Geofyzikální indikace krasových dutin ve skupině Branné (keprnická jednotka, Český masiv)

Indications of karst cavities in marbles using the ERT method demonstrated on an example of the Branná Group

Pavla Tomanová Petrová [1] – Zuzana Skácelová [2] – Jiří Otava [1] – Helena Gilíková [1]

[1] Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 69 Brno; pavla.petrova@geology.cz, jiri.otava@geology.cz, helena.gilikova@geology.cz
[2] Česká geologická služba, Erbenova 348, 790 01 Jeseník; zuzana.skacelova@geology.cz

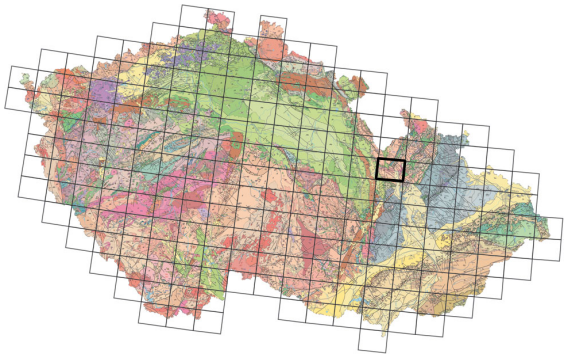
Please cite this article as: Tomanová Petrová, P. – Skácelová, Z. – Otava, J. – Gilíková, H. (2017): Indications of karst cavities in marbles using the ERT method demonstrated on an example of the Branná Group. – Geoscience Research Reports, 50, 89–94. (in Czech)

Key words: *karst cavities, geophysics, ERT method, Branná Group, Silesicum*

Summary: The electrical resistivity tomography method (ERT) was used to establish the extent and depth of karst cavities and/or the thickness of Quaternary sediments at two localities: Raškov Dvůr and Ruda nad Moravou. Both sites are located in a flood plain of the Morava River. Geophysical profiles at the Raškov Dvůr locality were 93 and 69 m long, and one profile coincided with a shallow hydrogeological borehole 6432_6 (30 m deep). The Ruda nad Moravou profile consisted of two overlapping 235 m long sections giving together a 350 m long common profile. The Ruda nad Moravou profile runs across a tectonic zone between the two great geological units of the Lugicum and the Silesicum so that the effect of this tectonic feature on the geophysical image is to be taken into account.

Discussion of the results: The sites showing lower resistivity (Fig. 6) at the Raškov Dvůr locality at depths between 5 and 16 m indicate karstified marbles and gouge-filled fissures saturated with water. This area coincides with the collapsed surface close to the borehole thus representing a risk factor for this settlement.

A lower resistivity layer at the Ruda nad Moravou profile (Fig. 7) was proved to exist up to a depth of 30 m. Its interpretation is more problematic because of the absence of another borehole or relevant geophysical data. It is recommended to continue with using ERT and also to apply seismic methods, and drilling new boreholes at the locality.



(14-41 Šumperk)

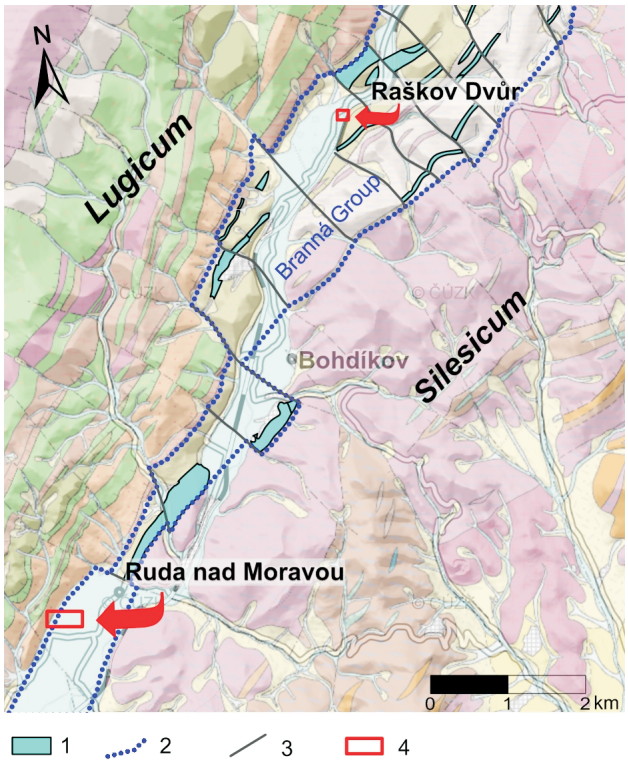
Skupina Branné představuje relikt devonské sedimentace v tektonické zóně mezi keprnickou jednotkou (silesikum) a staroměstskou skupinou orlicko-sněžnické jednotky (lugikum). Horninově je velmi pestrá, jsou v ní zachována metamorfovaná a silně deformovaná klastika (konglomeráty, kvarcity), grafitické fylity až svory, erlany a vápence. V celém zájmovém území byly ve vápencových až mramorových tělesech popsány krasové jevy, z nichž nejznámější jsou jeskyně Na Pomezí (např. Kubalák – Morávek 2010). Řada krasových dutin je evidována také na lokalitách v okolí Hanušovic a Bohdíkova (Morávek 2009).

Nejnověji byly pozorovány při prvním pokusu o realizaci mělkého vrtu 6432_6h na lokalitě Raškov Dvůr (prováděný v rámci projektu 668000 Rebilance zásob podzemních vod) v roce 2015, který havaroval navrtáním kaverny v intervalu 4–22 m a v jeho okolí došlo následně k propadu povrchu terénu (obr. 1). Nový vrt 6432_6 byl přesunut o cca 5 m blíž k řece Moravě a dosáhl konečné hloubky 30 m. Vrt nebyl jádrován, popis pochází ze sítových vzorků, popř. z karotážních měření. Do hloubky 3,9 m byly zastiženy kvartérní hlíny a štěrky, v intervalu 3,9–8,0 m byl bez výnosu, navrtány byly pouze rozplavené jíly problematické geneze. V jejich podloží, až do konečné hloubky 30 m, byly pozorovány drobné úlomky sekrečního křemene a chlorit-sericitických fylitů. Litologická náplň vrtu 6432_6h byla obdobná. Vzhledem k situaci na lokalitě (geologická stavba oblasti, blízká niva řeky Moravy) lze předpokládat rozsáhlý systém dutin vzniklých proudící vodou. V současnosti neprobádaný systém podpovrchových dutin může ohrožovat zemědělskou a stavební činnost v oblasti.

Z toho důvodu bylo pro zmapování hloubkového a plošného rozsahu krasových dutin využito geofyzikální měření metodou ERT (Electrical Resistivity Tomography, elektrická odporová tomografie). Na lokalitě Raškov Dvůr byla pro průzkum vybrána plocha v okolí mělkého vrtu, sousedící se sportovním hřištěm. Druhé měření bylo realizováno na okraji obce Ruda nad Moravou (obr. 2) s cílem ověřit mocnosti kvartéru, resp. hloubku podloží tvořeného vápencovým kolektorem skupiny Branné a specifikovat výskyt

DOI 10.3140/zpravy.geol.2017.18

Obr. 1. Nedovrtaný vrt 6432_6h s propadlou kavernou.
Fig. 1. Unfinished borehole 6432_6h with collapsed cavern.



Obr. 2. Geologická situace studovaných lokalit Raškov Dvůr a Ruda nad Moravou (zdroj Koverdynský et al. 1996, http://mapy.geology.cz/geocr_50/). 1 – mramory, 2 – rozsah skupiny Branné, 3 – příčné zlomy, 4 – zájmová oblast.
Fig. 2. Geological situation and position of studied localities Raškov Dvůr and Ruda nad Moravou (Koverdynský et al. 1996 and http://mapy.geology.cz/geocr_50/). 1 – marbles, 2 – extent of the Branná Group, 3 – transverse faults, 4 – areas of interest.

krasových dutin. Profil ve své z. části protíná kontakt dvou geologických jednotek, proto bylo nutno brát v úvahu rovněž případný vliv této zóny.

Geologická situace

Měřené profily jsou lokalizovány přibližně kolmo na regionální geologické struktury a leží při hranici lugika na Z a silesika na V. Zatímco severní „raškovský“ profil je situován již v silesiku, konkrétně v horninách skupiny Branné, jižnější profil u Rudy nad Moravou ve své z. části přechází kontakt lugika a silesika (obr. 2).

Linie profilů protínají v podloží šedobílé páskované krystalické vápence skupiny Branné s hojnými polohami fylitů (Barnet et al. 1999). Generelní úklony metamorfní foliace mramorů a fylitů jsou strmé k ZSZ, na lokalitě Raškov Dvůr konkrétně 280/66, v lomu Komňátka 288/60 a v lomu Bohdíkov nejčastěji 306/45.

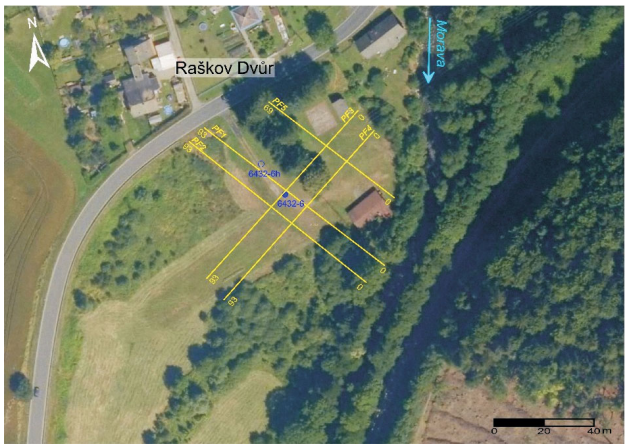
Významná změna šířky pruhu skupiny Branné nastává uprostřed zájmového území na příčném zdvojeném temenickém zlomu probíhajícím ve směru ZSZ-VJV u Komňátek a Bohdíkova. Na sever od temenického zlomu běží k osadě Raškov Dvůr cca 800 m široký pruh náležející svrchnímu oddílu skupiny Branné. Jižně od temenického zlomu pokračuje k VJV až k Rudě nad Moravou odsunutý, asi 300–600 m široký pruh, ponejvíce krytý nivními sedimenty řeky Moravy (profily PF6 a PF7 u Rudy nad Moravou, viz obr. 5). Vápence skupiny Branné jsou na jihu omezeny bušínským zlomem.

Krasové jevy byly popsány v celém zájmovém území od Rudy nad Moravou až po Raškov Dvůr a nejlépe poznány v těžených i opuštěných lomech Bohdíkov (obr. 3) a Komňátka. Největším korozně erozním systémem je asi 150 m dlouhá jeskyně Špajska pod opuštěným bohdíkovským lomem (Morávek 2009). Nad lomem Komňátka se nachází ponor, který je v současné době vzhledem ke špatným dešťovým poměrům zcela vyschlý.

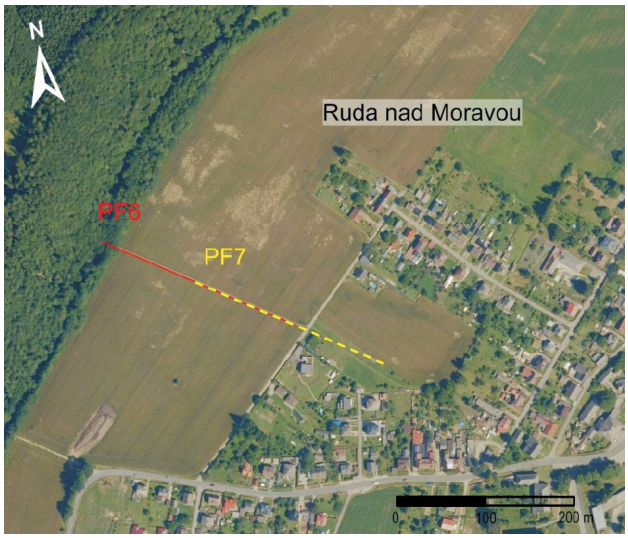
Metodika

Pro zjištění rozsahu a hloubky kaveren a rozvolněných zón byla použita geofyzikální geoelektrická odporová metoda ERT. Toto sondážně profilové měření využívá multielektrodové uspořádání, kdy jednotlivé elektrody (sloužící současně jako zdrojové a měřící) jsou připojeny k automatické multikanálové měřící aparatuře (použita byla aparatura ARES II od firmy GF Instruments s. r. o.). Metoda ERT umožnila konstrukci odporových řezů v liniích zkoumaných profilů. Interpretace těchto řezů je odvozena z rozdílů ve zdánlivých měrných odporech zachycených geoelektrických vrstev nebo struktur a těles a z jejich vzájemné pozice v odporovém řezu.

Obr. 3. Krasové jevy v opuštěném lomu Bohdíkov.
Fig. 3. Karst phenomena in the abandoned quarry Bohdíkov.



Obr. 4. Lokalizace profilů PF1–PF5 na lokalitě Raškov Dvůr.
Fig. 4. Localization of the profiles PF1–PF5 on the locality Raškov Dvůr.



Obr. 5. Situace profilů PF6 a PF7 na lokalitě Ruda nad Moravou.
Fig. 5. Localization of the profiles PF6 and PF7 on the locality Ruda nad Moravou.

Na lokalitě Raškov Dvůr bylo uskutečněno měření na profilech PF1 až PF4 o délce 93 m a na profilu PF5 o délce 69 m (situace profilů je uvedena na obr. 4). Profil PF1 byl veden přes dva nejádrované hydrogeologické vrty realizované v rámci projektu „Rebilance“; přes nedovrtaný a zlikvidovaný vrt 6432_6h (s hloubkou 22 m) a vrt 6432_6 (s hloubkou 30 m). Jednotlivé elektrody byly od sebe vzdáleny 3 m a uspořádání bylo zvoleno „dipól-dipól“ s ohledem na dobré rozlišovací schopnosti pro vyhledání dutin a vertikálních nehomogenit (úzké tektonické pukliny). Pro kvalitnější interpretaci jednotlivých vrstev bylo na profilu PF1 měřeno také uspořádání „Wenner-Schlumberger“, které velmi dobře indikuje horizontální a mírně ukloněné rozhraní. Hloubkový dosah cca 18 m byl limitován možností délky roztažení (mezi silnicí a řekou), pro vyhledání předpokládaných dutin v hloubkách 4–18 m byl však dostatečný.

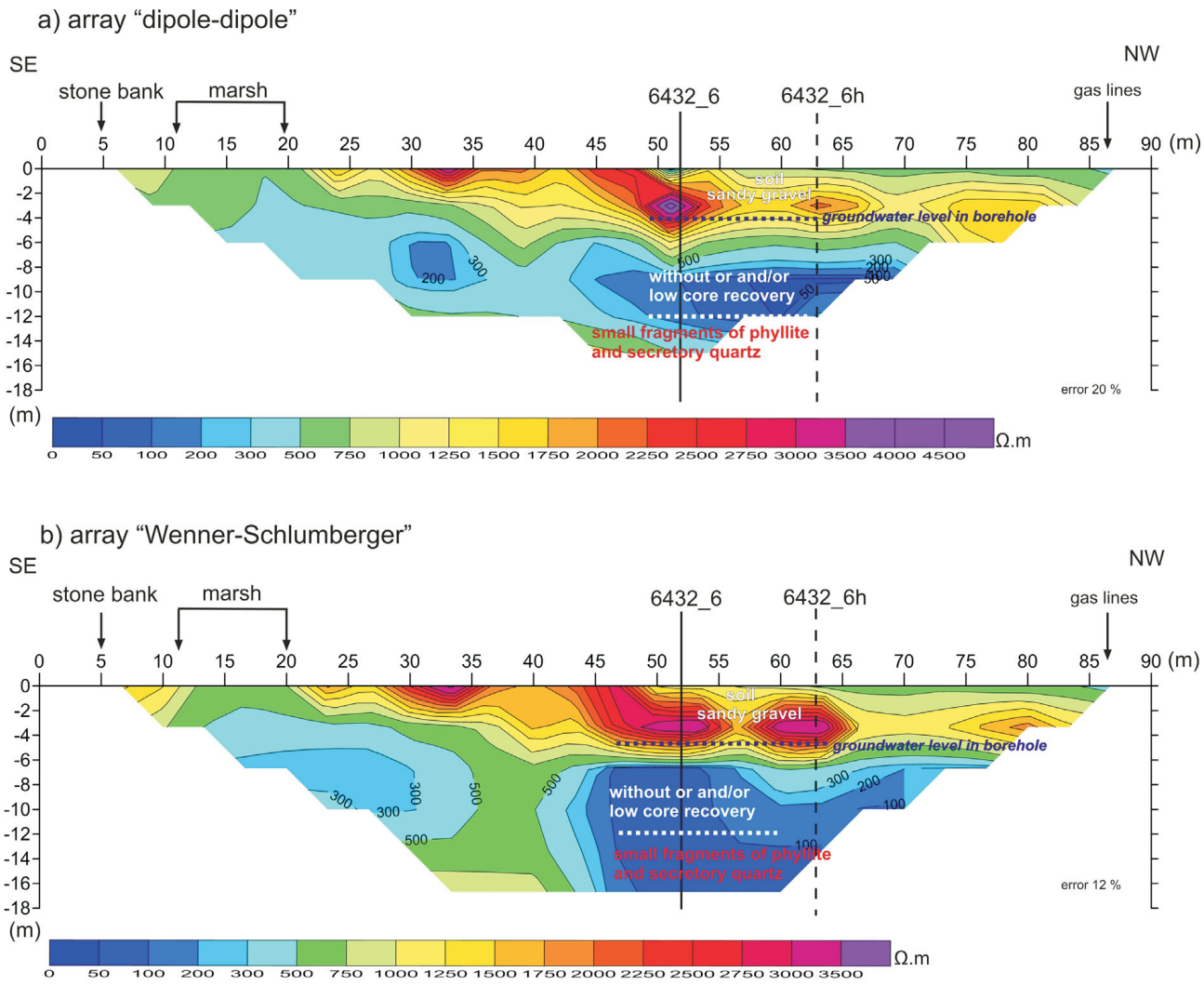
Druhé měření bylo realizováno na okraji obce Ruda nad Moravou. Byly změřeny dva profily, PF6 a PF7, v délce 235 m (obr. 5) ve dvou uspořádáních – „dipól-dipól“ a „Wenner-Schlumberger“. Vzdálenost elektrod byla 5 m. V této lokalitě byl zvolen hloubkový dosah okolo 45 m. Profil PF7 byl posunut o polovinu délky PF6 tak, aby bylo možné navázat a zpracovat data obou profilů současně (spojení datového souboru INV) a interpretovat je společně jako profil o celkové délce cca 350 m.

Naměřená data z obou lokalit byla zpracována programem RES2DINV (www.geotomosoft.com), zohledňujícím také topografii terénu. Rozpětí měrných odporů podle výsledků ERT (10–5 000 Ω.m) odpovídá složení zdejšího horninového prostředí, neboť jílovité sedimenty vykazují obecně nízké měrné odpory řádu jednotek až prvních desítek Ω.m a rozvolněné či klasické sedimenty typu písčitých a štěrkovitých usazenin vykazují obecně vyšší měrné odpory. Významný vliv na naměřené hodnoty má stupeň nasycení vodou. Případné dutiny (prázdné) se projevují vysokými měrnými odpory, dutiny naplněné vodou a jílovitými sedimenty (např. typu terra rosa) se naopak projeví nízkými odpory.

Výsledky

Lokalita Raškov Dvůr

Měřením metodou ERT bylo získáno pět odporových řezů na ploše cca 50 × 50 m. Vzhledem k jejich vzájemné pozici

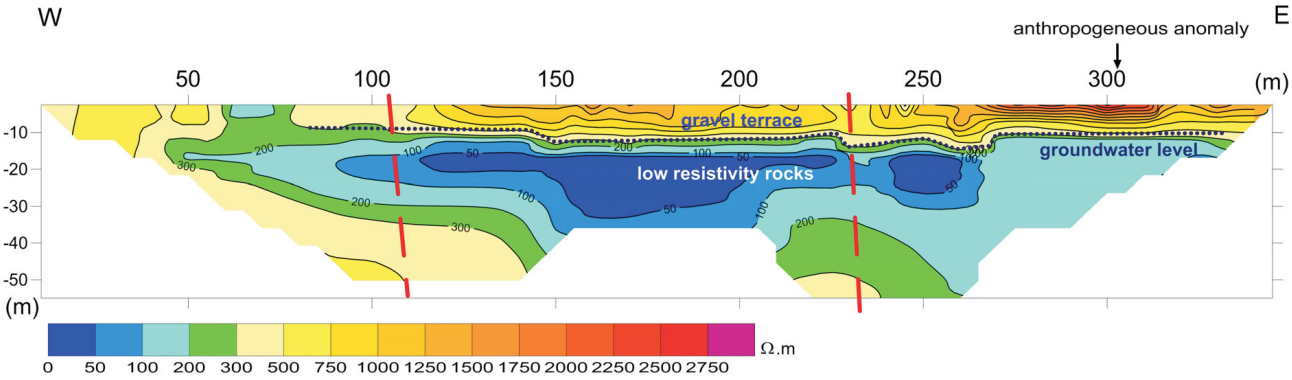


Obr. 6. Výsledky měření metodou ERT na profilu PF1 (lokalita Raškov Dvůr). Srovnání výsledků měření uspořádáním „dipól-dipól" a „Wenner-Schlumberger" (odporový řez).
Fig. 6. Results of the ERT measurement on the profile PF1 (locality Raškov Dvůr). Comparison of the results in the array "dipole-dipole" and "Wenner-Schlumberger" (resistivity cross section).

lze částečně interpretovat geologickou stavbu ve 3D prostoru. Řezy zdánlivého měrného odporu dosahují maximální hloubky 18 m. Odporový řez na profilu PF1, který procházel přes vrt 6432_6 Raškov Dvůr, bylo možné korelovat s popisem sítových vzorků obou vrtů (nejádrované hydrogeologické vrty poskytly popis horniny z výnosu výplachu) a karotážními daty. Ze srovnání měření ve variantě „dipól-dipól" a „Wenner-Schlumberger" (obr. 6) je patrné, že v místech obou vrtů se nalézá pod kvartérní štěrkovou terasou (o mocnosti asi 5 m) nízkoodporová vrstva. Podle projevů při vrtných pracích v této hloubce (vrtání bez výnosu, popř. malý výnos rezavého jílu) jde pravděpodobně o krasové dutiny, popř. puklinové zóny, mezi jednotlivými pruhy fylitu a mramoru, vyplněné jílovitým sedimentem nasyceným vodou. Tato vrstva s měrným odporem menším než 40 Ω.m se nachází v hloubce 5–16 m, což velmi dobře koreluje s karotážními daty, kde byla báze štěrku terasy indikována v hloubce 5 m a hlouběji se až do 16 m podle zjištěných fyzikálních vlastností (měrných odporů a přirozené radioaktivity) nachází vrstva jílovitých sedimentů. Štěrková terasa s měrným odporem 800–1 500 Ω.m je velmi dobře indikována i na ostatních profilech. Pod touto vrstvou lze vysledovat pozice potenciálních krasových nebo puklinových zón, a to především v z. a s. části proměřovaného území.

Lokalita Ruda nad Moravou

Měření metodou ERT na dvou profilech na lokalitě Ruda nad Moravou prokázala, že v podloží štěrkové terasy existuje nízkoodporová vrstva s mocností až 20 m (obr. 7). Na západě se horniny krystalinika s měrnými odpory 500–1 000 Ω.m prudce uklánějí k V (zlomový svah). Štěrková terasa s měrným odporem 500–1 500 Ω.m nedosahuje až k úpatí svahu a její mocnost je okolo 10 m v celé délce obou profilů. Podle měrných odporů byla v době měření pravděpodobně hladina podzemní vody až na její bázi. Pod



Obr. 7. Výsledky měření metodou ERT na lokalitě Ruda nad Moravou, měření uspořádáním „Wenner-Schlumberger" (odporový řez).
Fig. 7. Results of the ERT measurement in the locality Ruda nad Moravou, array "Wenner-Schlumberger" (resistivity cross section).

touto terasou se v hloubkách 10–30 m nachází vrstva s odpory nižšími než 50 Ω.m, která pravděpodobně představuje jílovité a silně zvodnělé horninové prostředí. Srovnatelné výsledky byly dosaženy měřením v obou variantách („dipól-dipól" a „Wenner-Schlumberger").

Diskuse

Ze sítě proměřených profilů na lokalitě Raškov Dvůr byly vymezeny jednotlivé nízkoodporové bloky, které mohou představovat rizikové oblasti s potenciálními kavernami ve vápencích (Valois et al. 2009, Putiška et al. 2014) nebo silně tektonicky porušené podloží. Nejnižší odpory byly naměřeny na sz. okraji hřiště. V místech obou vrtů se nachází blok s odpory odpovídajícími zvodnělým jílovitým sedimentům, což dobře koreluje i s výsledky vrtných prací. Proměřovaná plocha leží v recentní nivě řeky Moravy a interpretovaná mocnost kvartérních štěrkových sedimentů terasy je okolo 5 m. Severně, na okraji obce Raškov Dvůr, se nachází zlomem predisponované údolí, ve kterém jsou situovány zdroje podzemní pitné vody. Na tomto zlomu je vymapováno ukončení vápencového pruhu skupiny Branné (http://mapy.geology.cz/geocr_25/) s četnými dutinami a krasovými jevy (na S od kapličky v obci). Lze předpokládat, že vápence spolu s vrstvami fylitů pokračují i pod kvartérními sedimenty v nivě údolí a představují hydrogeologický kolektor dosahující hloubky až několika desítek metrů. Paleoreliéf v podloží štěrkové terasy je pravděpodobně zkrasovatělý, tektonicky porušený a nalezené potenciální nehomogenity (kaverny, pukliny) jsou vyplněny jílovitopísčitými sedimenty. Ty představují kolektor s proudící podzemní vodou.

Geologická interpretace situace v okolí Rudy nad Moravou je vzhledem k nedostatku vrtných dat a jen částečně provedených geofyzikálních měření (Čeleda 1984, Sklenčka – Životský 1988) více problematická. Ke korelaci s dosaženými výsledky metodou ERT lze využít pouze plošná tíhová měření v měřítku 1 : 25 000, která v těchto místech vytvářejí lokální minimum. Zdrojem tohoto tíhového minima a nízkoodporové vrstvy v řezech měření ERT mohou být:

a) zkrasovatělé vápence a silně tektonicky porušené fylity skupiny Branné v podloží kvartérních sedimentů,

b) vrstva zvodnělých jílovitopísčitých sedimentů (v úvahu přichází např. zachovaný relikt plio-pleistocenních sedimentů) do hloubky až 30 m,

c) vzhledem k pozici na kontaktu lugika a silesika rovněž silně tektonicky porušená zóna.

Ve všech uvedených interpretacích tato vrstva (zóna) představuje významný hydrogeologický kolektor, který podle geofyzikálních interpretací dosahuje hloubky prvních desítek metrů v šířce několika stovek metrů. Lze předpokládat, že takto široká zóna může být také kombinací všech těchto interpretací.

Závěr

Geofyzikální měření metodou ERT umožnilo velmi dobře lokalizovat místa, která mohou představovat existenci krasových dutin ve vápencích skupiny Branné (případně tektonické pukliny).

Na lokalitě Raškov Dvůr je geologická interpretace v souladu s výsledky vrtných prací a byla prokázána zjevná souvislost propadu povrchu terénu v místě mělkého vrtu 6432_6h. Metodou ERT byla zjištěna místa nízkých měrných odporů, která pravděpodobně indikují výskyty zkrasovatělých mramorů a puklinových zón vyplněných jílovitými a silně zvodnělými sedimenty. Tyto bloky v hloubkách 5–16 m mohou představovat rizikové faktory na území obce Raškov Dvůr.

Na lokalitě Ruda nad Moravou byla metodou ERT prokázána existence nízkoodporové vrstvy, a to až do hloubek okolo 30 m. Její interpretace je problematická z důvodů nedostatku jiných geofyzikálních či vrtných dat. Bylo by proto vhodné pokračovat na této lokalitě ve studiu s využitím dalších dostupných geofyzikálních metod (jako jsou např. odporové profilování a sondování, seizmické metody), případně uskutečnit zde i nové vrtné práce.

Poděkování. Práce vznikla za podpory projektu ČGS č. 384200 „Činnosti v rámci aktualizace geofaktorů v databázích a mapových dokumentech (etapa 2016)", za inspiraci děkujeme projektu ČGS č. 668000 „Rebilance zásob podzemních vod, 1. 7. 2010–30. 6. 2015 (SFŽP v rámci OPŽP prioritní osa 6, finance EU ČR)",

bez jehož realizovaných vrtů by práce nevznikla. Rovněž děkujeme za rady a pomoc při měření metodou ERT ing. Martinu Dostalíkovi, recenzentům Mgr. Radkovi Klanicovi a RNDr. Filipovi Hartvichovi, Ph. D., a handling editorovi doc. RNDr. Jaroslavu Kadlecovi, Dr.

Literatura

BARNET, I. – ČURDA, J. – HOLÁSEK, O. – KOVERDYNSKÝ, B. – MANOVÁ, M. – MÜLLER, V. (ed.) – OPLETAL, M. – REJCHRT, M. – SKÁCELOVÁ, D. – ŠALANSKÝ, K. – VEČEŘA, J. (1999): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000, list 14-41 Šumperk. – Čes. geol. úst. Praha.

ČELEDA, V. (1984): Zpráva o geoelektrickém měření na akci Olšany – hydrogeologie. – Ochrana Přír. 4, 21–23.

KOVERDYNSKÝ, B. – HOLÁSEK, O. – OPLETAL, M. – REJCHRT, M. (1996): Geologická mapa 1 : 50 000, list 14-41 Šumperk. – Čes. geol. úst. Praha.

KUBALÁK, P. – MORÁVEK, P. (2010): Nové objevy v krasovém území Na Pomezí. – Ochrana Přír. 4, 21–23.

MORÁVEK, R. (2009): Kras pásma Branné. In: HROMAS, J. (ed.) et al. (2009): Jeskyně, 331. Chráněná území ČR, sv. XIV. 608 str. – Agent. ochr. přír. kraj. ČR, Praha – EkoCentrum Brno.

PUTIŠKA, R. – KUŠNIRÁK, D. – DOSTÁL, I. – LAČNÝ, A. – MOJZEŠ, A. – HÓK, J. – PAŠTEKA, R. – KRAJŇÁK, M. – BOŠANSKÝ, M. (2014): Integrated geophysical and geological investigations of karst structures in Komberek, Slovakia. – J. Cave Karst Studies 76, 3, 155–163.

SKLENČKA, J. – ŽIVOTSKÝ, L. (1988): Zpráva o geofyzikálním měření na akci Ramzovské nasunutí – krystalinikum. – 20 str., MS Čes. geol. služba, Praha.

VALOIS, R. – GUÉRIN, R. – PIGEAUD, R. – RODET, J. (2009) : Geophysical study to characterize input karst water circulation in the saulges cave (Mayenne, France). – ArcheoSci. 33 (suppl.), 163–166.

http://mapy.geology.cz/geocr_25/ – aplikace ČGS, mapy 1 : 25 000

http://mapy.geology.cz/geocr_50/ – aplikace ČGS, mapy 1 : 50 000