

# Geofyzikálny obraz stavby sedimentárnej výplne Dunajskej panvy pozdĺž profilu medzi Dunajskou Stredou a Veľkým Mederom: reinterpretácia geoelektrických údajov vertikálneho elektrického sondovania

Mariana Pašiaková<sup>1</sup>, Vojtech Gajdos<sup>1</sup>, Jana Bučová<sup>2</sup>, Bibiana Brixová<sup>1</sup> & Miroslav Bielik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava, Slovensko; pasiakova@centrum.sk, vojtechgajdos@gmail.com

<sup>2</sup>Geofyzikálny ústav, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovensko; jana.bucova@savba.sk

## AGEOS Geophysical image of sedimentary infill structure of the Danube Basin along the profile between Dunajská Streda – Veľký Meder: reinterpretation of geoelectrical data of vertical electrical sounding

**Abstract:** The central part of the Danube Basin, filled in the near-surface parts with the water-bearing strata, the Danube gravel and sand, is one of the most important water-bearing complexes in the Central Europe. Geophysical information originating mainly from geoelectrical measurements is used for better understanding of the structure and development of the sedimentation environment of the central part of this basin. The aim of this study was to compile a detailed geoelectrical vertical cross-section A–A' through the gravel-sand horizons based on the reinterpretation of the geophysical measurements (vertical electrical sounding method – VES) and by the use of all available wells of the study area, which were taken from the archive of the Geofond division in Bratislava. Performed qualitative and quantitative interpretation was completed by the statistical-empirical interpretation. The approximate thickness of the youngest Quaternary coarse-grained fluvial sediments was determined and also possible significant tectonic lines were indicated on the observed profile. Lithofacial changes of the sedimentary fill within the three allocated geoelectrical horizons were analyzed. In the gravel-sand sediments the gradual reduction trend of the grain size towards the SE was confirmed. On the contrary, in the lowest-lying clay-sandy horizon the opposite trend, gradually more frequent sandy fraction towards the SE, was demonstrated.

**Key words:** applied geophysics, vertical electrical sounding, qualitative interpretation, quantitative interpretation, Western Carpathians, Danube Basin

### 1. ÚVOD

V celom priestore slovenskej časti Dunajskej panvy boli od polovice minulého storočia vykonané mnohé geofyzikálne práce za účelom lepšieho poznania jej geologickej a tektonickej stavby. Gravimetrický, seizmický, magnetometrický a magnetotelurický výskum sa sústredil na riešenie tektonickej a hlbšej geologickej stavby (Gaža et al., 1985; Hrušecký et al., 1991; Džuppa et al., 1993; Tkáčová et al., 1996). Pre riešenie problematiky prívrchovej geologickej stavby (pre hĺbky do cca 1000 m) boli aplikované prevažne geoelektrické merania. Nakoľko Dunajská panva je vyplnená subhorizontálne zvrstveným sedimentárnym prostredím, bola z geoelektrických metód najčastejšie využívaná metóda vertikálneho elektrického sondovania (VES). Ešte aj dnes je táto metóda základom pre široké spektrum prác.

V Dunajskej panve bolo vykonaných veľké množstvo geoelektrických meraní, ktoré sa sústredili na rôzne otázky stavby, zloženia a tektoniky sedimentárnej výplne. Časť výskumu bola zameraná na stanovenie priebehu reliéfu predkvartérneho podložia (Bárta, 1960, 1962, 1963; Beránek, 1969; Valušiaková, 1974<sup>a,b</sup>; Džuppa et al., 1993; Tkáčová et al., 1996). Iné práce sa sústredili na vymapovanie zvodnených štrkopieskov (Bárta & Májovský, 1965; Májovský, 1971), posúdenie poruchových (tektonických) línií (Pecov, 1989) a upresnenie styku Malých Karpát s Podunajskou a Záhorskou nížinou (Tkáčová & Májovský, 1987, 1988, 1989). Metóda VES sa často využívala na hydrogeologické (Májovský & Tkáčová, 1969), hydrogeotermálne (Zbořil et al., 1972, 1977, 1986) a inžinierskogeologické účely (Schwarz & Valušiaková, 1972). Všetky merania boli v roku 2003 spoločne

uložené v databanke geofyzikálnych meraní v archíve Geofondu GÚDŠ pod názvom „Databanka geofyzikálnych meraní – vertikálne elektrické sondovanie“. Databanka obsahuje približne 7000 meraní VES v Dunajskej panve s rozstupom prúdových elektród AB = 200 až 4000 m. Cieľom príspevku je ukázať niektoré možnosti využitia tejto databázy, ako aj možnosť reinterpretácie dát pomocou softvéru vyvinutého na Katedre aplikovanej a environmentálnej geofyziky Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave (Cerovský, 2001). Porovnanie priameho zobrazenia dát (kvalitatívna interpretácia), zinterpretovaných dát (kvantitatívna interpretácia) a štatistická analýza dát (štatisticko-empirické metódy) dokumentuje úspešnosť programu a jeho využiteľnosť pre detekciu geologickej stavby regiónu. Ako študijný príklad reinterpretácie geoelektrických meraní VES bol vybratý profil medzi Dunajskou Stredou a Veľkým Mederom.

## 2. GEOMORFOLOGICKÉ A GEOLOGICKÉ POMERY ÚZEMIA

Podľa regionálneho geomorfologického členenia Slovenska patrí centrálna časť Dunajskej panvy do provincie Západopanónska panva, subprovincia Malá dunajská kotlina, oblasť Podunajská nížina, celok Podunajská rovina (Mazúr & Lukniš, 1986).

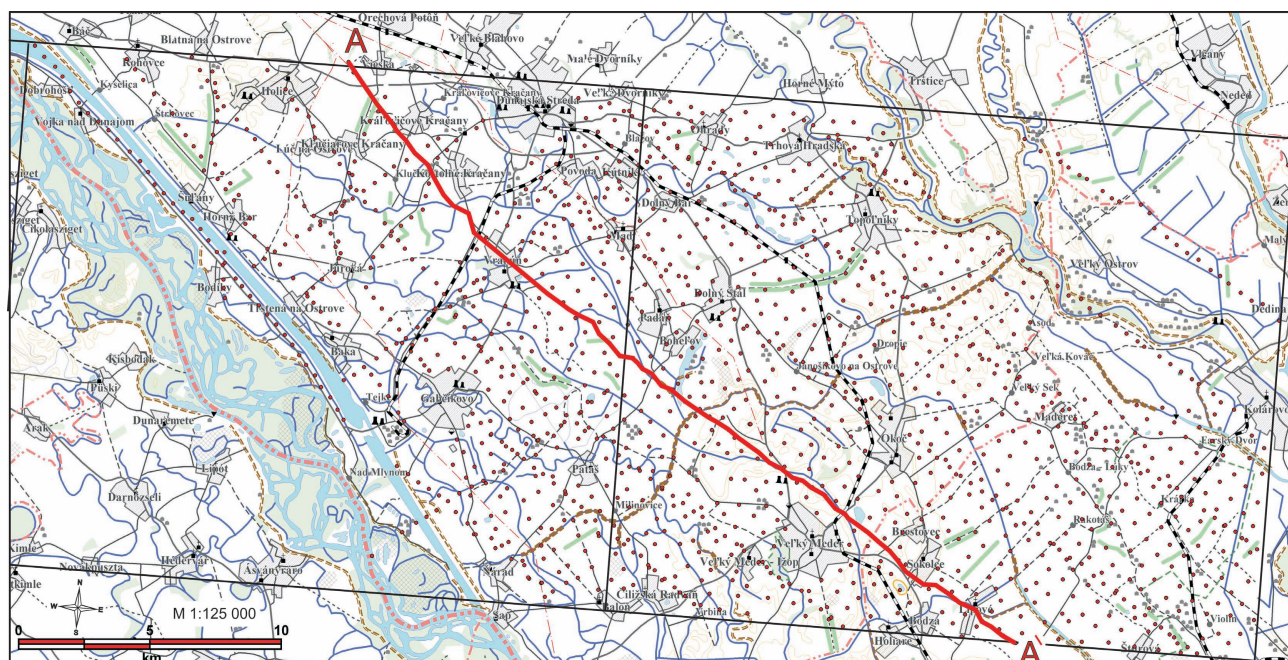
Predkenozoické podložie centrálnej časti Dunajskej panvy je tvorené jednotkami centrálnych Západných Karpát, a to konkrétne tatrika a veporika. Jednotky tatrika vystupujú západne a severozápadne od veporského zlomu. Veporské paleozoické a mezozoické sekvencie vystupujú východne od tohto zlomu (Fusán et al., 1987).

Dunajská panva je extenznou panvou, ktorá sa začala vyvíjať koncom spodného a začiatkom stredného miocénu. Maximá

subsidiencie počas stredného miocénu sú charakteristické pre okrajové medzihorské depresie – blatnianska, rišňovská, komjatická a železovská (Kováč, 2000).

Na rozhraní sarmatu a panónu došlo v panve k zmenám sedimentácie a centrum subsidiencie sa presunulo z okrajových častí do oblasti gabčíkovej depresie – centrálnej časti Dunajskej panvy, kde došlo k výraznému poklesávaniu (Vass, 1981; Kováč et al., 2011). Sedimentácia v priestoroch centrálnej depresie pravdepodobne prebiehala aj počas sarmatu, vrtnými prácami však neboli preukázané predpanónske sedimenty. Podstatná časť sedimentárnej výplne gabčíkovej depresie bola uložená až počas vrchného miocénu a pliocénu. Usadeniny spodného a stredného panónu reprezentuje ivánske súvrstvie (Kováč et al., 2010). Na rozdiel od prevažne marínnej strednomiocénnej sedimentácie je pre spodný a stredný panón typická depozícia v brakickom až sladkovodnom jazernom sedimentačnom prostredí (Magyar et al., 2013). Charakterizované je prítomnosťou vápnných ílov, prachovcami a pieskvcami. Piesky a prachy prevládajú v západnej časti gabčíkovej depresie, vo východnej časti panvy sú to najmä íly a silty (Vass, 2002).

Podľa nového litostratigrafického členenia súvrství Dunajskej panvy usadeniny vrchného panónu reprezentujú beladické a volkovské súvrstvie (Kováč et al., 2010). Beladické súvrstvie je tvorené vápnnými ílmi až prachmi s vrstvami uhoľných ílov a slojkami lignitu. Sedimentácia prebiehala v plytkovodných podmienkach močiarov a v aluviálnom prostredí (Priehodská et al., 1988). Volkovské súvrstvie je tvorené hlavne prachovcami a vápnnými ílmi s častým výskytom piesčitých telies, miestami s uhoľnými ílmi a slojkami lignitu (Priehodská et al., 1988). Dosahujú hrúbku 1000 m (Gaža, 1984) až 1200 m (Kováč et al., 2010). Volkovské súvrstvie predstavuje prechod z čela delty vyplňajúcej jazerné prostredie až k alúviu riek.



Obr. 1. Situácia interpretovaného rezu A-A'. Vysvetlivky: červené body – lokalizácia sond VES.

Fig. 1. Position and general situation of the examined cross-section A-A'. Explanatory notes: red dots – VES measurements localization.

Tab. 1. Korelácia interpretovaných odporov jednotlivých geoelektrických horizontov z archívnych prác.

Tab. 1. Correlation of interpreted resistivity in geoelectrical horizons (archived works).

	"Podunajsko – DANREG, 1996"	"Geofyzikálny prieskum územia VB a okolia, II. etapa - geoelektrika" (Tkáčová & Májovský, 1988)	"Geoelektrické merania v oblasti Veľkého Žitného Ostrova, 1969" (Májovský & Tkáčová, 1969)
	merný odpor (resistivity) [ $\Omega$ m]	merný odpor (resistivity) [ $\Omega$ m]	merný odpor (resistivity) [ $\Omega$ m]
pripovrchová vrstva (horizont) (horizon directly below the surface)	20 - 500	20 - 2500	50 - 500
1. geoelektrický horizont 1st geoelectrical horizon	180 - 600	60 - 700	
2. geoelektrický horizont 2nd geoelectrical horizon	70 - 200	30 - 150	40 - 150
3. geoelektrický horizont 3rd geoelectrical horizon	15 - 60	15 - 60	10 - 50

Nad volkovským súvrstvom sedimentovalo kolárovske súvrstvie (Priehodská et al., 1988), vekovo radené pôvodne do romanu (Vass, 2002). Podľa nového litostratigrafického členenia je vekovo radené do dáku až romanu (Kováč et al., 2010). Kolárovske súvrstvie je zložené prevažne z pieskov a štrkov usadených v fluvialnom a aluvialnom prostredí a dosahuje maximálnu hrúbku do 200 m (Vojtko et al., 2008).

### 3. METODIKA RIEŠENIA

VES je sondážna forma odporových metód, pomocou ktorej zisťujeme zmeny odporových vlastností horninového prostredia vo vertikálnom smere. Meraná veličina, zdanlivý merný odpor  $\rho_z$ , je ovplyvnený celým polpriestorom rozloženého elektrického poľa, čiže odporovými podmienkami geologického prostredia a usporiadaním elektródového systému (Mareš et al., 1990; Everett, 2013).

Na vyselektovaných sondách VES bola vykonaná kvalitatívna a kvantitatívna interpretácia a interpretácia pomocou štatisticko-empirických metód. Kvalitatívna interpretácia meraní VES (rezy izoohm) slúži k získaniu základného obrazu o rozložení zdanlivého merného odporu  $\rho_z$  v skúmanom prostredí, čiže poskytuje informácie o tvaroch telies, priebehu a sklonoch odporových rozhraní (Telford et al., 2004).

Kvantitatívna interpretácia kriviek VES sa využíva na nájdenie takých vrstvových parametrov horizontálne zvrstveného prostredia (hrúbky  $h_i$  a merné odpory  $\rho_i$  jednotlivých vrstiev), pre ktoré sa teoretická krivka v medziach požadovanej presnosti približuje nameranej krivke  $\rho_z$ . Je to úloha mnohoznačná, preto je potrebné výslednú interpretáciu korelovať s dostatočným množstvom oporných vrstiev, prípadne inými interpretačnými postupmi (napr. štatisticko-empirickými).

Kvantitatívna interpretácia bola vykonaná pomocou softvéru Ves Interpretation (VesInt). VesInt je geofyzikálny softvér vyvinutý na Katedre aplikovanej a environmentálnej geofyziky PriF UK v roku 2001 (Cerovský, 2001). Program sa špecializuje na 1D interaktívnu interpretáciu sondážnych kriviek VES.

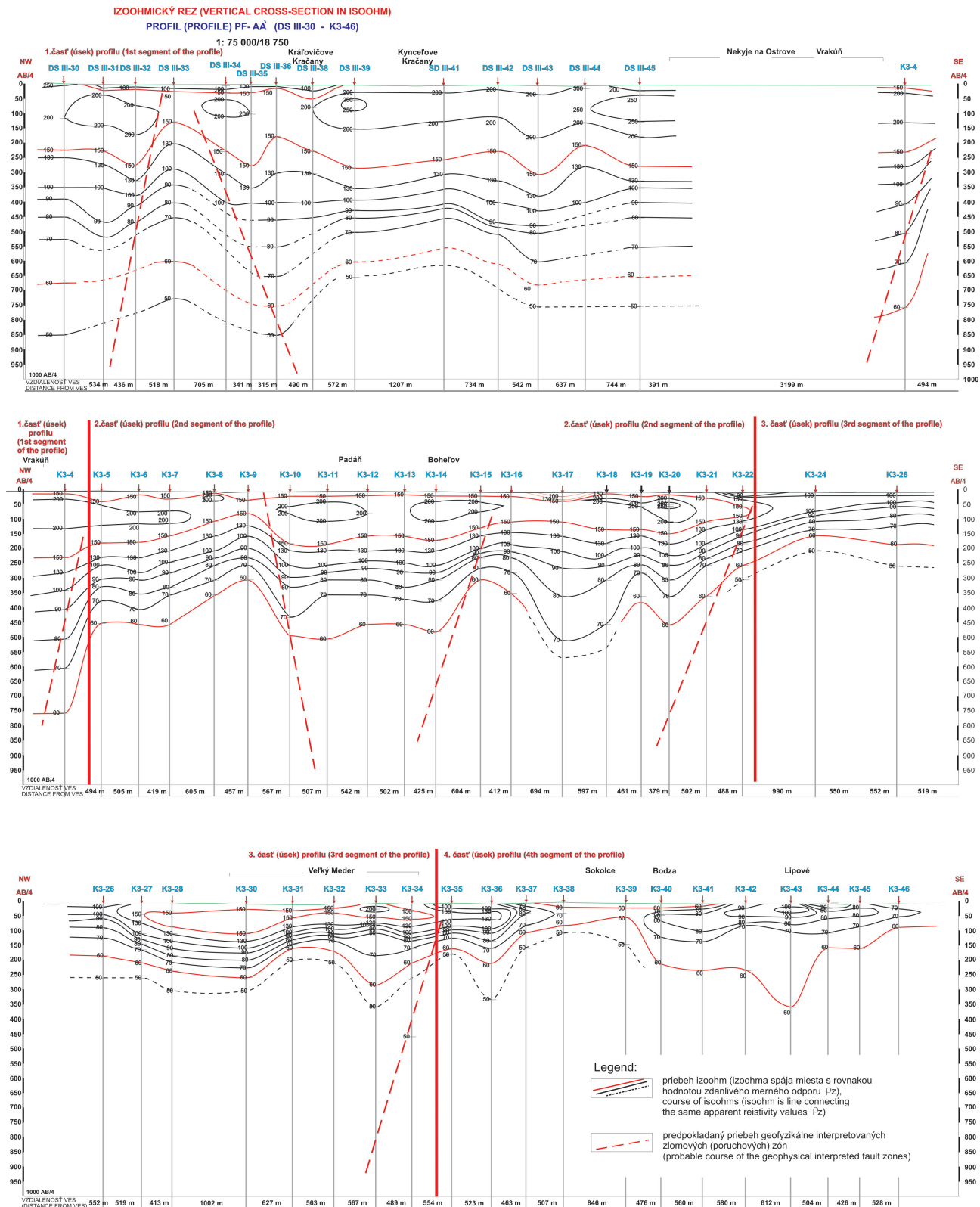
Zo všetkých získaných údajov databanky VES boli vyselektované iba tie sondy, ktoré priamo definovali jeho priebeh. Lokalizácia profilu bola urobená tak, aby tento pretínal stredovú časť sledovaného územia Dunajskej panvy medzi obcami Dunajská Streda a Veľký Meder. Jeho dĺžka je 33,4 km a orientovaný je v smere SZ–JV (Obr. 1).

Na profile sa nachádza celkovo 53 sond VES s rozostupom prúdových elektród, od AB = 1010 až po AB = 3700 m. Vzdialenosť sond na profile je približne 500 m. Vybrané sondy VES pochádzajú z dvoch geofyzikálnych úloh vykonaných v roku 1988 a 1993. Sondy VES s označením DS III-30 až DS III-45 boli súčasťou úlohy „Geofyzikálny prieskum územia Veľkej Bratislavy a okolia, II. etapa – geoelektrika“ (Tkáčová & Májovský, 1988). Sondy VES s označením K3-04 až K3-46 boli získané z úlohy „Podunajsko – DANREG, 1996“ (Tkáčová et al., 1996).

### 4. VÝSLEDKY

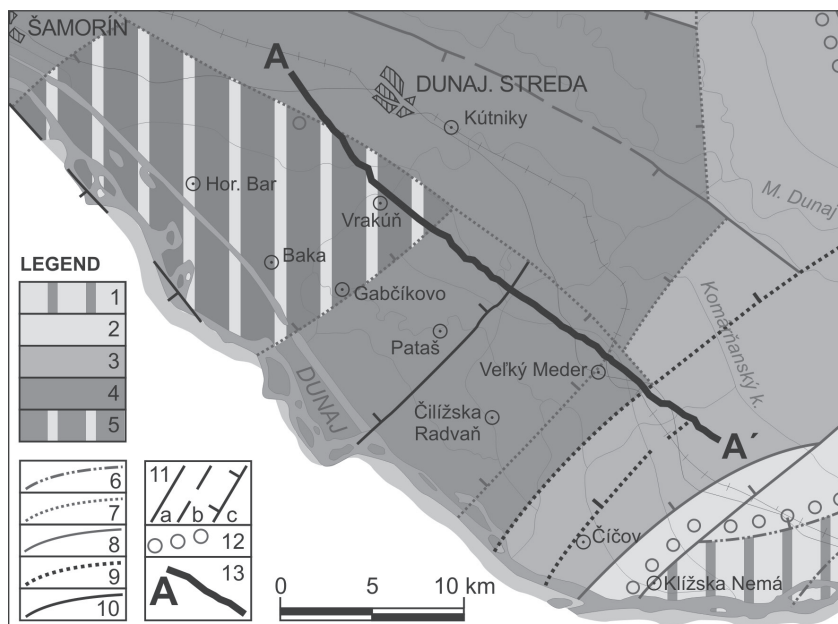
Z archívnych prác geoelektrických meraní v strednej časti Dunajskej panvy boli získané informácie o odporových vlastnostiach sedimentov a bola vykonaná analýza a korelácia týchto elektrofyzikálnych vlastností (Tab. 1).

Tabuľka znázorňuje variabilitu interpretovaných hodnôt merných odporov jednotlivých geoelektrických horizontov. V danej oblasti boli interpretované tri odporovo odlišné geoelektrické horizonty (pri zanedbaní pripovrchovej vrstvy).



Obr. 2. Izoehmičský rez A-A'.

Fig. 2. Vertical cross-section in isoehms [ $\Omega m$ ] A-A'.



Obr. 3. Neotektonická mapa Slovenska (upravené podľa Maglaya et al., 1999). Legenda:

Relatívne vertikálne pohybové tendencie negatívnych tektonických blokov v oblasti Dunajskej panvy: 1 – veľmi malý pokles, 2 – malý pokles, 3 – stredný pokles, 4 – veľký pokles, 5 – veľmi veľký pokles. Zlomové línie (zóny) a vek tektonickej aktivity: 6 – stredný, vrchný pleistocén až holocén, 7 – spodný pleistocén, 8 – pleistocén vcelku, 9 – vrchný pliocén až kvartér, 10 – vrchný pliocén. Všeobecné vysvetlivky: 11 – zlomy: zistené (a), predpokladané (b) a označenie sklonu zlomovej plochy (c), 12 – neotektonický panvový pokles (gabčíkovská panva), 13 – interpretovaný geoelektrický profil A-A’.

Fig. 3. Neotectonic map of Slovakia (modified after Maglay et al., 1999). Explanatory notes: Relative vertical movement trends of negative tectonic blocks in Danube Basin: 1 – very small-scale downthrow, 2 – small-scale downthrow, 3 – medium-scale downthrow, 4 – large-scale downthrow, 5 – very large-scale downthrow. Fault lines (zones) and age of tectonic activity: 6 – Middle, Late Pleistocene to Holocene, 7 – Early Pleistocene, 8 – Pleistocene unspecified, 9 – Late Pliocene to Quaternary, 10 – Late Pliocene. General explanations: 11 – faults: observed (a), assumed (b) and fault dip (c), 12 – neotectonic basinal downthrow (Gabčíkovo basin), 13 – interpreted geoelectrical profile A-A’

Horizont I s najvyššími hodnotami merných odporov  $\rho = 60\text{--}700 \Omega\text{m}$  (hrubozrné štrky až štrkopiesky s ojedinelými polohami ílov) bol interpretovaný v nadloží horizontov II a III. Pre horizont II sú charakteristické hodnoty merných odporov  $\rho = 30\text{--}200 \Omega\text{m}$  (polohy s prevahou jemnozrných štrkov a štrkopieskov s ojedinelými polohami ílov). Odporový horizont III sa vyznačuje najnižšími hodnotami merných odporov  $\rho = 10\text{--}60 \Omega\text{m}$  (íly až piesky).

#### 4.1. Kvantitatívna interpretácia VES

Upravené namerané hodnoty sond VES boli kvalitatívne spracované do formy rezu izoohm v lineárnej mierke pre AB/4 (Obr. 2). Rez izoohm zobrazuje grafickú závislosť nameraného zdanlivého merného odporu  $\rho_z$  na parametri AB/4 (AB = vzdialenosť prúdových elektród A a B v teréne).

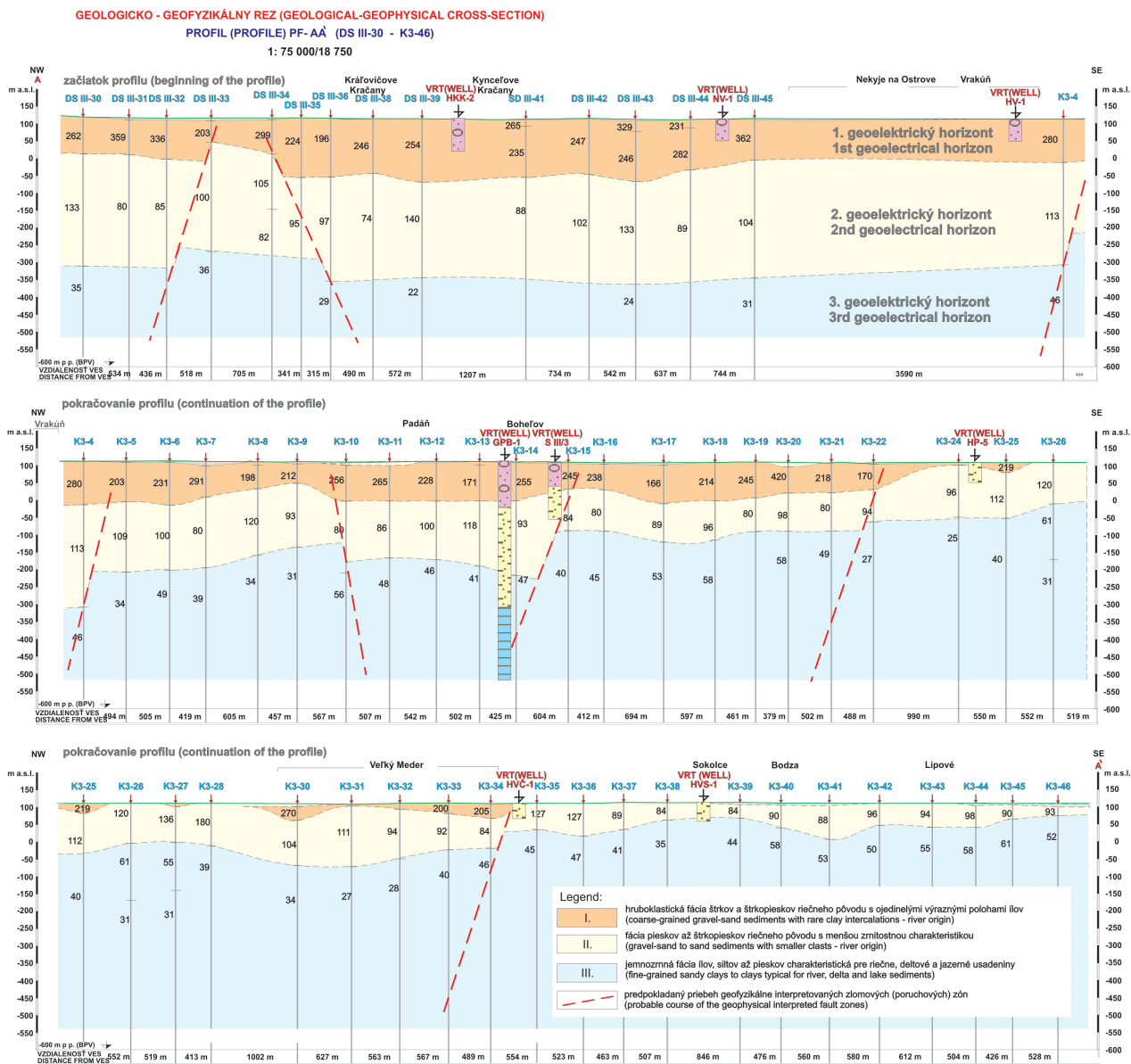
Vychádzajúc z tabuľky 1. je možné pre účely kvalitatívnej interpretácie, zostrojeného izoohmického rezu, zvoliť za hraničnú hodnotu medzi geoelektrickými horizontami II. a III. izolínou s hodnotou zdanlivého merného odporu  $\rho_z = 60 \Omega\text{m}$

a medzi horizontami I. a II. izolínou s  $\rho_z = 150 \Omega\text{m}$ . Na základe priebehu a tvaru jednotlivých izolínií je možné rez rozdeliť na 4 časti, resp. úseky.

V I. úseku (medzi VES DS III-30 a K3-4) sú hraničné izolínie medzi jednotlivými prostrediami ( $\rho_z = 60 \Omega\text{m}$  a  $\rho_z = 150 \Omega\text{m}$ ) situované v najväčších hĺbkach na celom skúmanom profile. Na základe tejto informácie je možné predpokladať, že hrubozrné sedimenty štrkopieskov (I. geoelektrický horizont), ako aj jemnozrnnejšie štrkopiesčité súvrstvie (II. geoelektrický horizont), budú dosahovať v tejto časti rezu najväčšie hrúbky.

V druhej a tretej časti rezu, medzi VES K3-5 až K3-22, a medzi VES K3-24 až K3-34 sa hraničné izolínie postupne približujú k povrchu terénu. To naznačuje, že hrúbky horizontov I. a II. sa postupne znižujú a rozhranie medzi jemnozrnnejšími štrkopieskami a jemnými ílovitopiesčitými sedimentami sa výrazne približuje k povrchu.

Štvrtá časť profilu medzi K3-35 až K3-46 pokračuje v trende znižovania hrúbok horizontov I. a II. Horizont I. reprezentujúci hrubozrné štrky pravdepodobne úplne vyклиňuje.



Obr. 4. Kvantitatívny geofyzikálno-geologický rez A-A'.

Fig. 4. Quantitative geophysical-geological cross-section A-A'.

Na reze izoohm je možné v miestach medzi VES DS III-33 až DS III-34; K3-4 až K3-5; K3-9; K3-14 až K3-15; K3-21 až K3-22; K3-34 až K3-35 vyčleniť oblasti s výraznou zmenou v priebehu izoohm. Predpokladá sa, že ide pravdepodobne o prejavy poruchových (tektonických) zón alebo by mohlo íť o výraznú litofaciálnu zmenu sedimentárnej výplne.

Tektonické zóny vyčlenené pri kvalitatívnej interpretácii z rezov izoohm boli porovnané s neotektonickou mapou Slovenska (Obr. 3) (Maglay et al., 1999). Neotektonické zlomové zóny boli potvrdené v oblasti medzi VES DS III-33 až DS III-34; K3-4 až K3-5; K3-14 až K3-15; K3-21 až K3-22; K3-34 až K3-35.

Na overenie interpretovaných tektonických poruchových zón by bolo vhodné v budúcnosti použiť aj nenáročnú rádiometrickú metódu (Mojzeš, 2005; Mojzeš et al., 2006).

#### 4.2. Kvalitatívna interpretácia VES

Na základe kvantitatívnej interpretácie dát pomocou softvéru VesInt bol zhotovený rez vrstevných parametrov (geofyzikálno-geologický rez), na ktorom boli interpretované tri geoelektrické horizonty (Obr. 4).

I. geoelektrický horizont je charakterizovaný merným odporom (interpretovaným) od 160–420  $\Omega$ m. Podľa archívnych geoelektrických prác, vrtných prác a doterajších geologických poznatkov je horizont zastúpený hrubozrnným štrkopieskom s ojedinělými, málo výraznými vložkami ílov. Hrúbka týchto sedimentov klesá od začiatku profilu do oblasti VES K3-35, kde horizont postupne vyklíňuje. Najväčšie hrúbky (cca 180 m) dosahuje na profile medzi VES DS III-35 až DS III-43, medzi obcami Kráľovičove Kračany a Šipošovské Kračany.

II. geoelektrický horizont je charakterizovaný nižšími mernými odpormi ako horizont I. Merné odpory horizontu II sa menia v rozsahu od 70 do 180  $\Omega\text{m}$ , ktorý reprezentujú sedimenty vyvinuté vo forme štrkopieskov s menšími valúnmi štrkov a vyšším obsahom piesčitej a ílovitej prímеси. Maximálne hrúbky týchto sedimentov boli interpretované v oblasti medzi VES DS III-30 a K3-4, medzi obcami Vieska a Vrakúň. Sedimenty horizontu II možno sledovať pozdĺž celého profilu A-A'.

III. geoelektrický horizont je charakterizovaný mernými odpormi od 20 do 60  $\Omega\text{m}$  a podľa dostupných informácií je zastúpený ílmi až jemnozrnnými piesčitými ílmi.

Pripovrchový horizont nie je kvôli prehľadnosti v reze zobrazený. Spravidla dosahuje hrúbku 1–5 m. Vyznačuje sa veľkou variabilitou merných odporov (10–1500  $\Omega\text{m}$ ). Táto variabilita je ovplyvnená nielen samotným zložením sedimentov, ale aj vlhkosťou horninového prostredia.

Na upresnenie kvantitatívnej interpretácie boli využité všetky dostupné vrty, ktoré sa nachádzali v relatívnej blízkosti profilu A-A'. Išlo o 8 vrtov rôznej hĺbky od 45 do 150 m (HVS-1, HVČ-1, SIII/3, HP-5, HV-1, NV-1), pričom jeden vrt pri Boheľove (GPB-1) dosiahol hĺbku 2800 m. Vrt GPB-1 sa nachádza približne 5 km severne od interpretovanej línie, ostatné vrty sa nachádzajú do 500 m od profilu. Preto geologické rozhrania vo vrtoch zobrazených na obrázku 4 nemusia presne korelovať s geofyzikálnymi rozhraniami. Vrty boli prevzaté z archívu Geofondu GÚDŠ Bratislava.

#### 4.3. Štatisticko-empirické metódy interpretácie VES

Kvantitatívna interpretácia dát VES je proces, ktorý dáva nejednoznačné hodnoty vrstevných parametrov ( $\rho_i$  a  $h_i$ ), pričom za presné sa považuje ich kombinácia: priečny odpor T ( $\rho_i \cdot h_i$ ), resp. pozdĺžna vodivosť S ( $h_i/\rho_i$ ). Sedimentárna výplň pozdĺž

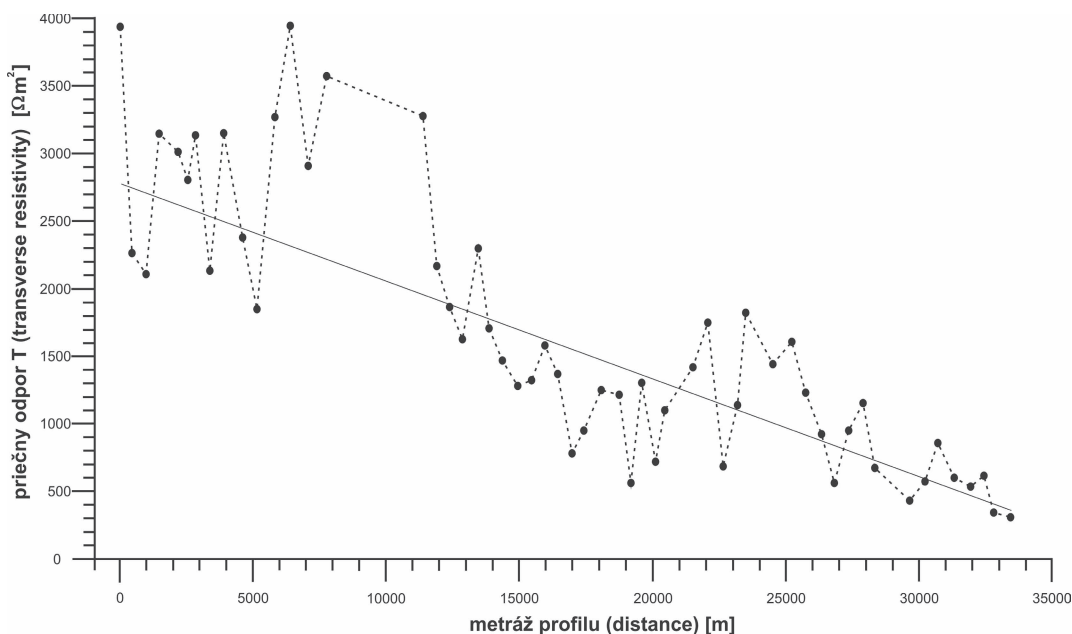
profilu je podľa vzťahu odporov jednotlivých vrstiev typu Q, t.j. tvoria ho geoelektrické horizonty, ktorých merný odpor sa postupne, so zväčšovaním hĺbky, znižuje (Obr. 4). Z toho vyplýva, že pre II. horizont platí stabilita priečného odporu (T). Hodnota priečného odporu do určitej miery koriguje odchýlky hodnôt merného elektrického odporu a hrúbky vrstvy. Na obr. 5 je zobrazený priebeh hodnôt priečného odporu (T) pre II. geoelektrický horizont.

Priebeh priečného odporu vykazuje klesajúci trend pozdĺž profilu, čo znamená, že v jeho úvodnej SZ časti dosahuje II. geoelektrický horizont najväčšie hrúbky a smerom na JV sa jeho hrúbka postupne znižuje.

Z interpretovaných merných odporov jednotlivých geoelektrických horizontov boli vyhotovené bodové diagramy pre litologické typy sedimentov vyčlenených na profile A-A' (Obr. 6). Vypočítané boli aritmetické priemery, mediány a smerodajné odchýlky merných odporov.

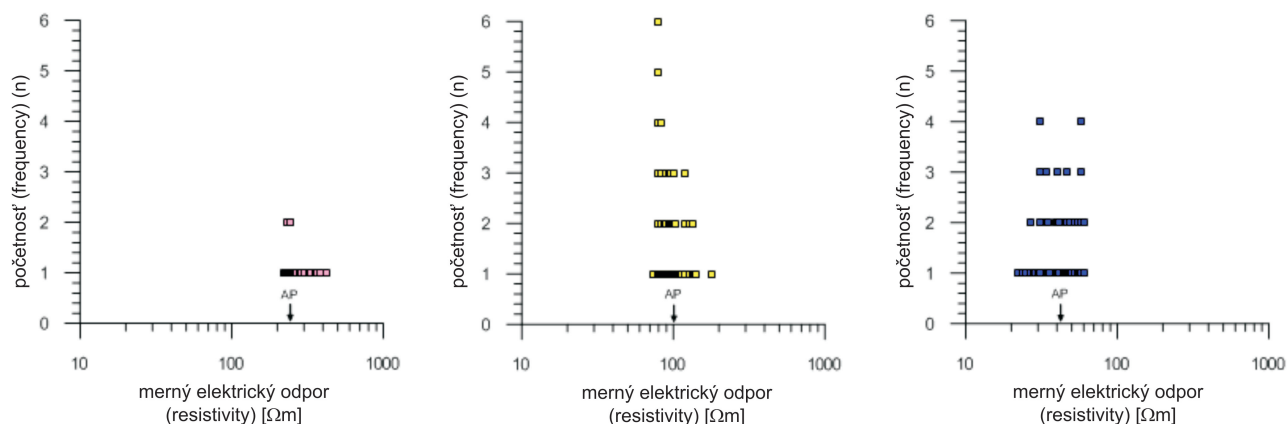
I. geoelektrický horizont má aritmetický priemer merného geoelektrického odporu 252  $\Omega\text{m}$  (medián 245  $\Omega\text{m}$ ) a smerodajnú odchýlku 57,5  $\Omega\text{m}$ . II. geoelektrický horizont má aritmetický priemer 100  $\Omega\text{m}$  (medián je 95  $\Omega\text{m}$ ) a smerodajná odchýlka je 18,9  $\Omega\text{m}$ . III. geoelektrický horizont má aritmetický priemer 42  $\Omega\text{m}$  (medián je 41  $\Omega\text{m}$ ) a smerodajná odchýlka je 10,8  $\Omega\text{m}$ .

Z porovnania smerodajných odchýlok vyplýva, že súbory všetkých troch typov sedimentov vykazujú pomerne úzke hodnotové rozpätie. Malý rozdiel medzi hodnotami aritmetických priemerov a mediánov naznačuje nie príliš veľkú asymetriu rozdelenia ich početností. Malé hodnotové rozpätie znamená, že sedimenty v jednotlivých geoelektrických horizontoch sú pomerne homogénne. Zatiaľ čo malá asymetria súborov indikuje, že v jednotlivých geoelektrických horizontoch sa nevyskytujú extrémne hodnoty. Ak by sa extrémny vyskytli, potom by tieto naznačovali, že sa v jednotlivých vrstvách nachádzajú hrubé



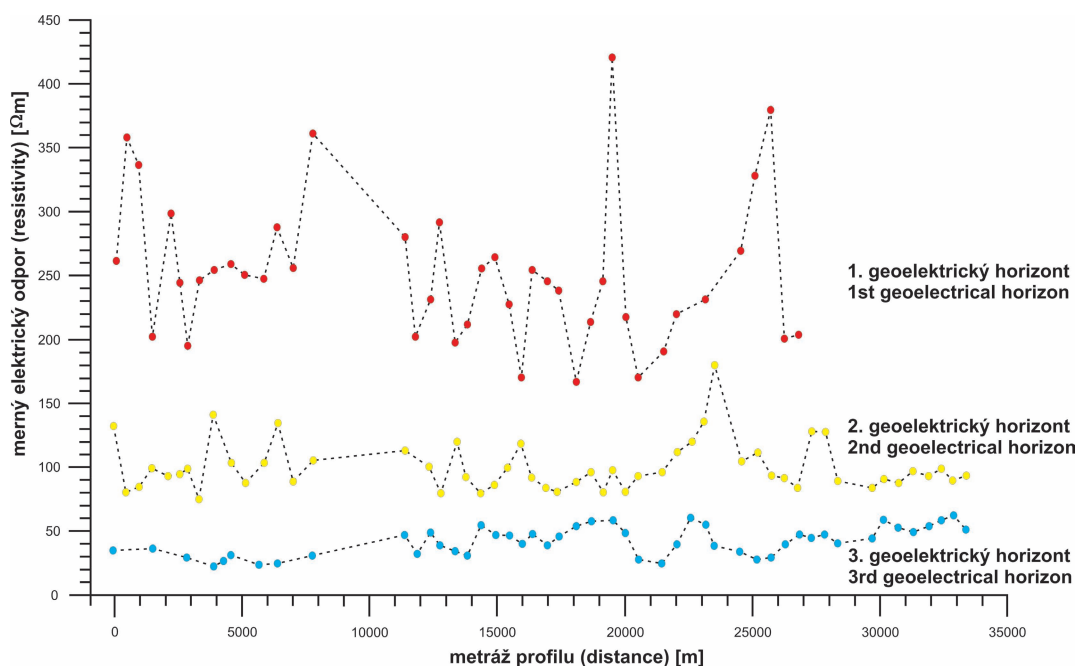
Obr. 5. Priebeh priečného odporu (T) II. geoelektrického horizontu pozdĺž profilu A-A'.

Fig. 5. Course of transverse resistivity (T) of the geoelectrical horizon II along the profile A-A'.



Obr. 6. Bodové diagramy geoelektrických horizontov I, II a III ukazujúce rozdelenie početností hodnôt merných odporov jednotlivých typov sedimentov na profile A–A'.

Fig. 6. Dot charts showing the frequency distribution of the resistivity values for the different types of sediments (profile A–A').



Obr. 7. Priebeh merných elektrických odporov jednotlivých geoelektrických horizontov pozdĺž profilu A–A'.

Fig. 7. Course of electrical resistivity of single geoelectrical horizons along the profile A–A'.

polohy sedimentu s výrazne odlišným litologickým zložením (napr. hrubá poloha štrku v III. horizonte alebo výraznejšie polohy ílov v I. horizonte).

Napriek uvedenej kompaktnosti dátových súborov, bodový diagram III. horizontu naznačuje možnosť dvoch podsúborov: prvý s aritmetickým priemerom 32  $\Omega\text{m}$  a druhý s aritmetickým priemerom 58  $\Omega\text{m}$ . Čo znamená, že v III. geoelektrickom horizonte sa nachádzajú dve podvrstvy, jedna s vyšším obsahom piesku a druhá s nízkym obsahom piesku.

V rámci analýzy horizontálnej premenlivosti materiálového zloženia bol zostrojený graf priebehu merných odporov v jednotlivých geoelektrických horizontoch pozdĺž profilu A–A' (Obr. 7).

I. geoelektrický horizont vykazuje mierny trend poklesu merného elektrického odporu od začiatku profilu (SZ) ku koncu profilu (JV), čo je možné chápať ako postupné znižovanie hrubozrnnej štrkopiesčitej zložky a zvyšovanie podielu jemnozrnnej štrkopiesčitej až ílovitej zložky v horizonte.

II. geoelektrický horizont vykazuje stálu priemernú hodnotu merného elektrického odporu pozdĺž celého profilu a teda aj stálosť materiálového zloženia. Anomálne miesta sú v oblasti metráže 4000 (DS III-39), 6400 (DS III-43), 23550 (K3-28) a 27500 (K3-35, K3-36). Spôsobuje to prítomnosť vyššieho podielu hrubozrnnejšieho štrkového materiálu s nízkym obsahom ílovitej prímesi.



Merný elektrický odpor III. horizontu sa pozdĺž profilu mierne zvyšuje, čo znamená postupné pribúdanie piesčitej zložky. Lokálne je tento trend narušený, napr. v okolí metráže 21000 m (K3-24).

## 5. DISKUSIA A ZÁVER

Kvalitatívna a kvantitatívna interpretácia meraní VES dokumentovala vhodnosť a dobrú rozlišovaciu schopnosť metódy pre charakteristiku vnútornej stavby telies klastických sedimentov neogénnych paniev.

Sedimentárna výplň panvy bola rozdelená na 3 geoelektrické horizonty I, II, III a bolo potvrdených päť hlavných neotektonických zlomových línii.

I. geoelektrický horizont reprezentuje hruboklastickú faciú štrkov a štrkopieskov riečného pôvodu s ojedinelými výraznejšími polohami ílov. II. geoelektrický horizont reprezentuje faciú pieskov s menšou zrnitosťou charakteristickou pre piesky až štrkopiesky riečného pôvodu s ojedinelými výraznými ílovitejšími polohami a III. geoelektrický horizont reprezentuje jemnozrnnú faciú ílov, siltov až pieskov charakteristickú pre riečne, deltové a jazerné usadeniny.

Navyše bola kvantitatívna interpretácia doplnená štatistickou analýzou elektrofyziálnych vlastností sedimentov, ktorá dokonca umožňuje poznanie vnútornej stavby sedimentov v rámci jednotlivých telies (horizontov) naznačujúca pôvodné rozmiestnenie sedimentárnych facií rôznych prostredí (vnútorná geologická stavba, sedimentárna architektúra). Analýza vyhodnotila litologické zmeny sedimentov pozdĺž profilu A–A' vo všetkých troch vyčlenených geoelektrických horizontoch. Potvrdila postupný trend vyklíňovania I. a II. geoelektrického horizontu v smere k JV. Malá asymetria súborov ukázala, že v geoelektrických horizontoch sa nenachádzajú výraznejšie polohy (extrémne) odlišného litologického materiálu. V prípade III. geoelektrického horizontu by sa mohlo jednať o vrstvu pozostávajúcu z dvoch horizontov: jeden s vyšším obsahom piesčitej zložky a druhý s vyšším obsahom ílu. Správnosť tejto štatistickej analýzy môže byť potvrdená alebo vyvrátená rozšírením dátového súboru.

Rozbor horizontálnej premenlivosti materiálového zloženia potvrdil, že sedimenty I. a II. geoelektrického horizontu vykazujú trend postupného zjemňovania hrubozrnej frakcie v smere k JV. Naopak III. geoelektrický horizont vykazuje opačný trend, postupné pribúdanie piesku v íloch v smere k JV.

**Podakovanie:** Príspevok bol vypracovaný za podpory projektu VEGA č. 1/0095/12 a projektu APVV-0099-11.

## Literatúra

- Bárta R., 1960: Geofyzikálny prieskum za rok 1960 na lokalite Podunajská nížina. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 16 p.
- Bárta R., 1962: Geofyzikálny prieskum na lokalite Podunajská nížina za rok 1961. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 13 p.
- Bárta R., 1963: Geofyzikálny prieskum na lokalite Podunajská nížina za rok 1962. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 10 p.
- Bárta R. & Májovský J., 1965: Geoelektrický prieskum v centrálnej časti Podunajskej panvy. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 37 p.
- Beránek P., 1969: Správa o geoelektrickom prieskume na lokalite Jelka. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 14 p.
- Cerovský I., 2001: Interaktívna interpretácia kriviek VES. Manuskript, archív Katedry aplikovanej a environmentálnej geofyziky, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Bratislava.
- Džuppa P., Šefara J., Vass D., Kubeš P., Hrušický I., Vozár J., Horniš J., Pereszlényi M., Tomek Č., Filo M., Varga G., Szalajová V., Pristaš J., Halouzka R., Tkáčová H., Grand T., Elečko M., Hók J., Nagy A., Husák L., Tkáč J., Hušťák J., Piovarči M. & Medo S., 1993: Geológia životného prostredia v oblasti Podunajsko – DANREG. Geofyzikálny prieskum Podunajsko. Čiastková záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 105 p.
- Everett, M., 2013: Near-surface applied geophysics. Cambridge University Press, 70–103.
- Fusán O., Biely A., Ibrmajer J., Plančár J. & Rozložník L., 1987: Podložie terciéru vnútorných Západných Karpát. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 103 p.
- Gaža B., 1984: Podunajská pánev. In: Bednaříková J. & Thon A. (Eds.): Naftový priemysl na území Československa. *Knihovnička Zemního plynu a nafty*, 5, Hodonín, 290–298.
- Gaža B., Pšeničková M., Dvořáková V., Altmannová G., Jihlavec F., Němeček V. & Uhmán J., 1985: Záverečná zpráva vyhledávacího průzkumu na živice v podunajské pánvi v letech 1973–1983. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 131 p.
- Priechodská Z. & Harčár J. (Eds.), Karolus K., Karolusová E., Remšík A. & Šucha P., 1988: Vysvetlivky ku geologickej mape severovýchodnej časti Podunajskej nížiny 1:50000. Manuskript, archív GÚDŠ (Bratislava), 114 p.
- Hrušický I., Pagáč I., Pereszlényi M. & Bartková J., 1991: Štúdia – Perspektívy vyhládavacieho prieskumu na ropu a zemný plyn v Podunajskej panve. Manuskript, archív, Bratislava, 83 p.
- Kováč M., 2000: Geodynamický, paleogeografický a štruktúrny vývoj karpatsko-panónskeho regiónu v miocéne: Nový pohľad na neogénne panvy Slovenska. Veda, Bratislava, 202 p.
- Kováč M., Synak R., Fordinál K. & Joniak P., 2010: Významné eventy v paleogeografii v severnej časti Dunajskej panvy – nástroj na upresnenie stratigrafie jej vrchnomiocénnej a pliocénnej výplne. *Acta Geologica Slovaca*, 2, 1, 23–26.
- Kováč M., Synak R., Fordinál K., Joniak P., Tóth C., Vojtko R., Nagy A., Baráth I., Maglay J. & Minár J., 2011: Late Miocene and Pliocene history of the Danube Basin: inferred from development of depositional systems and timing of sedimentary facies changes. *Geologica Carpathica*, 62, 6, 519–534.
- Maglay J., Halouzka R., Baňacký V., Pristaš J. & Janočko J., 1999: Neotektonická mapa Slovenska v mierke 1: 500 000. MŽP SR a GSSR, Bratislava.
- Magyar I., Radivojević D., Sztánó O., Synak R., Ujszászi K. & Pócsik M., 2013: Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene. *Global and Planetary Change*, 103, 168–173.
- Májovský J., 1971: Geoelektrické merania v oblasti Hamuliakova. Záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 9 p.
- Májovský J. & Tkáčová H., 1969: Geoelektrické merania v oblasti Veľkého Žitného ostrova. Záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 30 p.
- Mareš S., Gruntorád J., Hrách S., Karous M., Marek F., Matolín M. & Skopec J., 1990: Úvod do užité geofyziky. 2 vyd., SNTL Praha, 328–340.
- Mazúr E. & Lukniš M., 1986: Geomorfologické členenie SSR a ČSSR, Časť Slovensko. Slovenská kartografia, Bratislava.
- Mojžeš A., 2005: Časové priebehy objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na vybraných lokalitách. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada stavební, 5, 2, VŠB-TU, Ostrava, 97–103.

- Mojžeš A., Nikodémová D., Vičanová M., Grancová H. & Pinter I., 2006: Prejav vybranej tektoniky v poli radónu. Sborník vedeckých prác Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada stavební, 6, 2, VŠB-TU, Ostrava, 219–226.
- Pecov I., 1989: Kráľová pri Senci – minerálna voda. Geofyzikálny prieskum. Záverečná správa. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 28 p.
- Schwarz F. & Valušiačková A., 1972: Správa z geoelektrických meraní v okolí Bratislavy, IG mapa 1:25000. Záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 11 p.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E., 2004: Applied Geophysics (Second Edition). Cambridge University Press, 522–577.
- Tkáčová H. & Májovský J., 1987: Geofyzikálny výskum územia Veľkej Bratislavy a okolia, I. etapa – geoelektrika. Čiastková správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 19 p.
- Tkáčová H. & Májovský J., 1988: Geofyzikálny výskum územia Veľkej Bratislavy a okolia, II. etapa – geoelektrika. Čiastková správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 19 p.
- Tkáčová H. & Májovský J., 1989: Geofyzikálny výskum územia Veľkej Bratislavy a okolia, III. etapa – geoelektrika. Čiastková správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 14 p.
- Tkáčová H., Kováčik M., Caudt L., Elečko M., Halouzka R., Hušták J., Kubeš P., Malík P., Nagy A., Petro L., Piovarčí M., Pristaš J., Rapant S., Remšík A., Šefara J. & Vozár, J., 1996: Podunajsko – DANREG – národný projekt – geofyzikálny prieskum, vypracovanie máp a štúdií. Záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 266 p.
- Valušiačková A., 1974<sup>a</sup>: Geoelektrické merania v okolí Bratislavy, trasa - IZAK. Záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 12 p.
- Valušiačková A., 1974<sup>b</sup>: Geoelektrické merania v oblasti Žitného ostrova. Záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 28 p.
- Vass D., 1981: Alpínske molasy Západných Karpát. Doktorská dizertačná práca, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava.
- Vass D., 2002: Litostratigrafia Západných Karpát: neogén a budínsky paleogén. GÚDŠ Bratislava, 200 p.
- Vojtko R., Hók J., Kováč M., Sliva L., Joniak P. & Šujan M., 2008: Pliocene to Quaternary stress field change in the western part of the Central Western Carpathians (Slovakia). *Geological Quarterly*, 52, 1, 19–30.
- Zbořil L., Franko O., Bárta R., Novotný A. & Valušiačková A., 1972: Geofyzikálny výskum komárňanskej vysokej kryhy; oblasť Štúrovo. Ročná technická správa, Manuskript, archív GÚDŠ (Bratislava), 32 p.
- Zbořil M., Halmešová S., Husák L., Pospíšil L. & Zbořil L., 1977: Geofyzikálny výskum Komárňanskej vysokej kryhy. Čiastková záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 112 p.
- Zbořil M., Boldiš M., Husák I., Obernauer D., Puchnerová M. & Szalaiová V., 1986: Geofyzikálny výskum Komárňanskej kryhy, Hydrotermálna štruktúra Marcelová. Záverečná správa, Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava, 75 p.

**Summary:** The central part of the Danube Basin is, in the near-surface parts, filled with the aquifers, the Danube gravel and sand. The aim of this study was to compile a detailed geoelectrical cross-section (section A–A') through the gravel-sand horizons based on the reinterpretation of the geophysical measurements (vertical electrical sounding method – VES). Adopted and adapted VES values were qualitatively processed into a form of the vertical cross-section in isoohms [ $\Omega\text{m}$ ] on a linear scale for AB/4 and the studied section was divided into four individual parts. Coarse-grained gravel-sand sediments have a maximum thickness in the space between VES III DS-30 and K3-4. The similar situation is also in more fine-grained gravel-sand strata located below the coarse-grained

gravel-sand sediments. The second and third parts of the cross-section between VES K3-5 and K3-22 and between VES K3-24 and K3-34 indicate that the thickness of these layers is smaller. In the fourth part of the profile between VES K3-35 and K3-46, the overlying coarse-grained gravel-sand sediments do not reach significant amount of the sediment thickness. Pronounced jump in amplitude of resistivity isoline of 60  $\Omega\text{m}$  is located in several sectors of the studied cross-section (in the space between VES DS\_III-39 and 40, from K3-4 to 5, K3-14 to 15; K3-25 to 26 and K3-34 to 35) and these amplitude changes are probably due to the existence of tectonic fault dislocations. In the geophysical-geological cross-section as the result of quantitative interpretation three main geoelectrical horizons were set aside. The geoelectrical horizon I is characterized by resistivity from 166 to 420 Wm. This sediment complex is interpreted as coarse-grained gravel-sand sediments with rare clay intercalations and its thickness decreases from the beginning of the profile to the area around the VES K3-35, where the horizon I slowly disappears. The horizon I reaches the greatest thickness (about 185 m) in area between VES DS III-35 and 43, between the villages Kráľovičove Kračany and Šipošovské Kračany. The geoelectrical horizon II is characterized by slightly lower resistivity values than the horizon I (resistivity values are in the range from 74 to 180 Wm). Sediments of this horizon are developed in the form of gravel-sand sedimentary rocks with smaller clasts and higher content of sandy fraction and the maximum thickness is registered in the area between VES III DS-30 and K3-4, between the villages Vieska and Vrakúň. The horizon III is characterized by the lowest resistivity values from 22 to 61 Wm and is represented by clays and fine-grained sandy clays. Quantitative interpretation was completed by information from the wells, which are located near the studied profile A–A' and by results of the statistical analysis of the sediments. Based on the statistical analysis, the lithological changes of the sediment composition along the profile in all three separated geoelectrical horizons were evaluated. The analysis confirmed the gradual thinning trend of the geoelectrical horizon II towards the SE. Based on statistical analysis the horizon III is probably composed of two layers, one with higher content of sandy elements and the other with higher clay content. The analysis of horizontal variability in material composition confirmed that sediments of the first and second geoelectrical horizon show a trend of gradual reduction of grain size towards the SE. The geoelectrical horizon III shows the opposite trend, progressively more frequent sandy fraction in claystones.