. Spomína sa dokonca vo viacerých poverách a legendách. Dá sa predpokladať, že do jaskyne sa dalo dostať v minulosti iným vchodom, ktorý vyúsťoval z prvej sienky priamo na povrch. Existovala dokonca i fotografia z tridsiatych rokov minulého stroročia, ktorá zachytáva turistov stojacich pred pôvodným vchodom. Dôkazom o pôvodnom vchode môže byť aj fakt, že pri prácach v jaskyni sa používa elektrocentrála, ktorej výfukové plyny práve v zimných mesiacoch sú citeľné a odtápajú sneh pravdepodobne v mieste pôvodného vchodu. Ten mohol byť zasypaný koncom druhej svetovej vojny, kedy tu prebiehali boje a Havrania skala bola ostreľovaná kaťušami Červenej armády. V jaskyni sú na niektorých miestach odymené steny a odbité kvaple. V Zbojníckej sieni sa nachádzali dve sondy – jedna do hĺbky 4 m, vypažená drevom, a druhá do hĺbky 10 m v ľavej časti siene. V jej blízkosti sa našiel i železný krompáč, toho času v SMOPaJ.

Jaskyniari súčasným vchodom jaskyňu znovuobjavili v roku 2004 (Lačný, 2006) (obr. 2), ale dá sa predpokladať, že do jaskyne chodili ľudia týmto vchodom aj skôr (nápis v jaskyni okolo roku 1965). Pre speleologickú verejnosť však jaskyňa neexistovala fakticky od roku 1952, kedy ju Dr. Droppa v rámci speleologického výskumu už nenašiel (Droppa, 1952). Krasová výzdoba je najhojnejšie zastúpená práve v Zbojníckej sieni, kde sa nachádza sintrové zrkadlo, stalaktity a na konci siene i sintrové jazierka.

Vysoko odborne problematiku Havranickej jaskyne a okolitých jaskýň spracoval Branislav Šmída (2010) v rámci svojej dizertačnej práce, ktorá komplexne zhŕňa všetky poznatky o skúmanom území. V tejto súvislosti nemožno nespomenúť i záslužnú prácu speleológa Miloša Hača, ktorý sa podieľal na viacerých prieskumných prácach v časti územia.

Jaskyňa v Havranej skale (574 m n. m.), dl. 20 m

Vchod do jaskyne sa nachádza v južnej stene skalného brala asi 15 m juhozápadne od Havranickej jaskyne. Na základe pozičnej mapy nie je vylúčený súvis s Havranickou



Obr. 2. Priečny rez Havranickou jaskyňou
Fig. 2. Cross section of the Havranická cave

jaskyňou. Puklina zo šírky cca 1,6 m sa neskôr zužuje až do neprielezna, v zadnej časti je citeľný prievan.

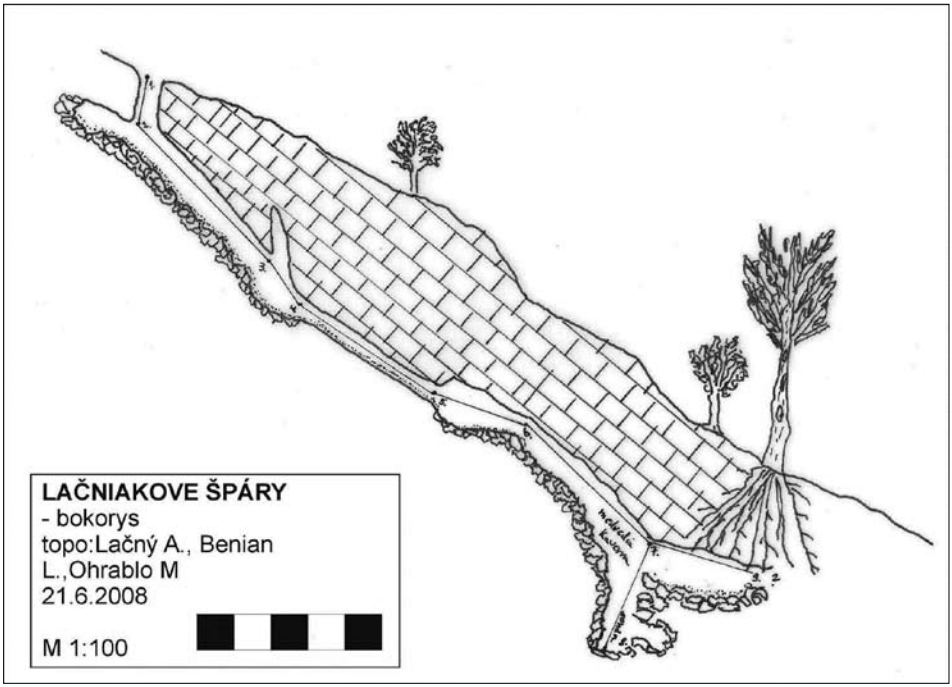
Droppa (1952) tu v rámci výskumu opísal zaujímavú krasovú výzdobu – kryštalické kvaple, ktoré vznikli vykryštalizovaním uhličitanu vápenatého v tyčinkovitých klencoch. Ako v prípade Havranickej jaskyne, aj Jaskyňa v Havranej skale je známa už od dávnych dôb.

HS Sonda (569 m n. m.), dl. 3 m

Ide o úzku puklinu s dĺžkou 3 m a hĺbkou 2 m, asi 55 m severozápadne od Havranickej jaskyne. Začalo sa v nej pracovať po pozitívnych geofyzikálnych výskumoch v tejto oblasti koncom roka 2009. Anomália (dutina) by sa tu mala nachádzať iba 4,5 m pod povrchom.

Lačniakove špáry (545 m n. m.), dl. 28 m

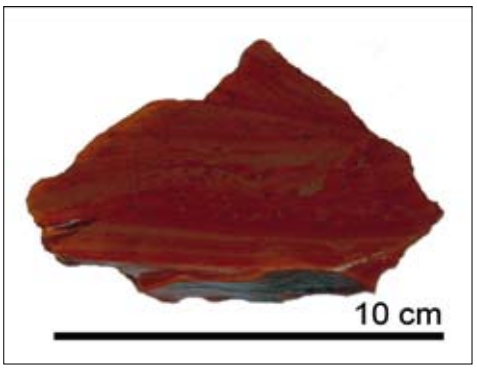
Lačniakove špáry sa nachádzajú 160 m severovýchodne od Havranickej jaskyne (obr. 3). Pôvodne išlo o úzky komínový vchod, z ktorého vychádzal citeľný prievan. Najmä v zimných mesiacoch sa prejavoval odtápaním snehu v jeho okolí a výparmi. Týmto korozívnym komínom sa dalo zostúpiť do roku 2002 sotva 2 m. Práve pre citeľný prievan sa tu začalo od roku 2002 pracovať. Jaskyňa dostala názov podľa udalosti, keď sa A. Lačný pokúšal poprvýkrát dostať do úzkych priestorov a zavalila ho tu časť kameňov – odvtedy sa nazývajú Lačniakovými špárami (Lačný, 2003). Po prekopaných ôsmich metroch sa cez úzku plazivku v máji 2003 podarilo objaviť sieň 5 × 3 m (Medvedia kaverna, obr. 3). Na jej dne bolo objavených množstvo netopierích kostí a v bočnej časti sienky i polámané kosti mladého medveďa hnedého. Samotná jaskyňa je založená na vrstevnej poruche smerujúcej na sever pod sklonom 30°, druhá porucha prebieha kolmo na túto poruchu a pokračuje takisto v smere jaskyne.



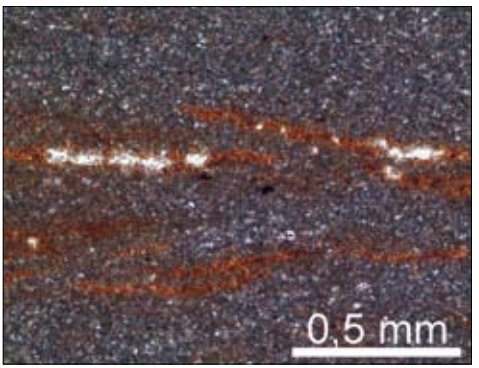
Obr. 3. Rez Lačniakovými špárami
Fig. 3. Cross section of the Lačniakove špáry

Pri výkopových prácach sa v jaskyni našiel jemný paleokrasový sediment ílovej frakcie so striedavými laminami a mangánovým detritom. Tento sediment bol neskôr opäť korodovaný.

Z odobratej vzorky tohto sedimentu (obr. 4) sa mikroskopickou analýzou zistilo, že ide o mikritický ílovito-karbonátový sediment, kde okrové sfarbenie spôsobujú prvky trojmocného železa (obr. 5). Mikroskopická analýza odobratej vzorky nepotvrdila výskyt zaoblených kremenných zŕn, čo vylučuje, že sediment bol dotransportovaný do jaskyne, prípadne na povrch z väčších vzdialeností, ale vznikal pri rozpúšťaní karbonátu



Obr. 4. Laminovaný sediment z jaskyne Lačniakove špáry. Foto: A. Lačný
Fig. 4. Laminated sediment of the cave Lačniakove špáry. Foto: A. Lačný



Obr. 5. Mikrofoto (II N, obj. 10) karbonátového sedimentu z Lačniakových špár. Foto: A. Lačný
Fig. 5. Microphoto (II N, obj. 10) carbonated sediment of the Lačniakove špáry. Foto: A. Lačný

na povrchu. Do jaskyne bol prinesený vo forme roztokov jemným laminárnym prúdením a neskôr litifikoval. Dá sa predpokladať, že prvky trojmocného železa vznikali pri rozpúšťaní vápenca ako nerozpustný zvyšok.

Lačniakove špáry – spodný meander (540 m n. m.), dl. 8 m

Spodný meander sa na nachádza bezprostredne asi 10 m pod Lačniakovými špárami. Ide o 8 m dlhú horizontálnu jaskynku smerujúcu k Lačniakovým špáram s azimutom 168°. Na strope jaskyne vidno erózne tvary. Blízkosť jaskýň nevylučuje ich súvis, no na druhej strane môže ísť o akési abri, ktoré s Lačniakovými špárami nesúvisí. Geofyzikálny prieskum skôr naznačuje druhú možnosť.

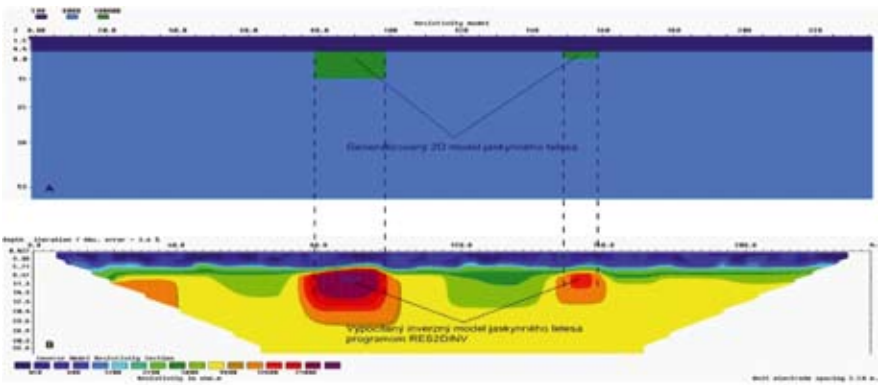
GEOFYZIKÁLNY PRIESKUM NA LOKALITE HAVRANICKÁ JASKYŇA A LAČNIAKOVE ŠPÁRY

Prieskum jaskynného systému s použitím elektrickej odporovej tomografie

Na lokalite Havrania skala v Plaveckom krase sa vykonali geofyzikálne merania s cieľom zistiť možné pokračovanie jaskynného systému. Pri meraní sa použila metóda elektrickej odporovej tomografie ERT (Electrical resistivity tomography), ktorá umožňuje získať dostatočnú hustotu údajov na ďalšie detailné 2D a 3D modelovanie (GAMBETTA, 2009). Samotné práce boli rozdelené na dve etapy. Prvá etapa sa týkala geofyzikálnych meraní na lokalite Havranická jaskyňa. Druhá etapa prieskumu sa uskutočnila v okolí Lačniakových špár. Na oboch lokalitách sme použili multifrekvenčný lokátor na overenie hĺbky podzemných priestorov a projekcie dostupných častí jaskýň na povrch. Súčasťou prác bolo polohové a výškové zameranie vytýčených profilov pomocou GPS v súradnicovom systéme S-JTSK.

Modelovanie – príprava merania

Na základe geologických podkladov, situačnej mapy jaskyne a informácií od jaskyniarov sme pred vlastným terénnym meraním spracovali referenčný model jaskyne a geologického okolia (obr. 6) v programe RES2DMOD (Loke, 2002). Samotný model bol definovaný ako dvojvrstvové teleso, kde odpor prvej vrstvy bol stanovený na 500 Ωm a mocnosť prvej vrstvy na 5 m; táto vrstva predstavuje vrchné rozvetrané vápence a hliny. Druhá vrstva predstavuje sám vápencový masív s merným odporom 8000 Ωm. Dve telesá s rozmermi 3 × 10 m a 10 × 20 m predstavujú model jaskyne. Keďže ide o prázdny priestor, bol týmto telesám priradený merný odpor 100 000 Ωm.



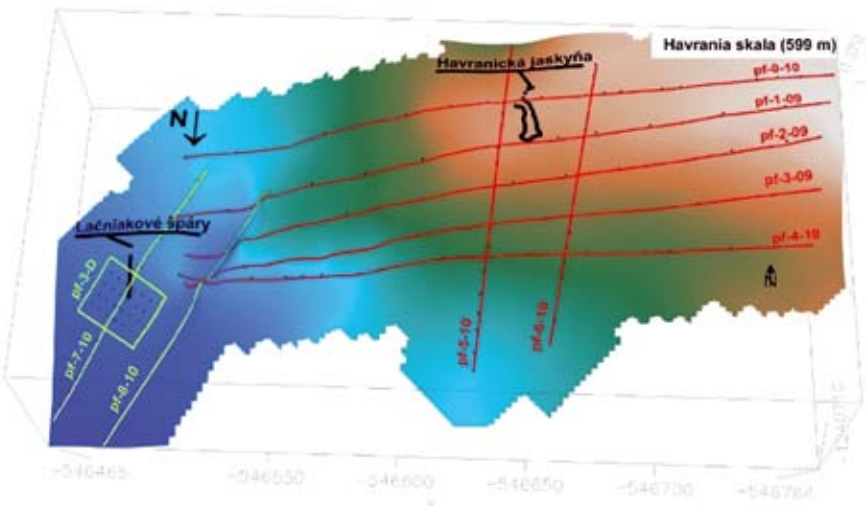
Obr. 6. Syntetický model dvoch jaskynných telies a výsledok priameho modelovania a obrátenej úlohy

Fig. 6. Synthetic ERT inversion. a) model and b) inverted model by RES2DINV

Na základe výsledkov priameho modelovania a následného výpočtu inverzie (obrátená úloha) v programe RES2DINV (LOKE, 1996) sme stanovili vhodnosť geofyzikálnej metódy, elektródového usporiadania (dipól-dipól), krok merania (5,5 m) a vzdialenosť profilov (11 m). Ďalej z výsledkov modelovania (obr. 6b) môžeme vidieť prejav dutiny (v našom prípade jaskyne) charakteristickými vysokými hodnotami merného odporu, presahujúcimi 21 000 Ωm. Táto hodnota (21 000 Ωm) sa stanovila ako referenčná hranica pre voľný priestor (dutinu).

METODIKA MERANIA A VÝSLEDKY

Vlastný geofyzikálny prieskum sa vykonal na dvoch od seba nezávislých objektoch záujmu, ako môžeme vidieť na situácii pri meraní (obr. 7).



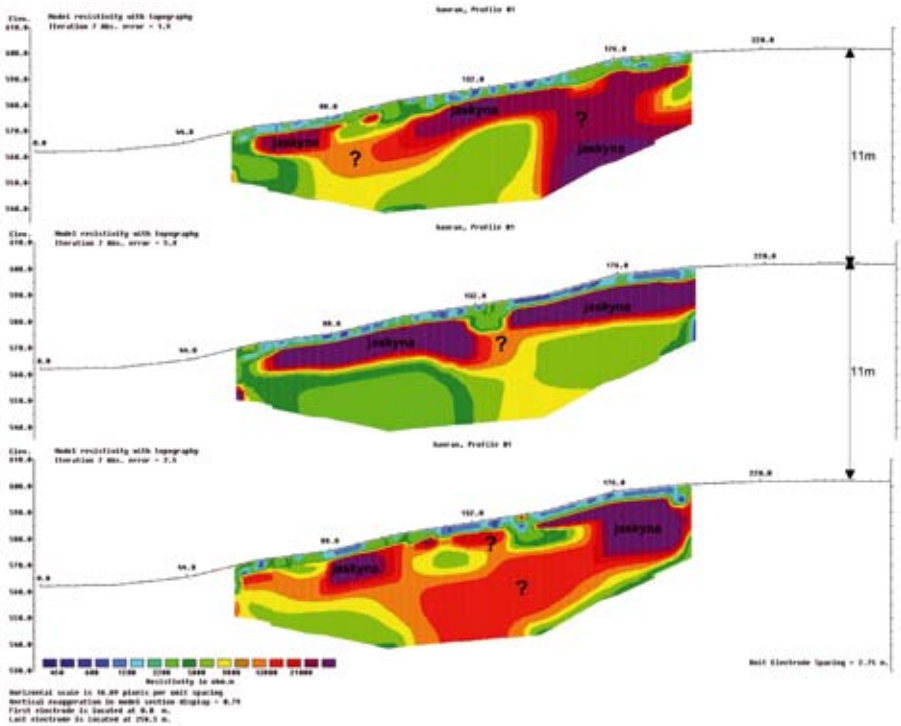
Obr. 7. Situácia pri meraní s vyznačením meracích profilov
Fig. 7. Location of the survey area

Havranická jaskyňa

Prvá etapa geofyzikálneho prieskumu sa realizovala v novembri 2009. V tejto etape sa premerali tri profily: prvý profil **pf-1-09** bol situovaný tesne za najväčší známy priestor Havranickej jaskyne, ďalšie dva profily **pf-2-09** a **pf-3-09** (obr. 7) boli vytýčené rovnobežne s prvým profilom a v smere predpokladaného pokračovania jaskynného systému. Z 2D modelov (obr. 8) jasne vidieť, že na všetkých troch inverzných modeloch sa výrazne prejavujú odporové anomálie väčšie ako 21 000 Ωm, ktoré považujeme za prejav dutín (jaskýň), ale aj miesta charakterizované vysokým odporom (13 000 – 17 000 Ωm; na modeloch označené **"?"**), ktoré by mohli predstavovať čiastočne alebo úplne zasypané spojovacie chodby. Na základe týchto výsledkov sme doplnili ERT merania o nové profily s cieľom ich zahustenia a rozšírenia informácií na danej lokalite. Tieto merania boli situované tak, aby nám doplnili chýbajúce informácie a umožnili vymapovať a následne namodelovať jaskynný systém. Na tejto lokalite sa zmerali ďalšie štyri profily, ktoré sú na situačnej mape meraní znázornené rokom 2010 (obr. 7). Prvý profil ***pf-0-10*** bol situovaný už nad známu časť Havranickej jaskyne, stred druhého profilu ***pf-4-10*** sa umiestnil 44 m od profilu ***pf-0-10,*** čím sme dostali celkovú sieť meracích bodov 44 m × 264 m s hustotou 11 m × 5,5 m. Takáto hustota meraní nám umožnila spra-

covať podrobnú 3D vizualizáciu výsledkov. Na lokalite boli ďalej situované dva kolmé profily ***pf-5-10*** a ***pf-6-10*** na detailné overenie anomálií.

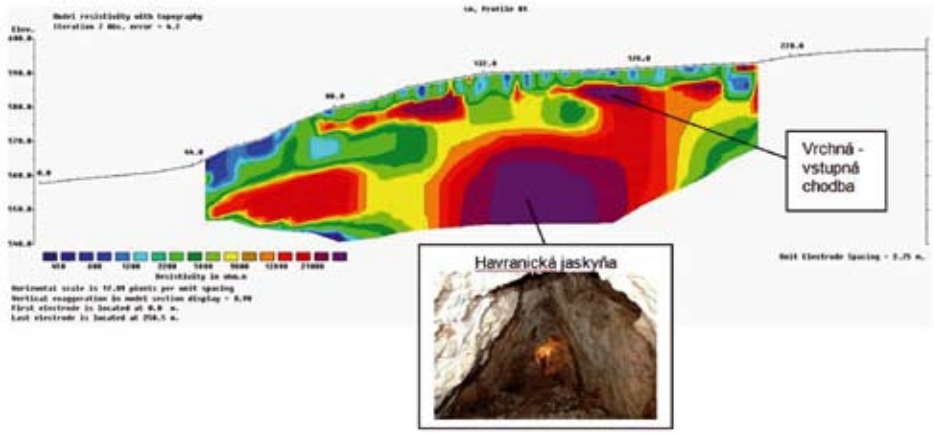
Stred profilu ***pf-0-10*** (obr. 9) sa situoval nad koniec už zmapovanej časti jaskynného systému, ďalší profil ***pf-4-10*** (obr. 10) bol vytýčený rovnobežne s profilom ***pf-0-10*** nad predpokladaným pokračovaním jaskynného systému.



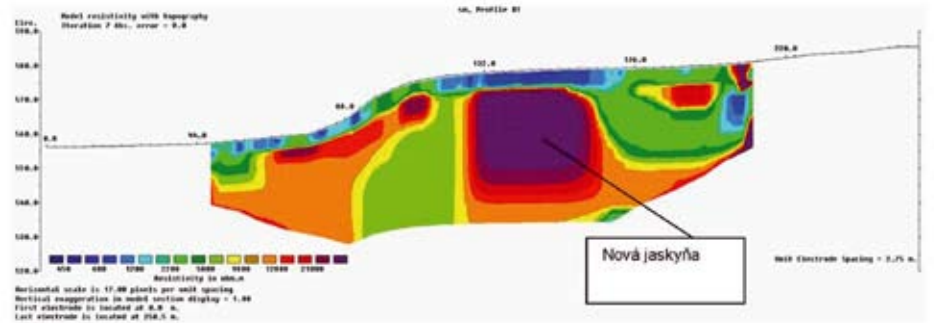
Obr. 8. Inverzný odporový model s topografiou z výsledkov ERT (rok 2009) s vyznačením jaskynných telies
Fig. 8. pf-1-09, pf-2-09 and pf-3-09 – 2D resistivity inversion results with topography (2009)

Ďalšie dva profily sa umiestnili kolmo na priebeh profilov ***pf-0-10*** až ***pf-4-10*** (obr. 7) s cieľom zistiť geometriu anomálií v kolmom smere. Profil ***pf-5*** (obr. 11) prechádzal stredom meracieho systému cez metráž 132 m a profil ***pf-6*** (obr. 12) bol situovaný o 27 metrov smerom na západ na metráži 159 m.

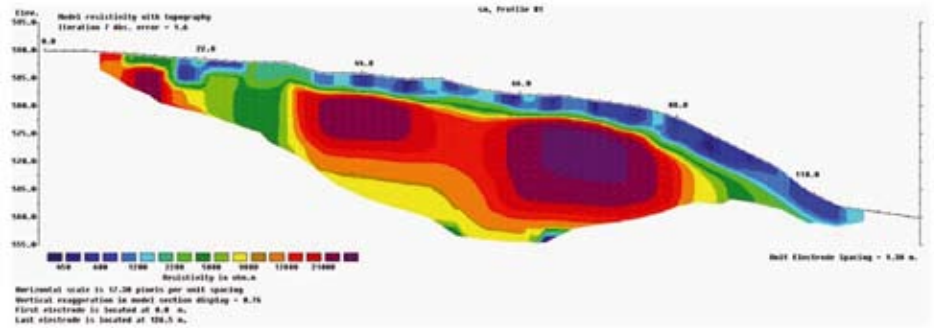
Z výsledkov inverzie 2D modelovania vidno oblasti s vysokou hodnotou merného odporu (nad 21 000 Ωm), ktoré sme na základe priameho modelovania stanovili ako hraničnú hodnotu pre voľný priestor (jaskyne) v horninovom masíve. Profil ***pf-0-10*** (obr. 9) prechádza priamo nad známou časťou Havranickej jaskyne s rozmermi 5 × 10 m a výškou 5 m, nazývanou Zbojnícka sieň, a ako môžeme vidieť na inverznom modeli, odporový prejav jaskyne je veľmi podobný modelovému príkladu znázornenom na obr. 6. Na 2D modeli veľmi jasne vidieť oblasť s výrazne zvýšenými hodnotami odporu; túto oblasť sme charakterizovali ako jaskynné teleso – Havranickú jaskyňu. Na profile ***pf-4-10*** (obr. 10), vzdialenom 44 m od profilu ***pf-0***, môžeme sledovať obdobnú anomálnu zónu. Na základe komplexnej interpretácie všetkých doterajších meraní predpokladáme, že ide o samostatné jaskynné teleso, ktoré pravdepodobne nemá priame prepojenie s Havranickou jaskyňou. Na profiloch ***Pf-5-10, Pf-6-10*** vidno priebeh merného odporu v kolmom smere.



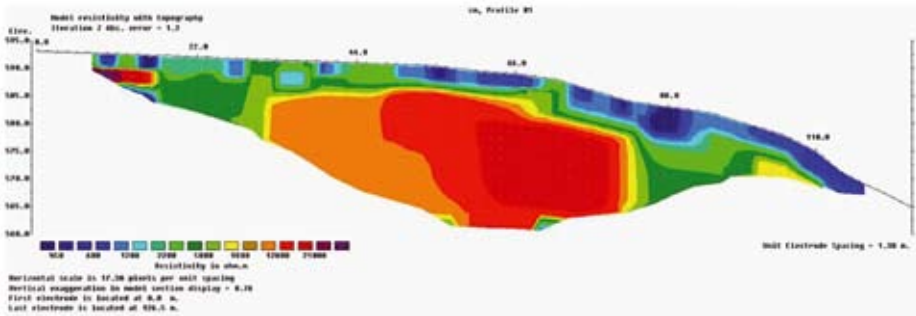
Obr. 9. Profil pf-0-10 – inverzný odporový model s topografiou z výsledkov ERT s vyznačením jaskynného telesa a vstupnej chodby
Fig. 9. Pf-0-10 - 2D resistivity inversion results with topography



Obr. 10. Profil pf-4-10 – inverzný odporový model s topografiou z výsledkov ERT s vyznačením jaskynného telesa
Fig. 10. Pf-4-10 – 2D resistivity inversion results with topography

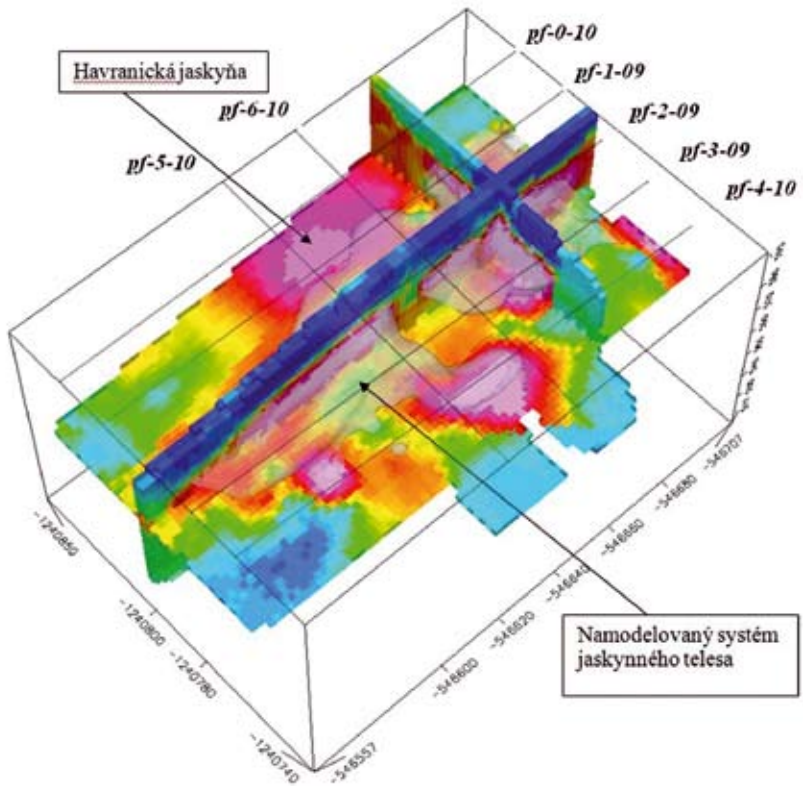


Obr. 11. Profil pf-5-10 – inverzný odporový model s topografiou z výsledkov ERT s vyznačením jaskynného telesa
Fig. 11. Pf-5-10 – 2D resistivity inversion results with topography

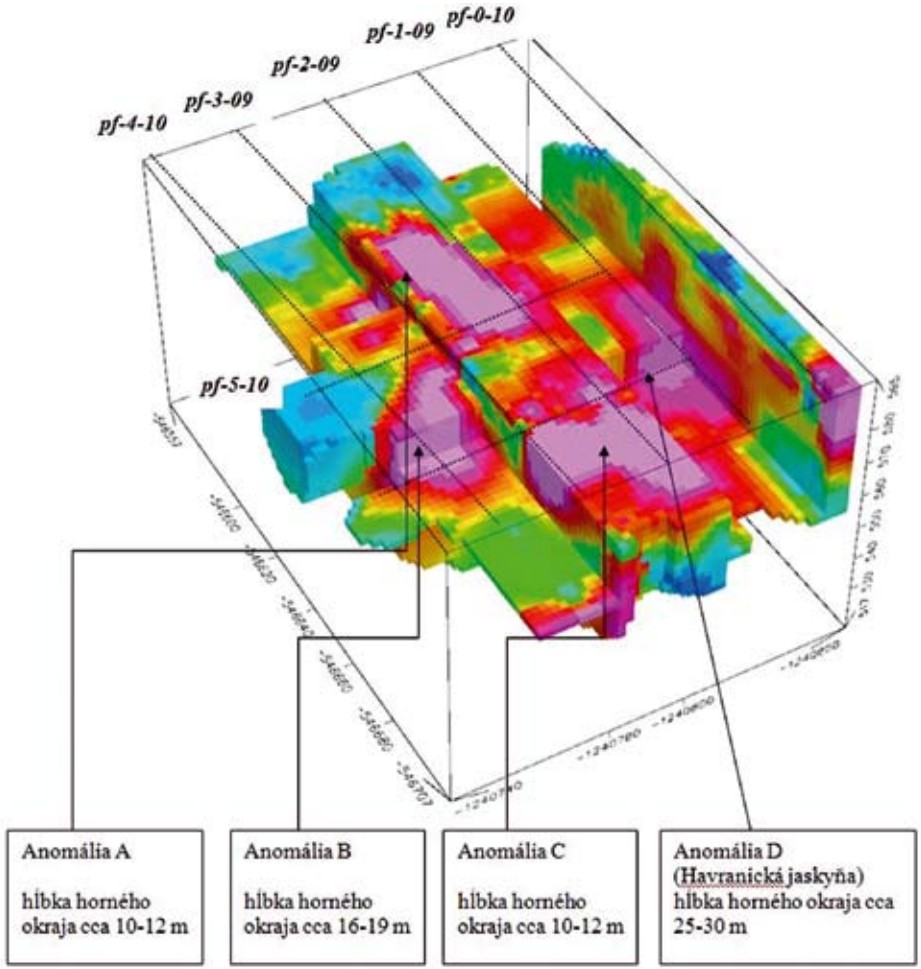


Obr. 12. Profil pf-6-10 – inverzný odporový model s topografiou z výsledkov ERT s vyznačením jaskynného telesa
Fig. 12. Pf-6-10 – 2D resistivity inversion results with topography

Na základe všetkých získaných výsledkov sme spracovali 3D inverzný odporový model skúmaného prostredia (obr. 13 a 14). Z tohto modelu (obr. 13) môžeme jasne definovať Havranickú jaskyňu, ktorá sa nachádza cca 25 – 30 m pod povrchom na profile ***pf-0-10*** (obr. 9). Na modeli je tiež znázornený možný systém chodieb v hĺbke cca 10 m pod povrchom. Systém chodieb bol namodelovaný ako izoplocha s hodnotou merného elektrického odporu 21 000 Ωm.



Obr. 13. 3D model jaskynného systému
Fig. 13. 3D results of electrical resistivity tomography



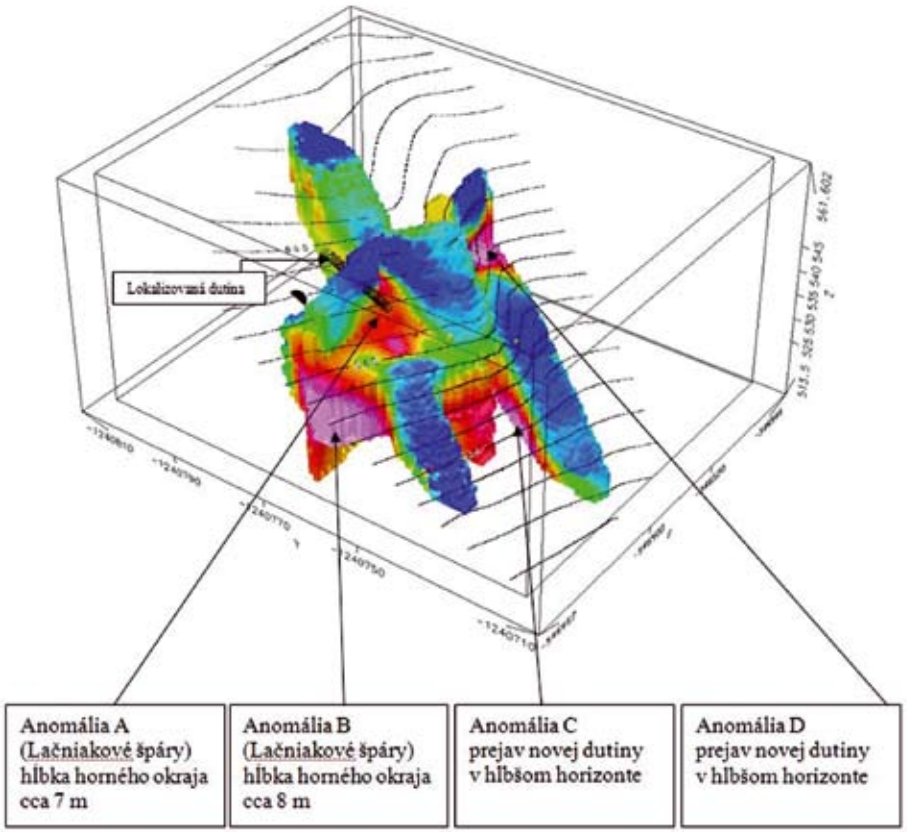
Obr. 14. 3D model jaskynného systému
Fig. 14. 3D results of electrical resistivity tomography

Na druhom 3D modeli (obr. 14) vidieť štyri najvýraznejšie anomálie označené písmenami A, B, C, D. Na základe merných odporov a výsledkov modelovania môžeme predpokladať, že uvedené anomálie sú prejavom dutín v horninovom prostredí. Z výsledkov vyplýva, že dutiny sa nachádzajú v rozdielnych hĺbkach. Najbližšie k povrchu sú dutiny **A** a **C**, cca 10 – 12 m pod povrchom, lokalizované na profile ***pf-2-09***; tieto anomálie boli potvrdené aj profilmi ***pf-5-10*** a ***pf-6-10*** (obr. 11 a 12), ktoré na metráži 66 m prechádzajú profilom ***pf-2-09.*** Dutina **B** je cca 16 – 19 m pod povrchom a nevieme s istotou, či ide o samostatnú dutinu v hlbšom horizonte, alebo je prepojená s dutinami **A** a **C.** Posledná anomália **D** je dostupná Havranická jaskyňa, ktorá sa nachádza cca 25 až 30 m pod povrchom. Z výsledkov merania a modelovania nevychádzajú žiadne indície, že táto najhlbšie položená jaskyňa by bola inými chodbami napojená na väčší jaskynný systém.

Z komplexného zhrnutia výsledkov sa nám skúmaná oblasť Plaveckého krasu javí ako krasový útvar s väčším počtom dutín a chodieb v rôznych hĺbkových úrovniach, ktoré, žiaľ, nie sú poprepájané do kompaktného jaskynného systému formou väčších chodieb (možné je však puklinové prepojenie jednotlivých telies).

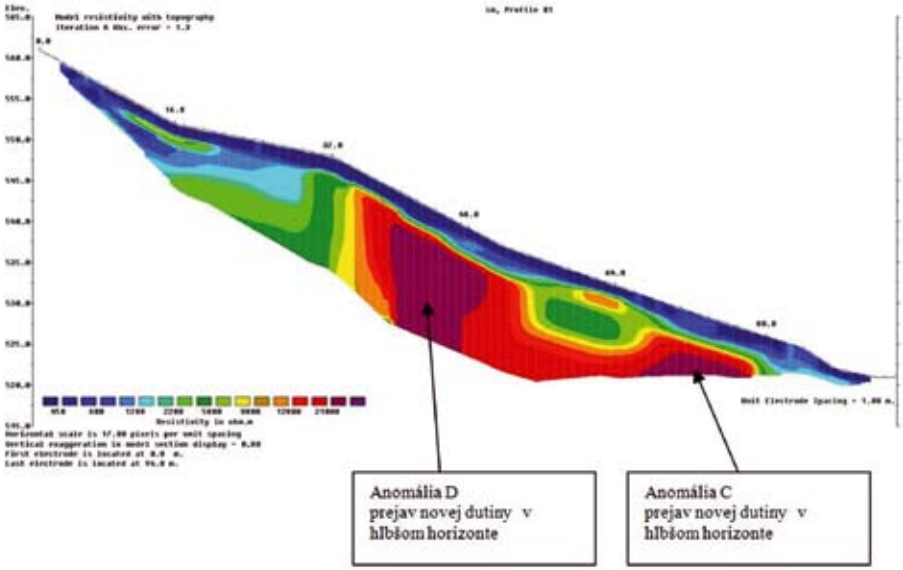
Lačniakove špáry

Geoelektrické merania boli metodicky rozdelené na dve etapy. Pri prvej etape merania sme použili plnú 3D odporovú tomografiu a elektródové usporiadanie pól-pól, profil ***pf-3-D*** (obr. 7). Na doplnenie informácií z 3D merania sme v druhej etape použili 2D odporovú tomografiu a elektródové usporiadanie dipól-dipól, profily ***pf-7-10*** a ***pf-8-10*** (obr. 7). Výsledky 2D a 3D meraní sa spracovali do komplexného 3D modelu (obr. 15), na ktorom vidieť štyri najvýraznejšie anomálie označené písmenami A, B, C, D.

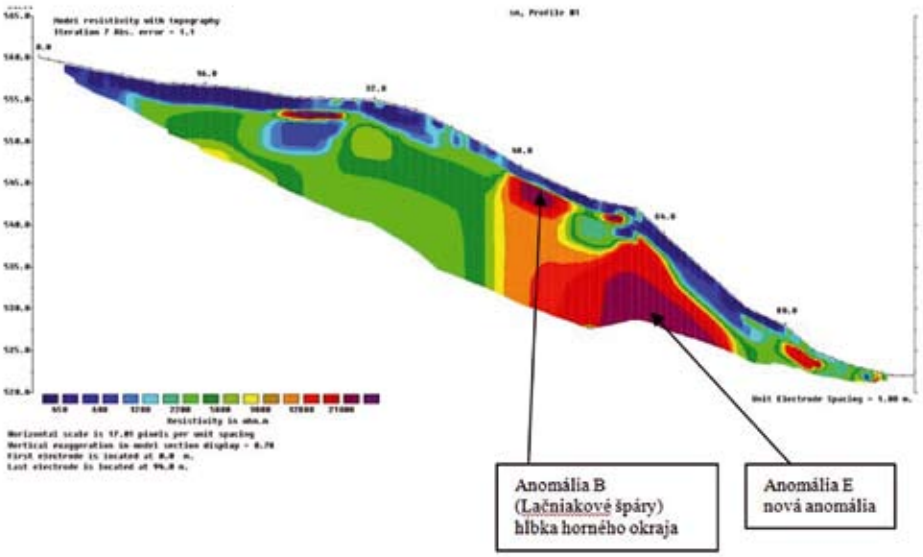


Obr. 15. 3D model jaskynného systému
Fig. 15. 3D results of electrical resistivity tomography

Na základe merných odporov a výsledkov modelovania predpokladáme, že uvedené anomálie sú prejavom dutín v horninovom prostredí. Z výsledkov je zrejmé, že dutiny sa nachádzajú v rozdielnych hĺbkach. Najbližšie k povrchu sú dutiny **A** a **B**, cca 7 m pod povrchom, pričom ide o známe dutiny, v ktorých prebiehali jaskyniarske práce. Ďalšie dve lokalizované anomálie sú situované v hlbších úrovniach pod terénom. Tieto anomálie boli lokalizované aj na profile ***pf-8-10*** (obr. 16). Na profile ***pf-7-10*** vidieť dve anomálie **B** a **E** (obr. 17), z ktorých anomáliu **E** môžeme považovať za prejav novej dutiny (jaskyne) v horninovom prostredí.



Obr. 16. Profil pf-8-10 – inverzný odporový model s topografiou z výsledkov ERT s vyznačením jaskynného telesa
Fig. 16. Pf-8-10 – 2D resistivity inversion results with topography



Obr. 17. Profil pf-7-10 – inverzný odporový model s topografiou z výsledkov ERT s vyznačením jaskynného telesa
Fig. 17. Pf-7-10 – 2D resistivity inversion results with topography

ZÁVER GEOFYZIKÁLNEHO PRIESKUMU

Na lokalite Havranica a Havrania skala v Smolenickom krase sa vykonali geofyzikálne merania s cieľom zistiť možné pokračovanie jaskynných systémov. Išlo o jaskynný systém Havranická jaskyňa a Lačniakove špáry. Na uvedených lokalitách bola premeraná 2D a 3D odporová tomografia a po spracovaní sa zostavil 3D model skúmaného územia. Z výsledkov vyplýva, že v skúmanej krasovej oblasti sa vyskytuje väčší počet anomálnych telies (jaskýň, dutín a chodieb), ktoré však nie sú poprepájané do kompaktného jaskynného systému formou väčších chodieb (možné je však puklinové prepojenie jednotlivých telies).

Poďakovanie. Príspevok bol vypracovaný s podporou projektu VEGA č. 1/0747/11 „Geoevidencia krasových foriem a objasnenie genézy závrtov na vybraných plošinách Malých Karpát“.

LITERATÚRA

Droppa, A. 1952. Kras na juhovýchodnej strane Malých Karpát. In A. Virsík a kol. (Eds.): Kras a jaskyne Malých Karpát. Sprievodca Slovakotouru. Tatran, Bratislava, 63–138.

Gambetta, M. – Armadillo, E. – Carmisciano, C. – Stefanelli, P. – Cocchi, L. – Tontini, F. C. 2009. Determining geophysical properties of a nearsurface cave through integrated microgravity vertical gradient and electrical resistivity tomography measurements. Journal of Cave and Karst Studies, v. 73, no. 1, p. 11–15.

Lačný, A. 2006. Havranické tajomstvo. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti, 37, 4, 20–22.

Lačný, A. – Šmída, B. 2003. Lačniakove špáry. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti, 34, 3, 22–23.

Loke, M. H. 2002: Tutorial. Res2dmod ver. 3.01, Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite-difference and finite-element methods, Geotomo Software, Malaysia.

Loke, M. H. – Barker, R. D. 1996: Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 1, 131–152.

Maheľ, M. 1986. Geologická stavba československých Karpát – Paleoalpínske jednotky 1. Vydavateľstvo Veda, 503 s.

Stankoviansky, M. 1974. Príspevok k poznaniu krasu Bielych hôr v Malých Karpatoch. Geografický časopis, Bratislava, 26, 3, 241–257.

UTILISATION OF ERT METHOD IN RESEARCH OF CAVES IN THE CROW ROCK (THE PLAVECKÝ KARST)

Summary

Cavity system, which was subject of this survey is located in the Malé Karpaty Mts., near Havrania skala Peak (599 m) and are formed in the gutenstein – annaberg limestones formation. The electrical resistivity tomography (ERT) survey was carried out to detect possible continuation of the cavities in the Plavecký karst area. Two sites were targeted by the survey (fig. 7). The first site was Havranická Cave (fig. 2), where size of the Zbojnícka sieň (Outlaw hall) is approximately 5 × 10 m and 5 m height. Seven 2D electrical resistivity tomography lines (fig. 7) were collected using ARES instrument (GF Instruments, CZ) and for the sake of localization and elevation of the profiles GPS system Trimble, Pathfinder ProXH has been used. The spacing between the nodes was 5.5 meters resulting in the total length of the layout was 258.5 meters. The distance between the profiles was 11 meters. The figures 21 and 22 shows 3D result, obtained by joint of the 2D profiles measured over the study area. The estimated depth of exploration is about 40 m and the apparent resistivity values range from high of 21 000 Ωm (cave) to low 450 Ωm (the surface layer formed by weathered limestones filled by clays). The second site was Lačniakove špáry where full 3D resistivity system has been used to map out cavity system continuation. The survey was performed using pole-pole electrode array for 3D survey and the size of grid element was 5.5 m × 5.5 m. The figure 24 shows 3D result over the study area. The estimated depth of exploration is

about 40 m and the apparent resistivity values range again from the high of 21 000 Ωm (cave) to the low 450 Ωm (the surface layer formed by weathered limestones filled by clays). The survey in this area was completed by two additional 2D ERT lines (fig. 16 and 17). Generally, the survey has been designed to provide more information about the cavity system (depth, size, continuation) in the Plavecký karst area and supplemented by detail description of the cave with result of geological and speleological survey.