

# MĚLKÉ GEOFYZIKÁLNÍ MAPOVÁNÍ POVRCHU POHŘBENÉHO HRANICKÉHO KRASU METODOU ELEKTRICKÉ ODPOROVÉ TOMOGRAFIE

Shallow geophysical mapping of buried karst surface near Hranice using electrical resistivity tomography

Petr Dleštík, Ondřej Bábek

Katedra geologie PŘF UP, Tř. Svobody 26, 779 00 Olomouc; e-mail: dlesta@seznam.cz

(25-12 Hranice, 25-14 Valašské Meziříčí)

**Key words:** Hranice karst, electrical resistivity tomography, buried karst, tropical karstification, mogoty

## Abstract

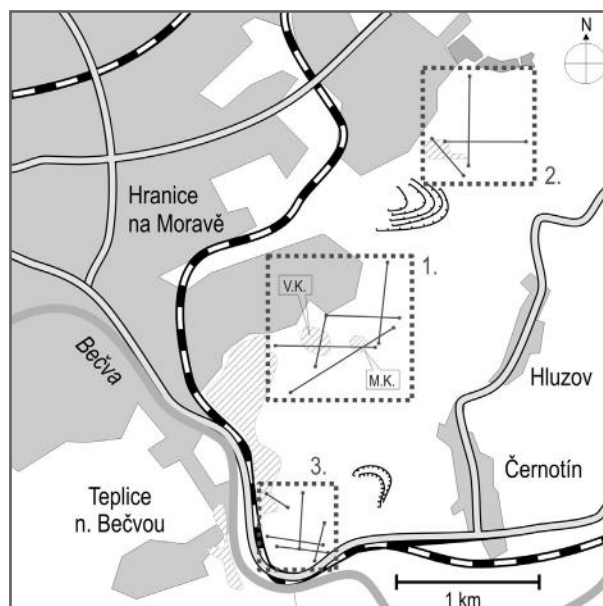
This paper presents the results of geophysical mapping of buried relief in the Hranice karst, central Moravia, by electrical resistivity tomography (ERT). Geophysical data were compared with borehole database and interpretations of Hranice karst morphology (published data). Three measurement areas were selected SE of the city of Hranice close to prominent limestone outcrops and expected buried karst phenomena. Fourteen 2D resistivity profiles were measured by ARES system using the Wenner-Schlumberger array. The ERT proved to be very useful due to contrasting resistivities between the limestone and the clayey cover sediments. Our data support the idea of pre-Miocene tropical karstification published by previous authors.

## Úvod

Hranický kras je typem pohřbeného krasu, který na povrch vychází jen v izolovaných výchozech vápenců. Názory na vznik a vzhled krasového reliéfu se liší; hojně je však citována teorie Tyráčka (1962), který jej označuje jako pohřbený tropický kras s krasovými kužely nebo mogoty. K tropickému krasovnění docházelo především v krasových fázích před cenomanskou a miocenní transgresí (Otava 2006). Tyráček (1962) jako mogot označuje vrch Velká Kobylanka na základě vrtu situovaného mezi nedalekými vápencovými výchozy Malé a Velké Kobylanky, který nezastihnul vápence ani v hloubce 70 m. Jako mogoty jsou dále označovány exhumované, cca 10 m velké homolovité tvary v „malém lomu“ hranické cementárny a geofyzikálně ověřená izolovaná vápencová homole u Kamence jv. od Hranic (Man et al. 1958). Členitý krasový reliéf je patrný i na interpolovaném povrchu z vrtů M. Bíla in Otava (2006). Tropické krasovnění indikují také nálezy a interpretace sedimentů rudického typu (Otava 2006).

Cílem této práce bylo zmapovat reliéf pohřbeného krasu pod mladším kenozoickým pokryvem a geofyzikální data srovnat s dřívějšími výzkumy a názory na povrch krasu.

Jako hlavní metoda byla zvolena elektrická odporová tomografie (electrical resistivity tomography, ERT). Výhodou ERT ve studiu pohřbeného krasu je dostatečné odlišení litologických domén na základě odporového kontrastu mezi vápenci s vysokým měrným odporem a jejich klastickým pokryvem (jíly, silty), pro které jsou charakteristické nízké hodnoty měrného odporu. Proto jsou odporové metody v oblasti krasu hojně využívány, zejména pro mapování rizikových lokalit zkrasovělých obydlených oblastí, např. Schoor (2002), Satarugsa et al. (2004).



Obr. 1: Poloha oblastí měření (rámeček 1–3) s naznačenými profily, šrafová jsou vyznačena chráněná území. V. K. – Velká Kobylanka, M. K. – Malá Kobylanka.

Fig. 1: Location of measured areas (rectangles 1–3) with indicated profiles; hatched areas mark natural protected territories. V. K. – Velká Kobylanka, M. K. – Malá Kobylanka.

## Geologie a geomorfologie studované oblasti

Oblast se nachází cca 40 km v. od Olomouce v sv. části kry Maleníku (obr. 1). Samotné vymezení Hranického krasu je poněkud obtížné, neboť je převážně pokryt mladšími sedimenty. Asi nejpřesnější vymezení – na obou březích údolí Bečvy v pásu 5,5 km dlouhém a asi 4 km širokém, protaženém od JZ k SV, mezi obcemi Hranice, Teplice nad Bečvou a Černotín, udává Geršl in Hromas (2009). Krasovými horninami jsou devonské a spodnokr-

bonské vápence macošského a líšeňského souvrství. Ty byly překryty spodnokarbon-skými klastickými sedimenty kulmské facie – moravické a hradecko-kyjovické souvrství (Dvořák – Fričková 1978). V jejich nado- loží leží autochtonní miocenní sedimenty karpatské předhlubně převážně jílovitého charakteru, na které byla od JV nasunuta vnější skupina příkrovů vnějších Západních Karpat, zejména jednotka podslezská (Eliáš 1959). Lokálně jsou tyto sedimenty pokryty sprašovými hlínami (Otava 2010). Reliéf krasu byl modelován zejména polyfázovým krasověním (Otava 2006) včetně specifického hydrotermálního krasovění, jehož výsledkem jsou Zbrašovské aragonitové jeskyně a Hranická propast.

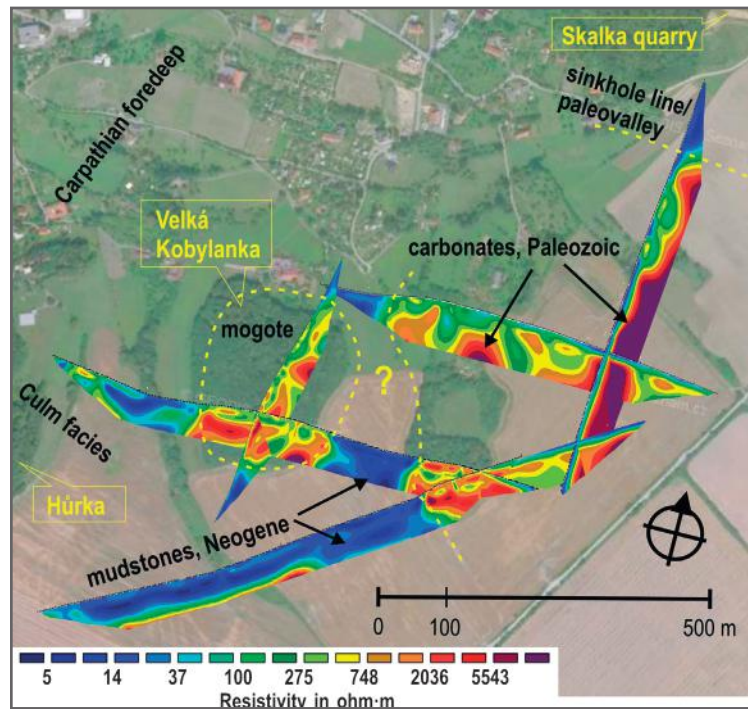
### Metody

Při lokalizaci profilů bylo žádoucí měřit poblíž výchozů krasu a v místech, kde se očekávaly cílové krasové jevy. Profily byly postupně navrhovány podle předchozích výsledků měření tak, aby bylo možno získat představu o podloží tří dílčích oblastí. Tyto oblasti měření a poloha jednotlivých profilů jsou znázorněny na obr. 1. Geofyzikální data byla pro přesnější interpretaci korelována s vrtnými daty (ČGS-Geofond) podél linie profilů a jako srovnávací a doplňková metoda byla na několika totožných profilech použita mělká refrakční seismika (není součástí práce).

V rámci práce bylo naměřeno celkem 14 2D profilů metodou elektrické odporové tomografie (ERT) systémem ARES, o délkách 189–795 m, s roztečí elektrod 3–5 m, s uspořádáním elektrod Wenner-Schlumberger, s délkou impulsu 0,5 s a sčítáním dat (stacking) ze 4 měření v každém bodě. Při měření delších profilových linií byla zvolena metoda rolování s maximálním roztažením 72 elektrod. Naměřená data byla softwarově zpracována v programu RES2DINV (Geotomo Inc.) metodou nejmenších čtverců do podoby odporových řezů (odporová tomografie) inverzních modelů měrného odporu. Hlubkový dosah zobrazovaných inverzních modelů odporové tomografie je při rozteči elektrod 5 m 60–65 m, při rozteči 3 m 35–40 m. Kratší rozteč elektrod byla pro vyšší rozlišení profilů použita v oblasti 3; v prvních dvou oblastech byla pro maximální hlubkový dosah používána rozteč 5 m.

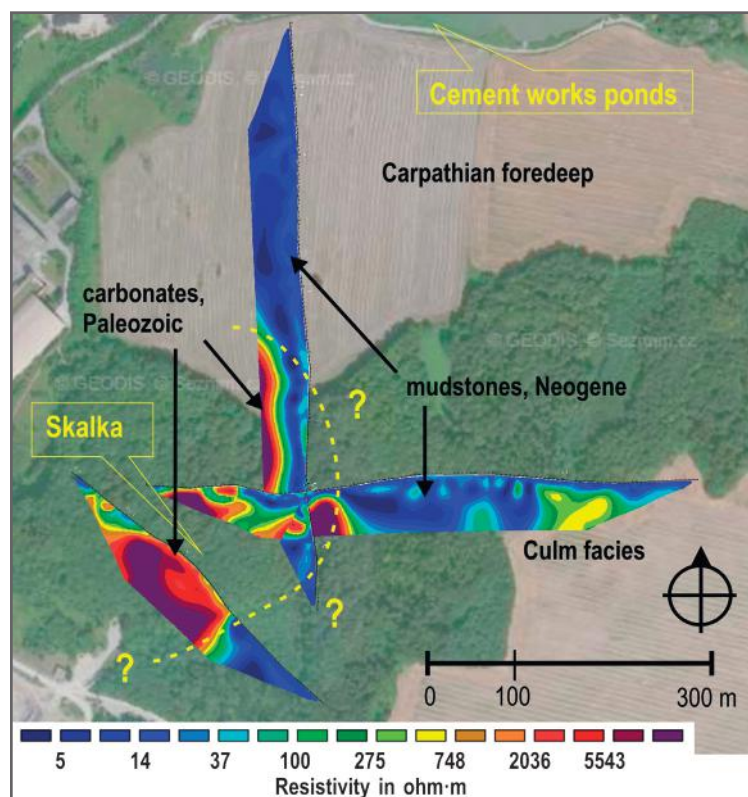
### Výsledky a diskuze

Z inverzních modelů můžeme na základě hodnot měrných odporů a korelací s vrtnými daty indikovat několik litofacií: (a) nízké



Obr. 2: Výsledky odporové tomografie a interpretace oblasti 1. Výsledky jsou prezentovány jako modelové řezy měrného odporu po inverzi dat. Maximální hlubkový dosah profilů je 65 m.

Fig. 2: Results and interpretations of resistivity tomography in the area 1. Results are represented as inverse model resistivity sections with maximum depth range of 65 m.



Obr. 3: Výsledky odporové tomografie a interpretace oblasti 2. Výsledky jsou prezentovány jako modelové řezy měrného odporu po inverzi dat. Maximální hlubkový dosah profilů je 65 m.

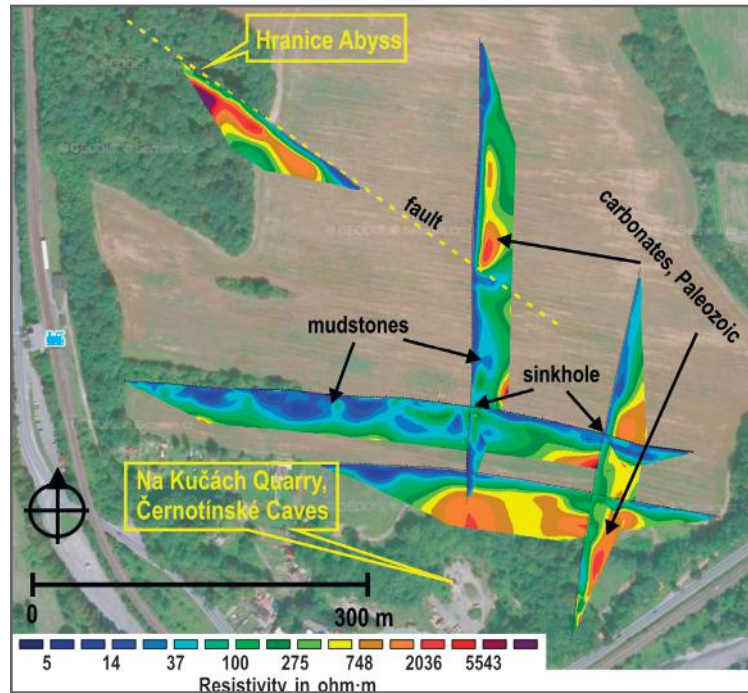
Fig. 3: Results and interpretations of resistivity tomography in the area 2. Results are represented as inverse model resistivity sections with maximum depth range of 65 m.

hodnoty měrného odporu do 100 ohm·m indikují vysoce vodivé, nejčastěji jílovité klastické sedimenty, které tvoří pokryv krasu nebo vyplňují krasové kapsy, například ve stěně lomu Skalka. Podle korelace s vrtnými daty se jedná zpravidla o miocenní jíly karpatské předhlubně; (b) hodnoty v rozmezí cca 300–1 000 ohm·m místy značí kulmské horniny (NPR Hůrka v oblasti 1 a východně od vrchu Skalka v oblasti 2), jsou potvrzeny vrty nebo výchozy; (c) hodnoty nad cca 1 500 ohm·m odpovídají masivním vápencům macošského nebo líšeňského souvrství; a (d) středně vysoké hodnoty měrného odporu 300–1 500 ohm·m uvnitř nebo na okrajích masivních vápenců jsou interpretovány jako zkrasovělé povrchové zóny vápenců nebo endokras ve vápencových tělesech.

ERT profily v oblasti 1 byly měřeny pro objasnění podloží kolem předpokládaných mogotů nebo krasových kuželů Velké a Malé Kobylanky. Z pseudo 3D vizualizace odporových řezů – odporové tomografie (obr. 2) vyplývá několik důležitých poznatků. (1) Nápadnou depresi vápenců při jižním okraji lomu Skalka, vyplněnou nízkoodporovými sedimenty, lze korelovat se strukturou směru Z–V, kterou Otava (2006) na základě interpolací vrtů M. Bíla interpretoval jako závrtovou řadu. Stejnou strukturu interpretoje Tomek (1974) jako paleoúdolí o hloubce kolem 50 m na základě gravimetrického měření. (2) Vápencové těleso Velké Kobylanky je ze všech stran strmě až kolmě ohraničeno a obklopeno vodivými jílovitými sedimenty a svým tvarem tak odpovídá mogotu o rozměrech cca 200 × 300 m a výška minimálně 65 m (hloubkový dosah metody). (3) Vápencové podloží Malé Kobylanky se jako mogot nejeví, avšak je zde patrné strmé ohraničení z J a Z, pokračující severně. Tento svah kopíruje dnešní reliéf až po lom Skalka. (4) V masivních vápencích nejen pod Velkou Kobylankou jsou viditelné nápadné horizontální a vertikální zkrasovělé struktury, které mohou indikovat endokras.

Na základě zobrazení odporové tomografie oblasti 2 (obr. 3) lze vyčlenit vodivý sedimentární pokryv karpatské předhlubně zejména na severu oblasti, dále blok kulmských hornin (východně). Členité, ale masivní vápencové těleso je ze S, J a V nápadně strmě omezeno, není vyloučeno, že se jedná o reliétní elevaci tvaru mogotu, případně že je vápencové těleso alespoň z uvedených stran obklopeno krasovým údolím. Těž z modelu interpolace vrtů M. Bíla se vrchol Skalka jeví jako vápencová elevace. Měření bylo z dalších stran omezeno pozemkem hranické cementárny.

Oblast 3 byla měřena zejména za účelem objasnění závrtové řady podle Travěnce et al. (2002) na tzv. Propastku (dva na povrchu nejnápadnější závrtky jsou v místech křížení na severnějším profilu z.–v. směru). Byla uvažována možnost, že závrtky jsou vázány na vodivé struktury ve smyslu Geršla et al. (2007), proto byly vedeny i kolmé profily. Na základě odporové tomografie (obr. 4) však hledané



Obr. 4: Výsledky odporové tomografie a interpretace oblasti 3. Výsledky jsou prezentovány jako modelové řezy měrného odporu po inverzi dat. Maximální hloubkový dosah profilů je 65 m.

Fig. 4: Results and interpretations of resistivity tomography in the area 3. Results are represented as inverse model resistivity sections with maximum depth range of 65 m.

struktury prokazatelné nejsou, pro velkou mocnost pohřbení krasu a nedostatečný hloubkový dosah při použité rozteči elektrod 3, resp. 4 m, je však vyloučit díky limitaci metody nelze. Přibližně v polovině sj. profilu je evidentní vodivá zóna, kterou interpretujeme jako tektonickou poruchu, jejíž směr se shoduje se směrem předpokládaného zlomu, na kterém je vyvinuta Hranická propast a na níž je severní těleso patrně zkrasovělých vápenců vyzvednuto až o 30 metrů. Hloubkový dosah ERT je zde cca 65 m (rozteč 5 m), resp. 40 m (rozteč 3 m).

#### Závěr

Vápencové těleso Velké Kobylanky svým tvarem odpovídá pohřbenému mogotu o rozměrech cca 300 × 200 m a výškou minimálně 65 m, pohřbeným mogotem může být i vrch Skalka. Geofyzikální měření tak potvrzují názory Tyráčka (1962) o předmiocenním tropickém krasovění v Hranickém krasu. Lze se však připojit i k interpretaci Tomka (1974), který z morfologie Hranického krasu interpretoje jak krasové jevy (krasové údolí), tak i tektoniku (vertikální pohyby ker). Jak je patrné z výsledků měření a korelací s vrty, metoda ERT je díky relativně vysokému odporovému kontrastu vhodnou metodou k mapování podpovrchových krasových jevů.

#### Poděkování

Tento výzkum byl částečně financován z prostředků projektu GAČR P210/12/0573. Děkuji za spolupráci Janu Krobotovi a Fraňo Travěncovi.

**Literatura**

- Dvořák, J. – Friáková, O. (1978): Stratigrafie paleozoika v okolí Hranic na Moravě. – Věstník Ústředního ústavu geologického, 55, 1. 50 s. Praha.
- Eliáš, M. (1959): Zpráva o sedimentárně petrografickém výzkumu hornin podslezské jednotky z vrty H 507 v Černotíně u Hranic. – MS Archiv Českého geologického ústavu, 26 s. Praha.
- Geršl, M. – Kalenda, P. – Havlín, A. – Duras, R. (2007): Geofyzikální mapování metodou velmi dlouhých vln a vrtný průzkum v okolí Hranické propasti. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 14, 92–94, Brno.
- Geršl, M. (2009): Hranický kras. – In: Hromas, J. (ed.), Jeskyně ČR. Chráněná území ČR, vol. 15. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR & EkoCentrum Brno, p. 362, Praha.
- Man, O. – Prokeš, I. – Šafránek, V. (1958): Zpráva o geoelektrickém průzkumu prováděném v roce 1958, oblast Teplice nad Bečvou. – Československé naftové doly, 17 s., Brno.
- Otava, J. (2006): Současný stav znalostí polyfázového krasování hranického paleozoika. – Speleofórum 2006, 84–86. Praha.
- Otava, J. (2010): Geologický průvodce Hranickem aneb když se střetnou orogény. – Česká geologická společnost, 28 s. Praha.
- Satarugsa, P. – Manjai, D. – Yangme, W. (2004): Evaluation of 2-D resistivity imaging technique for mapping and monitoring of subsurface cavity collapsed into sinkhole. – Australian Society of Exploration Geophysicists Extended Abstracts 2004, 1, 1–4.
- Schoor, M. (2002): Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging. – Journal of Applied Geophysics 50, 393–399.
- Tomek, Č. (1974): Detailní tíhové měření na vápencové lokalitě Černotín. – Geofyzika n.p., 20 s. Brno.
- Travěnek, F. – Klečková, Z. – Orálek, M. (2002): Hranická Propast. Průvodce národní přírodní rezervací Hůrka s nehlubší českou propastí. – Český svaz ochránců přírody, Valašské Meziříčí. 39 s. Valašské Meziříčí.
- Tyráček, J. (1962): Fosilní kuželový kras u Hranic na Moravě. – Časopis pro Mineralogii a Geologii, 2, 176–181. Praha.