

# REZISTIVITNÉ OBRAZY GLACIFLUVIÁLNYCH SEDIMENTOV RIEKY BELÁ

## RESISTIVITY IMAGES OF THE GLACIFLUVIAL SEDIMENTS OF THE BELÁ RIVER

*Vojtech Gajdoš<sup>1</sup> Kamil Rozimant<sup>2</sup> , Andrea Bartošová<sup>3</sup>*

### Abstrakt

Elektrická rezistivita je parameter, ktorý citlivo odráža materiálové, zrnitostné a pórovitostné zmeny geologických materiálov. Z uvedených dôvodov bolo vykonané mapovanie priestorových zmien elektrickej rezistivity pre účely geomorfologického výskumu histórie a vývoja glacifluviálnych sedimentov v povodí rieky Belá. Pri mapovaní boli použité metódy geoelektrické metódy (VES, ERT a GPR (ground penetrating radar)). Získané výsledky boli využité na posúdenie zmien hrúbky kvartérnych sedimentov, na vymedzenie jednotlivých litologických typov kvartérnych sedimentov a ich priestorové rozmiestnenie a na spresnenie prítomnosti a polohy tektonických porúch, ktoré podmieňujú vývoj kvartérnych sedimentov.

### Abstract

Electrical resistivity is a parameter that sensitively reflects material, grain and porosity changes of geological materials. For these reasons, spatial changes of electrical resistivity were mapped for the purpose of geomorphological research of the history and development of glacifluvial sediments in the Bela river basin. Geoelectric methods (VES, ERT and GPR) were used for mapping. The results obtained were used to assess changes in the thickness of quaternary sediments, to define the individual lithological types of quaternary sediments and their spatial distribution, and to clarify the presence and position of tectonic disorders that condition the development of quaternary sediments.

### Kľúčové slová

*geomorfológia, elektrická rezistivita, geoelektrické metódy, georadar, glacifluviálne sedimenty, neotektonika*

### Keywords

*geomorphology, electrical resistivity, geoelectric methods, georadar, glacifluvial sediments, neotectonics*

## 1 Úvod

Horská rieka Belá tečie v glacifluviálnych sedimentoch, ktoré boli uložené pri topení horského ľadovca koncom ľadovej doby. Poloha a vývoj súčasného toku Belej súvisí s neotektonickou aktivitou, ktorej dôsledkom je diferenciálny pohyb blokov, cez ktoré rieka tečie. Táto dynamika sa odráža v lokálnej akumulácii, resp. odnose horninového materiálu a v zmenách jeho zloženia (piesky až balvanité

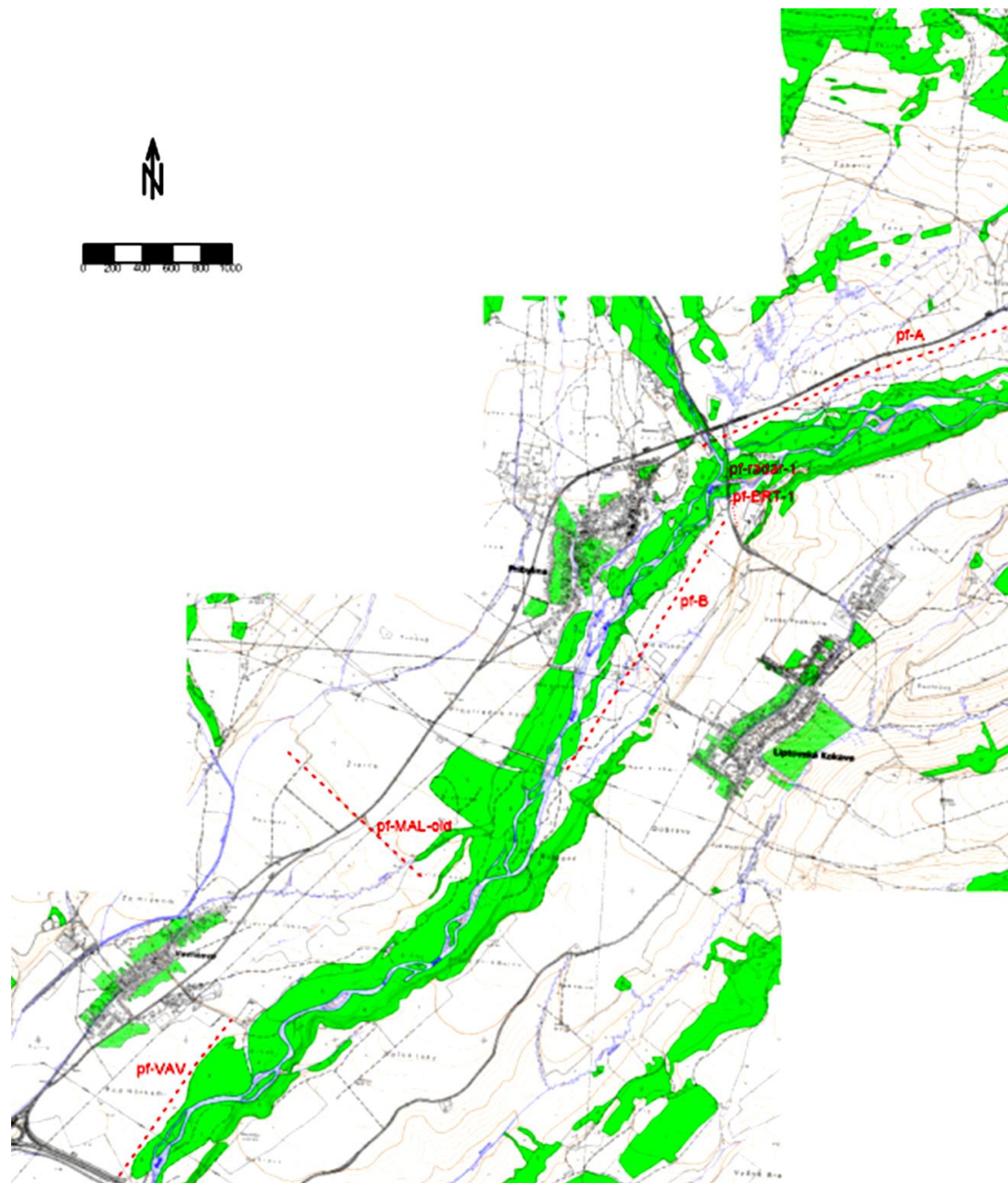
štrky). Priestorové materiálové zmeny sedimentov v okolí rieky je možné okrem iného sledovať a mapovať prostredníctvom ich elektrickej rezistivity, pretože tento parameter citlivo odráža ich materiálové a zrnitostné zmeny GAJDOŠ, V. (2013). Podobný prieskum sme realizovali v minulosti aj na riekach Ondava a Vydrica; SLÁDEK, J., GAJDOŠ, V. (2014).

Predmetom výskumu rezistivných obrazov kvartérnych sedimentov Belej, zastúpených v prevažnej miere glacifluviálnymi uloženinami je štúdium nehomogenity týchto sedimentov a štúdiom príčin tejto nehomogenity v dôsledku neotektonických pohybov a vývoja riečného koryta v závislosti na klimatických zmenách. Pozdĺžnemu profilu rieky ako nástroju geomorfologického výskumu sa venujú napr. práce KIDOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M. (2012) a KIDOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M., RUSNÁK, M. (2016).

## 2 Metodika merania

Vzhľadom na veľkosť povodia Belej a na veľkú priestorovú premenlivosť jej kvartérnych sedimentov sa v prvej etape vykonali v malej mierke merania metódou vertikálneho elektrického sondovania (VES) s cieľom postihnúť celkový charakter kvartérnych sedimentov a zistiť prítomnosť lokálnych anomálií. V ďalšom sa použije metóda elektrickej rezistivnej tomografie (ERT) s cieľom vyšetriť a popísať anomálne objekty zistené v prvej etape a potom na detailné posúdenie štruktúry kvartérnych sedimentov metóda GPR

*Metóda VES* (vertikálne elektrické sondovanie) sa používa na zistenie vertikálnej štruktúry horninového prostredia. V tomto prípade bola použitá na posúdenie



**Obr.1** Situácia profilov, na ktorých boli vykonané geofyzikálne merania

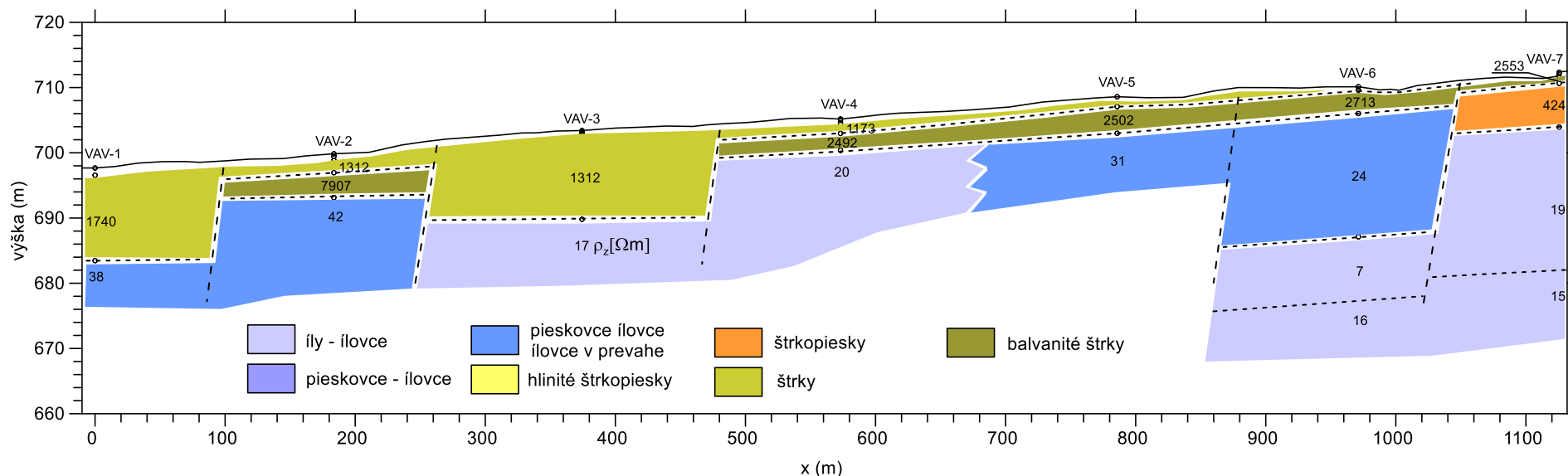
celkového charakteru rozmiestnenia fluvialných a glacifluvialných sedimentov v bezprostrednom okolí súčasného toku Belej. Merania VES, ktorých výsledky sú prezentované v tomto príspevku, boli vykonané na 39 stanovištiach a ďalšie merania na 12 stanovištiach boli prevzaté; MALÍK, P. (1983). Stanovištia boli umiestnené na troch profiloch, vedených paralelne s tokom Belej a na dvoch profiloch vedených naprieč toku Belej; obr.1. Staršie (prevzaté) merania boli robené aparátúrou Časta s  $AB_{\max} = 200$  m a pre účely tohto článku boli reinterpretované. Nové merania boli robené aparátúrou ARES (Gf-instruments, Brno) (tiež s  $AB_{\max} = 200$  m). Po spracovaní a kvantitatívnej interpretácii nameraných dát boli získané vrstevné parametre, z ktorých boli zostavené vertikálne geoelektrické rezy na meraných profiloch.

*Metóda ERT* (elektrická rezistivitná tomografia) je základnou metódou pre geofyzikálne mapovanie štruktúry horninového prostredia a predstavuje kombináciu metód odporového profilovania a elektrického sondovania. Meranie touto metódou bolo vykonané aparátúrou ARES s usporiadaním dipól-dipól na profile „pf-ERT-1“ v dĺžke 188 m vedenom pozdĺž cesty z Pribiliny do Liptovskej Kokavy od mosta cez Belú smerom na Kokavu, obr.1.

*GPR (ground penetrating radar)* je metóda ktorá využíva radarovú techniku pri vyšetrení prístupnej vrstvy zeme (zhruba do 10 m). Radarové impulzy sa odrážajú od rozhraní na ktorých sa mení permitivita horninového materiálu a ich tlmenie závisí okrem iného na elektrickej vodivosti horninového materiálu. Výsledkom merania je vertikálny rez reprezentujúci vlnové pole odrazených EM vln. Ideálne pre použitie georadaru je horizontálne zvrstvené horninové prostredie, ale vzhľadom na hustotu meracích bodov a vysoké rozlíšenie je možné detailne popísať aj iné geometrické tvary spomínaných rozhraní. Hĺbkový dosah vyšetrenia je závislý na elektrickej vodivosti horninových materiálov a všeobecne platí, že čím vodivejšie prostredie, tým (vzhľadom na tlmenie) je hĺbkový dosah menší. Okrem vlastností vyšetreného horninového prostredia závisí hĺbkový dosah a rozlišovacia schopnosť merania aj na parametroch použitej aparátúry. Pritom vo všeobecnosti platí, že so zvyšovaním použitej frekvencie sa znižuje hĺbkový dosah a zvyšuje rozlišovacia schopnosť merania. Meranie metódou GPR bolo zatiaľ vykonané aparátúrou TR-GEO-01 (140 MHz) (Geologorazvedka, Moskva) na profile „pf-radar-1“, dlhom 37 m na štrkovej lavici v rieke Belej severne od mosta na ceste z Pribiliny do Liptovskej Kokavy; obr.1.

### 3 Výsledky merania

Ako sme uviedli, v tomto článku chceme prezentovať využitie geoelektrických meraní pri poznávaní geomorfologického vývoja blízkeho okolia horskej rieky tečúcej v glacifluvialných sedimentoch. Vzhľadom na veľkú heterogenitu kvartérnych sedimentov ležiacich na paleogénnom komplexe, sme sa v úvodnej časti projektu rozhodli urobiť kvázi orientačný prieskum na posúdenie základného obrazu rozmiestnenia kvartérnych sedimentov pozdĺž riečneho toku. Preto pre úvodnú etapu prieskumu bola zvolená metóda VES, ktorej výsledky, aj keď v redšej sieti, umožňujú vytvoriť si štartovací model skúmaného prostredia a na základe získaných výsledkov orientovať následnú aplikáciu metód DEMP (dipólové elektromagnetické profilovanie), ERT prípadne GPR (výsledky testovania ostatných dvoch sú tu prezentované).



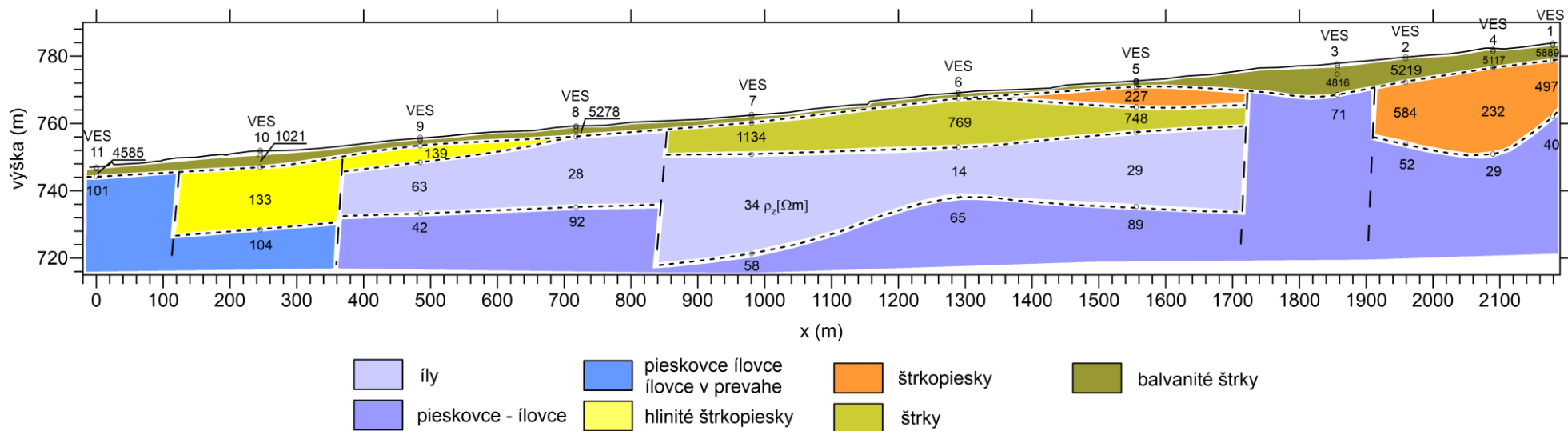
**Obr.2 Vertikálny rezistivný rez zostavený z výsledkov merania metódou VES na profile VAV, vedenom pozdĺž toku rieky Belá južne od Vavrišova (vid' obr.1)**

Vrstevné parametre získané interpretáciou meraní metódou VES boli použité na zostavenie geoelektrických rezov na jednotlivých profiloch. Ako vidieť z rezov, prostredie kvartérnych sedimentov je pomerne heterogénne a časté sú skokové zmeny prostredia s rozdielnou rezistivitou. Z metodického hľadiska je tu problém, ako viesť línie rozhraní medzi jednotlivými prostrediami. Či spojitou plávajúcou líniou, alebo vo forme nespojitých skokov. Medzi riešiteľmi v tomto smere nepanuje jednotný názor, my sme zvolili druhú možnosť. Podobne je problém vymedzenia objektov na základe hodnôt interpretovanej rezistivity. Tu sme sa snažili vytvoriť konzistentné súbory, čo sa však nie vždy celkom podarilo.

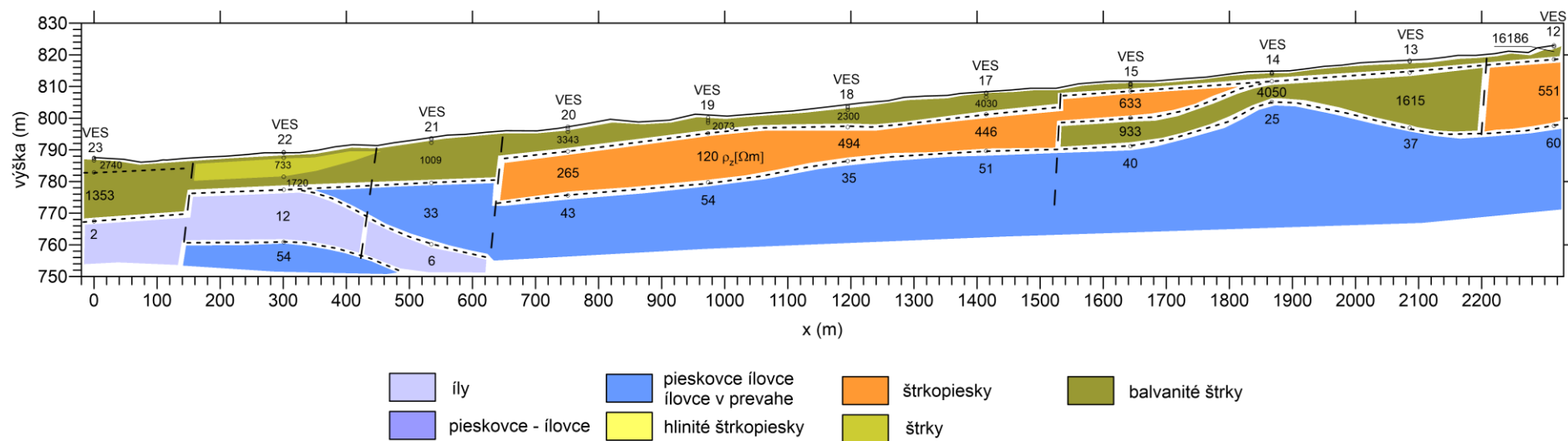
Z analýzy geoelektrických rezov vedených na profiloch pozdĺž toku rieky Belá vyplýva, že materiál podložného paleogénu (íly, ílovce, pieskovce) sa hodnotami elektrickej rezistivity výrazne odlišujú (sú v zásade nižšie) od materiálu kvartérnych uloženín (piesky, štrkopiesky, štrky, balvanité štrky), čo umožňuje pomerne dobre sledovať rozhranie kvartér – paleogén. Podobne kvartérne uloženiny netvoria homogénne teleso, ale sa miestne diferencujú a vytvárajú lokálne telesá v podobe subhorizontálnych dosiek, odlišujúcich sa od seba charakterom horninového materiálu.

Tieto telesá vykazujú tri materiálové typy: pri povrchu (pod vrstvou ornice) sa prakticky na všetkých meraných profiloch nachádza pomerne súvislá vrstva balvanitých štrkov, ktorej hrúbka kolíše od 1 do cca 15 m. Pod balvanitými štrkami sa striedajú buď polohy štrkov (prípadne hlinitých štrkov), alebo štrkopieskov. Štrky tvoria súvislejšiu polohu na profile VAV (obr.2) v úseku metráže 0 až 470 m a dve súvislejšie polohy na pf-B (obr.3) v úseku metráže 100 až 700 m (tu sú v prevahe hlinité štrky) a 850 až 1700 m. Tretím typom kvartérnych uloženín sú štrkopiesky, ktoré tvoria menšiu polohu na konci profilu VAV (obr.2) (metráž 1030 až 1130 m), dve krátke polohy v koncovej

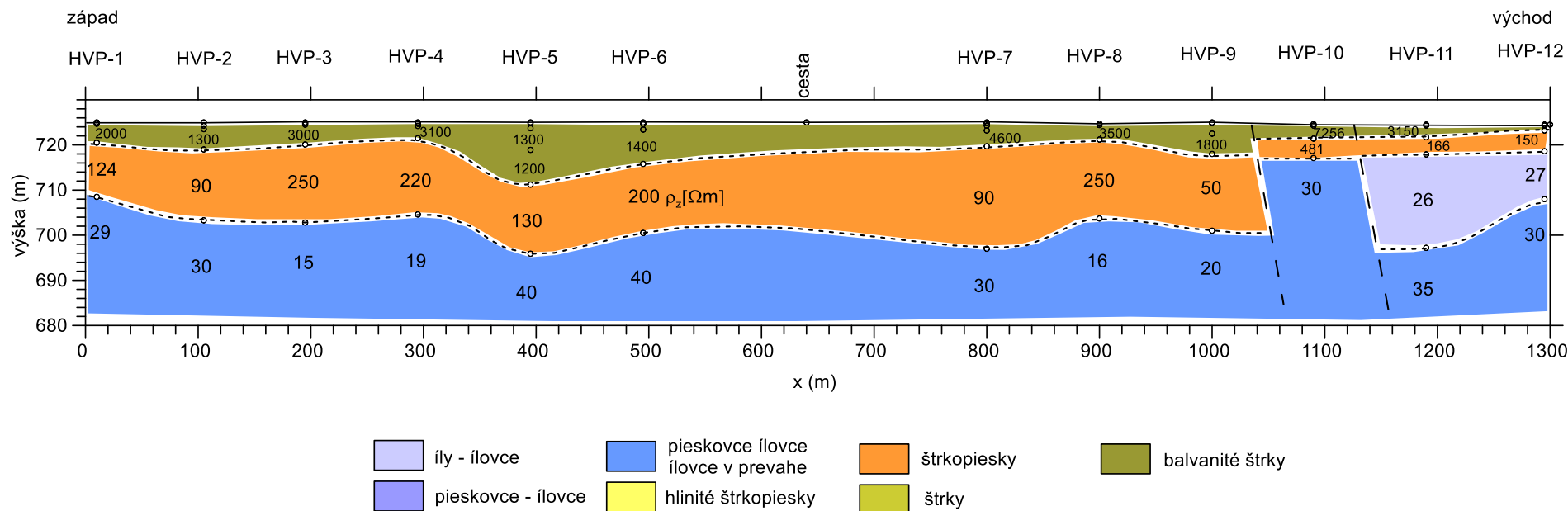
časti profilu pf-B (obr.3) v úseku metráže 1400 až 1700 m a 1900 až 2200 m a potom pomerne súvislú polohu na profile pf-A (obr.4) v úseku metráže 620 až 1800 m a od metráže 2200 m do konca profilu.



**Obr.3** Vertikálny rezistivný rez zostavený z výsledkov merania metódou VES na profile pf-B, vedenom pozdĺž toku rieky Belá JV od Pribiliny (vid' obr.1)



**Obr.4** Vertikálny rezistivný rez zostavený z výsledkov merania metódou VES na profile pf-A, vedenom pozdĺž toku rieky Belá severne od Pribiliny (vid' obr.1)

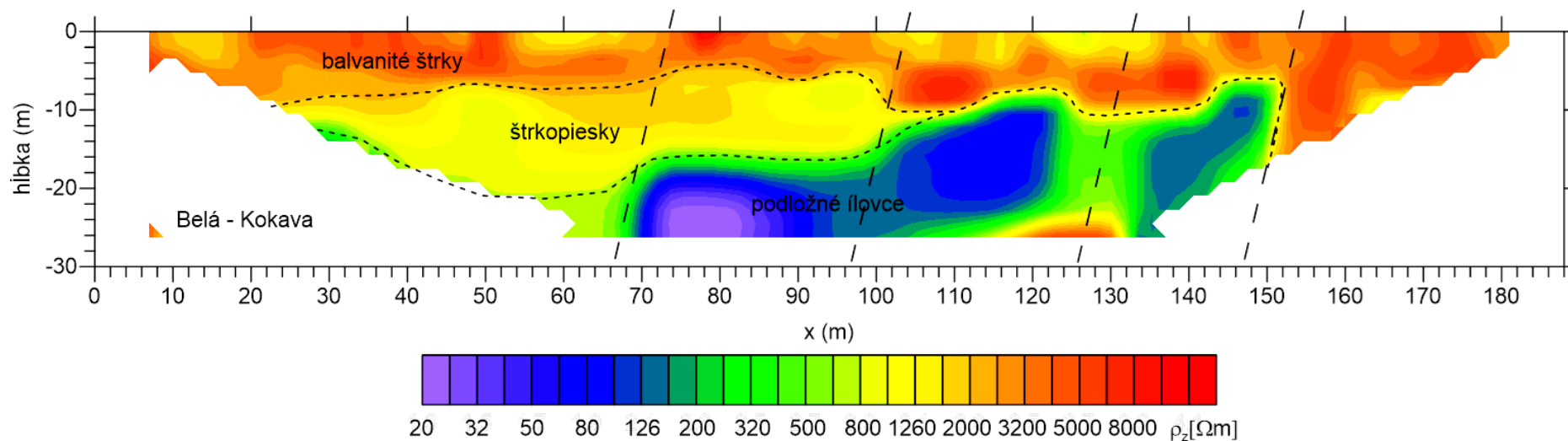


**Obr.5 Vertikálny rezistivný rez zostavený z výsledkov merania metódou VES na profile MAL-old, vedenom naprieč toku rieky Belá severne od Vavrišova (viď obr.1)**

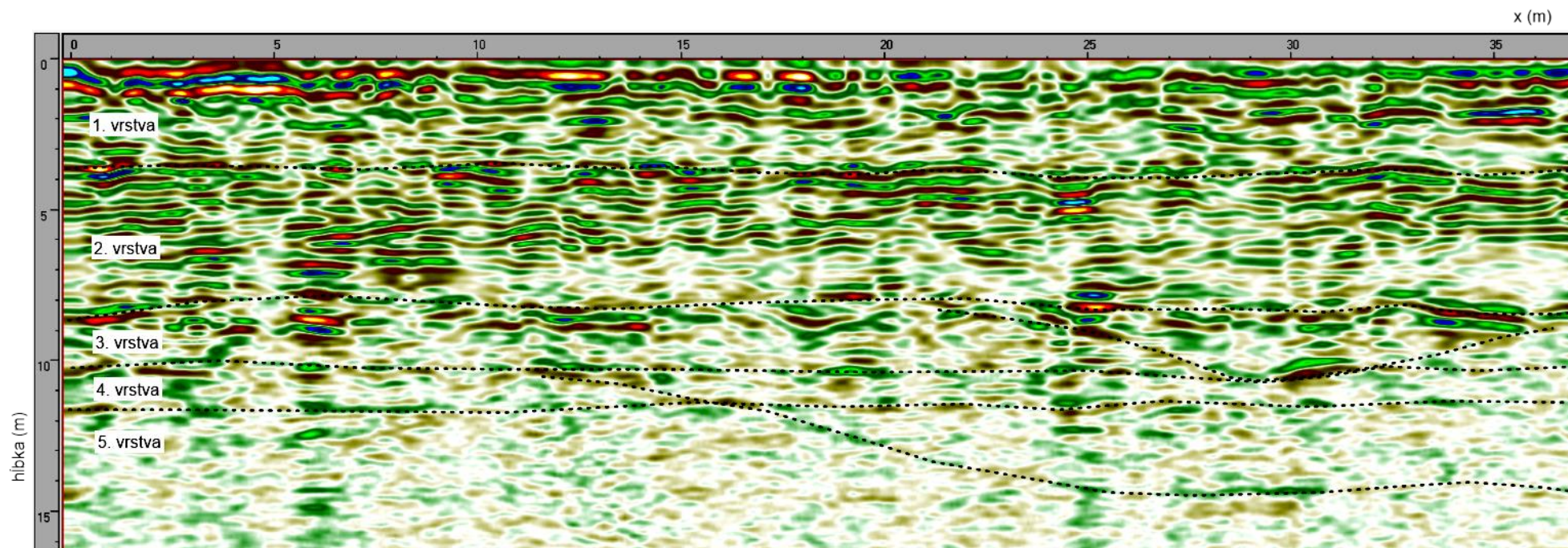
O priečných rozmeroch (naprieč toku rieky Belá) a zastúpení uvedených litologických typov kvartérnych uloženín možno získať predstavu na obr.5, ktorý bol vedený v smere naprieč toku Belej. Z rezu je zrejmé, že aj tu pokrývajú balvanité štrky celú plochu kvartéru a v ich podloží priamo na paleogéne leží vrstva štrkov z hrúbkou okolo 10 m.

Vymedzené litologické telesá ako v paleogéne, tak aj v kvartéri sú vertikálne oddelené rozhraniami, ktoré interpretujeme ako prejav neotektonického pohybu, ktorý súbežne postihuje obe stratigrafické formácie: rozhrania z kvartéru je možné sledovať do paleogénu a naopak. Ich prejav je zreteľný ako na pozdĺžnych profiloch (pf-VAV, pf-B, pf-A), tak na priečnom profile (pf-MAL-old). Je teda zrejmé, že na vývoji kvartérnych sedimentov má možno rovnaký podiel ako pozdĺžna, tak aj priečna tektonika.

Ako sme uviedli vyššie, na profile pf-ERT-1 v dĺžke 188 m (obr.1) bolo vykonané meranie metódou ERT. Na obr.6 je uvedený vertikálny rezistivný rez, získaný spracovaním nameraných dát. Rezistivný obraz, ktorý rez prezentuje, ukazuje v hornej časti komplex fluvialných sedimentov reprezentovaný balvanitými štrkami a štrkopieskami a v spodnej časti prítomnosť jemnozrnných sedimentov, pravdepodobne neogénnych ílovcov. Rozhranie medzi fluvialnými sedimentmi a podložitým neogénom naznačuje prítomnosť pozdĺžnej tektoniky, ktorá zrejme podmieňuje terasový charakter rozhrania. Zaujímavý je výrazný pokles podložia v okolí metráže 152 m. Treba tiež upozorniť na prevahu balvanitých štrkov vo fluvialnom sedimente od metráže 110 m do konca profilu. Po metráž 110 m je pod balvanitými štrkami pri povrchu poloha štrkopieskov.



**Obr.6** Vertikálny rezistivný rez zostavený z výsledkov merania metódou ERT



**Obr.7** Vertikálny radarový rez zostavený z výsledkov merania georadarom

Ako bolo uvedené vyššie, meranie GPR bolo zatiaľ vykonané na jednom profile (pf-radar-1) dlhom 37 m na štrkovej lavici v rieke Belej severne od mosta na ceste z Pribiliny do Liptovskej Kokavy (obr.1) (pri prepočte z časovej stupnice na hĺbkovú bola použitá rýchlosť šírenia radarovej vlny 15 cm/ns). Výsledkom tohto merania je vertikálny rez, zostavený po spracovaní GPR dát (obr. 7). V reze sa prezentuje prítomnosť štyroch subhorizontálnych vrstiev. Horné tri majú zhruba rovnakú štruktúru, v každej z vrstiev je v spodnej časti jemnozrnný materiál (hlinitý piesok až jemnozrnný piesok), v hornej časti prechádza jemnozrnný materiál do hrubozrnného (štrkopiesok až balvanitý štrk). Predpokladáme, že hrubozrnný materiál sa ukladal počas interglaciálu a jemnozrnnější počas glaciálu. Prítomnosť podložného neogénu predpokladáme v hĺbke cca 8 m. V ňom je možné identifikovať prítomnosť ďalších materiálových rozhraní. Prítomnosť lokálnych objektov sa v získanom radargrame neprejavila.

## 4 Záver

Predbežné výsledky geofyzikálnych meraní vo forme vertikálnych rezistivitných rezov ukazujú, že kvartérne sedimenty tvoria dve vrstvy: v hornej sú zastúpené balvanité štrky, v dolnej sú prítomné buď štrkopiesky s meniacim sa podielom piesku (tieto prevažujú východne a južne od Vavrišova), alebo štrky (tieto prevažujú severne od Vavrišova a v okolí Pribiliny). Niektoré skokové zmeny hĺbky rozhraní v rezoch je možné interpretovať ako prejav pozdĺžnej (voči rieke Belá) a priečnej tektoniky. Vzhľadom na výsledky doterajších meraní je v nasledujúcom období plánované pokračovať vo výskume zahustením geofyzikálnych meraní a širším použitím meraní ERT, GPR a DEMP s cieľom podrobnejšie popísať históriu vývoja kvartérnych sedimentov v okolí rieky Belá.

*Príspevok bol riešený za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA v rámci projektu 02/0020/15 v spolupráci s Geografickým ústavom SAV.*

## References

- GAJDOŠ, V. 2013 *Elektromagnetické vlastnosti hornín*. VŠ skriptá, KAEG PriF UK, Bratislava, 2013, 97 s.
- KIDOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M. Časovo-priestorová variabilita morfológie divočiaceho a migrujúceho vodného toku Belá. *Geografický časopis / Geographical Journal* 64, 4, 2012, 311-333
- KIDOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M., RUSNÁK, M. Geomorphic diversity in the braided-wandering Belá River, Slovak Carpathians, as a response to flood variability and environmental changes. Elsevier, *Geomorphology* 272, 2016, s137–149
- MALÍK, P. *Korelácia hydrogeologických a geofyzikálnych parametrov zvodneného prostredia*. Diplomová práca. PriF UK Bratislava. 1983, s.70.
- SLÁDEK, J., GAJDOŠ, V. The morphotectonic view of Vydrice Valley evolution and its sedimentological response. *Stav geomorfologických výskumov v roku 2014*, Sborník abstraktu, Geomorfologický sborník 12, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústav struktury a mechaniky hornin AV CR, Ústí nad Labem, Praha, 2014, 91s, ISBN 978-80-7414-712-8

---

## Authors

<sup>1</sup> Doc.RNDr. Vojtech Gajdoš, CSc, IngGeocom s.r.o., Bajkalská 9, Bratislava, vojtechgajdos@gmail.com

<sup>2</sup> RNDr. Kamil Rozimant, PhD, Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky PriFUK, Ilkovičova 6, Bratislava, rozimant@fns.uniba.sk

<sup>3</sup> Mgr. Andrea Bartošová, Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky PriFUK, Ilkovičova 6, Bratislava, andrea.bartosova90@gmail.com