

**Vojtech GAJDOŠ¹, Andrej MOJZEŠ², Viliam NAGY³, Kamil ROZIMANT⁴,
Vlasta ŠTEKAUEROVA⁵**

**POUŽITIE GEOFYZIKÁLNYCH METÓD PRE HODNOTENIE VHLKOSTNÝCH
POMEROV V NENASÝTENEJ ZÓNE**

**GEOPHYSICAL SURVEY USING FOR EVALUATION OF MOISTURE
CONDITIONS IN NON-SATURATED ZONE**

Abstrakt

Hydrogeologické stanice jsou obvykle situovány v oblastech s různými parametry. V okolí vrtů je geologická stavba ověřována geofyzikálním průzkumem. K úvodním studiím se používá různých geofyzikálních metod, např. dipólové elektromagnetické profilování, měření filtračních potenciálů a geoelektrické tomografie. Tomografie je realizována jako opakovaná měření, což umožňuje sledovat časově-prostoré změny elektrického odporu. K získání informací o vlhkosti zemin se používá neutron-neutron karotáž.

Abstract

Hydrological monitoring stations are placed in areas with various parameters of surrounding. We verified material layout around boreholes used for hydrological measurements with geophysical survey. There were used several geophysical methods for initial survey as dipole electromagnetic profiling, measurement of filtration potentials and electric resistivity tomography. The last one we used for repeated prospecting, which permits to assess spatio-temporally changes in electrical resistivity. We also applied neutron-neutron logging to assess moisture content in soil.

¹ Doc. RNDr. Vojtech Gajdoš, CSc., Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky PriF UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovensko, e-mail: gajdos@fns.uniba.sk

² RNDr. Andrej Mojzeš, Ph.D., Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky PriF UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovensko, e-mail: mojzes@fns.uniba.sk

³ Ing. Viliam Nagy, Ph.D., Ústav hydrológie Slovenská akadémia vied, 75, 83102 Bratislava, Slovensko, e-mail: nagy@uh.savba.sk

⁴ RNDr. Kamil Rozimant, CSc., Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky PriF UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovensko, e-mail: rozimant@fns.uniba.sk

⁵ RNDr. Vlasta Štekaurová, CSc., Ústav hydrológie Slovenská akadémia vied, 75, 83102 Bratislava, Slovensko, e-mail: stekauer@uh.savba.sk

Úvod

Pre sledovanie hydrologických pomerov a ich zmien sa používajú hydrologické monitorovacie vrty. V nich sa sleduje výška hladiny podzemnej vody a vlhkosť nad hladinou (tzv. nenasýtená zóna). Výsledky týchto meraní závisia na konkrétnom geologickom prostredí, v ktorom je vrt umiestnený. Reprezentatívnosť výsledkov merania výrazne závisí na tom, či má prostredie v okolí vrtu rovnakú geologickú stavbu a v horizontálnom smere stále hydrofyzikálne vlastnosti.

Použitím geofyzikálnych metód je možné overiť, či prostredie obklopujúce existujúce alebo plánované hydrologické monitorovacie vrty, spĺňa takúto podmienku horizontálnej homogenity alebo nie (Mareš et al., 2004).

Predložený príspevok ukazuje výsledky vykonaných overovacích geofyzikálnych meraní na dvoch lokalitách siete monitorovacích vrtov Ústavu hydrológie SAV. Použité boli metódy spontánnej polarizácie (SP), dipólového elektromagnetického profilovania (DEMP) a elektrickej rezistívnej tomografie (ERT). Opakované meranie metódou ERT bolo využité na porovnanie rezistívnych pomerov v dvoch rôznych obdobiach. Ďalej bolo realizované aj meranie na určenie vlhkosti metódou neutrón- neutrónovej karotáže pomocou vrtnej aparatury.

Sieť plytkých, vodotesne osadených monitorovacích vrtov v nenasýtenej zóne prevádzkuje Ústav hydrológie SAV v rámci svojich monitorovacích aktivít v súvislosti s vodným dielom Gabčíkovo – Nagymaros. Každé sledované stanovište pozostáva z dvoch vrtov navzájom vzdialených 2,5 m. Jeden z vrtov sa používa na meranie hĺbky hladiny podzemnej vody, druhý na zavedenie neutrónovej sondy pre meranie vlhkosti pôdy v rôznych hĺbkach. Geofyzikálne merania boli realizované na viacerých lokalitách Žitného ostrova - Báč, Čilížska Radvaň, Kráľovská lúka a Bodíky (Gajdoš et al., 2008). Pre účely tohto príspevku boli vybrané výsledky meraní dipólového elektromagnetického profilovania, opakovaných meraní elektrickej rezistívnej tomografie a meraní neutrón - neutrónovej karotáže z lokalít Kráľovská Lúka a Bodíky.

Použité geofyzikálne metódy

Metóda dipólového elektromagnetického profilovania (DEMP) využíva indukčné efekty na vyvolanie umelých elektromagnetických polí v horninovom prostredí. Veľkosť týchto indukovaných polí závisí na vodivosti horninového prostredia. Meracia aparatura je nastavená tak, že merané hodnoty sumárneho EM poľa (t.j. zdrojového a indukovaného v horninovom prostredí) sú lineárne závislé na elektrickej vodivosti vyšetrovaného horninového prostredia (McNeil, 1980). Aparatura umožňuje merať horizontálne zmeny zdánlivej rezistivity v cca 6 m mocnej prípoверхovej vrstve horninového prostredia. Z výsledkov plošných meraní je možné zostaviť odporovú mapu, v ktorej sa odporové nehomogenity prejavujú výrazným anomálnym efektom.

Metóda elektrickej rezistívnej tomografie (ERT) je často používanou metódou pre geofyzikálne monitorovanie a predstavuje kombináciu metód odporového profilovania a vertikálneho elektrického sondovania. Meranie sa realizuje pomocou systému elektród rozložených s určitým krokom a počítačom riadeného adresovania vysielať prúdu a prijímania napätia. Takto je možné získať do hĺbky danej veľkosťou meracieho systému pomerne detailný obraz o rozložení zdánlivej rezistivity vo vertikálnom reze vedenom pozdĺž meraného profilu (prítom predpokladáme, že prostredie je v smere kolmom na meraný profil horizontálne homogénne). Získaný obraz do určitej miery ovplyvňujú použité parametre merania (napr. typ elektródového systému, krok merania a i.) čo je pri analýze obrazu potrebné zohľadniť. Následné

počítačové spracovanie umožňuje namerané údaje transformovať na súbor skutočných hodnôt rezistivity a takto získať obraz o reálnej štruktúre vyšetrovaného horninového prostredia. Opakovaným meraním je potom možné postihnúť aj drobné zmeny elektrického odporu spôsobené hlavne priestorovými zmenami vlhkosti, jej mineralizácie, zmenami v konfigurácii kapilárnej obruby a posúdiť vývoj vplyvu rôznych faktorov na vyšetrované horninové prostredie.

Neutrón-neutrónová karotáž (NNK) spočíva v bombardovaní priľahlého horninového materiálu vrstiev nenasýtenej zóny, preťatých plytkým zapaženým vrtom, tzv. rýchlymi neutrónmi, ktorých zdrojom býva zvyčajne izotopická zmes umelého rádioizotopu Am a Be umiestnená v karotážnej sonde spúšťanej do vrtu. Okolo zdroja sa vytvára mrak neutrónov v tvare gule, ktorej polomer sa mení v závislosti od vlastností okolitého horninového materiálu, pretože rýchle neutróny sa zrážajú s jadrami prvkov obsiahnutých vo vrte a vrstvách, ich energetický stav sa mení na tzv. tepelné (pomalé) neutróny, až kým nie sú definitívne zachytené a zanikajú. Ak okolitá hornina obsahuje veľa vodíkových (H) jadier, interakciou s nimi neutróny strácajú energiu veľmi rýchlo a zanikajú v relatívnej krátkej vzdialenosti od svojho zdroja. Ak je v hornine málo vodíka, neutróny strácajú energiu pomalšie a zanikajú vo väčšej vzdialenosti od zdroja. Veľkosť polomeru guľovitého zhluku neutrónov okolo zdroja závisí od obsahu vodíka v horninovom materiáli obklopujúcom zdroj a jeho vonkajšia hranica určuje polohu početne prevažujúcich pomalých neutrónov. Ich množstvo sa registruje vhodným detektorom umiestneným v tej istej karotážnej sonde, v ktorej je aj zdroj rýchlych neutrónov.

Keďže tok rýchlych neutrónov zo zdroja je konštantný (niekoľko miliónov za sekundu), je množstvo detekovaných pomalých neutrónov úmerné obsahu vodíka v okolitej hornine, ktorý je v nej obsiahnutý hlavne vo forme vody v pórových a kapilárnych priestoroch nenasýtenej zóny. Meraná veličina (počet impulzov za určitý čas) podáva informáciu o vlhkosti a pórovitosti zeminy a horniny v bezprostrednom okolí vrtu.

Terénne merania a ich metodika

Meranie metódou SP bolo realizované meracej sieti 25 x 35 m s krokom 5 x 5 m (monitorovacie vrty boli v strede siete). Meranie bolo urobené s bežným digitálnym milivoltmetrom, s keramickými nepolarizovateľnými elektródami, potenciálovým spôsobom s bazovou elektródou umiestnenou v jednom z rohov meracej siete. Zo spracovaných nameraných dát bola zostavená mapa stacionárneho prírodného elektrického poľa.

Meranie DEMP bolo realizované aparátúrou Geonics EM31 v rovnakej sieti meracích bodov (5 x 5m) ako meranie metódou spontánnej polarizácie. Výsledná mapa, ktorá reprezentuje horizontálne rozloženie hodnôt elektrickej rezistivity (ohm.m) vo vrstve hrubej cca 6 m, bola následne kvalitatívne interpretovaná.

Metóda ERT bola realizovaná na profile vedenom stredom skúmaných plôch na spojnicí monitorovacích vrtov (s umiestnením približne v strede) alebo blízko nich podľa okolitých terénnych podmienok. Jeho dĺžka sa pohybovala okolo 65 m a krok elektród bol 2, resp. 3 m. Prvé merania boli realizované na obidvoch lokalitách v roku 2007 aparátúrou Resistar RS 100M, opakované merania sa už realizovali aparátúrou ARES v októbri 2008.

Meranie NNK. Na zhodnotenie vertikálnej distribúcie vlhkosti a pórovitosti pozdĺž plytkého vrtu v nenasýtenej zóne bol použitý prenosný merač vlhkosti

a hmotnosti NPK 202 so sondou pre neutrón-neutrón karotáž NSN 301 do hĺbky cca 10m. Je to analógový prístroj umožňujúci číselné vyhodnotenie a amplitúdovú selekciu impulzov zo scintilačných detekčných jednotiek. Priame výsledky merania vlhkosti poskytuje aparátúra v počtoch impulzov (imp). Karotážna sonda NSN 301 nie je vyhotovená vo vodotesnom prevedení, preto umožňuje meranie pod hladinou podzemnej vody iba vo vodotesne zapažených vrtoch. Na vrtoch v uvedených lokalitách boli v r.2008 realizované merania touto metódou.

Merania NPK boli realizované nespojite s krokom 0,2 m a dobou merania 20 s, a to pri spúšťaní sondy nadol, ako aj pri vyťahovaní sondy nahor. Z dvoch hodnôt merania (imp/20s) pre danú hĺbku bol vypočítaný aritmetický priemer. Hĺbkové údaje boli opravené o presah pažníc vrtu nad terénom, takže na obrázkoch je znázornená skutočná hĺbka pod úrovňou okolitého terénu. Reálna hĺbka hladiny podzemnej vody bola odmeraná nezávisle pomocou ponorného plaváku v susedných vrtoch bez vodotesného zapaženia. Keďže merania NPK pod touto úrovňou poskytujú stabilné a nemenné hodnoty, bolo meranie ukončené po ich dosiahnutí.

Na jednotlivých lokalitách po vytýčení meracej plochy boli realizované už uvedené geofyzikálne merania.

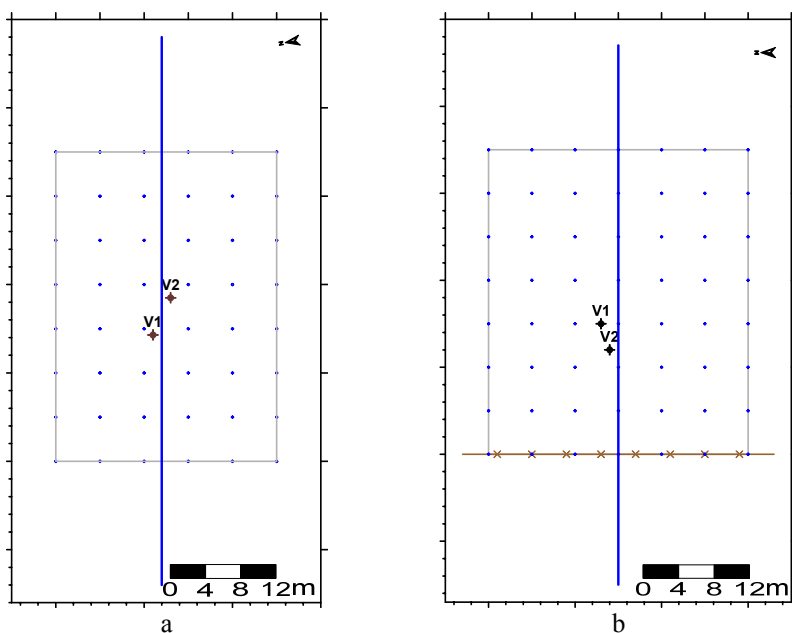
Lokalita Kráľovská Lúka leží v zalesnenej časti územia JV od obce Bodíky. Základná línia (profil ERT) pre vytýčenie meracej siete vedie medzi oboma monitorovacími vrtmi, ktorej azimut je cca 100°. Rozmery meranej plochy boli 25 x 35 m (obr.1a).

Lokalita Bodíky leží v blízkosti obce Bodíky v susedstve starého koryta Dunaja. Z technických príčin bol merací profil vedený kolmo na cestu, mierne posunutý od spojnice oboch vrtov, pričom meraná plocha má rozmery 30 x 35 m (obr.1b).

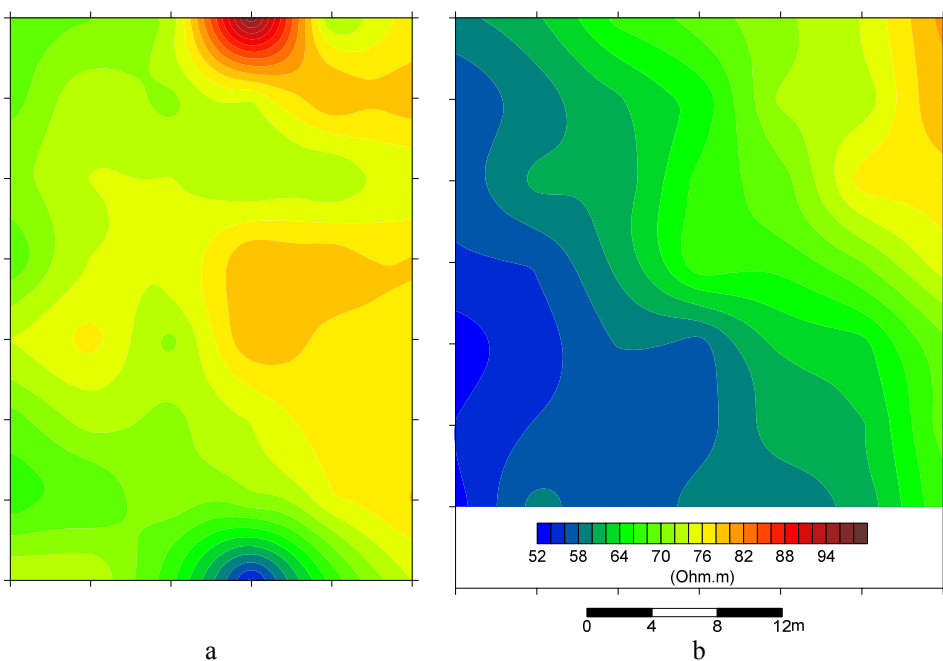
Výsledky geofyzikálnych meraní a diskusia

Metóda DEMP. Získaná mapa rezistivity na lokalite Kráľ. Lúka (obr.2a) ukazuje, že v ľavej polovici meranej plochy prevládajú zeminy typu piesčitých ílov a v pravej polovici piesky s prímiesou štrku. Hranica medzi týmito dvomi typmi zemín je pomerne členitá. Podľa výsledkov metódy SP (obr.3 – pórový priestor horninového prostredia je priechodnejší pre kladné ióny, takže v smere prúdenia podzemnej vody narastá intenzita elektrického poľa do kladných hodnôt – podľa toho je možné určiť smer pohybu podzemnej vody), prebieha v oblasti uvedeného rozhrania lokálne prúdenie podzemnej vody to buď smerom k Dunaju alebo opačne (t.j. smerom z.-jz. alebo v.-sv.) v závislosti na výške jeho hladiny.

Rezistivitná mapa na lokalite Bodíky (obr.2b) ukazuje, že na meranej ploche sa z jej dolného ľavého rohu po diagonále smerom k hornému pravému rohu mení materiálové zloženie horninového prostredia od zemín typu piesčitých ílov po piesky s prímiesou štrku.

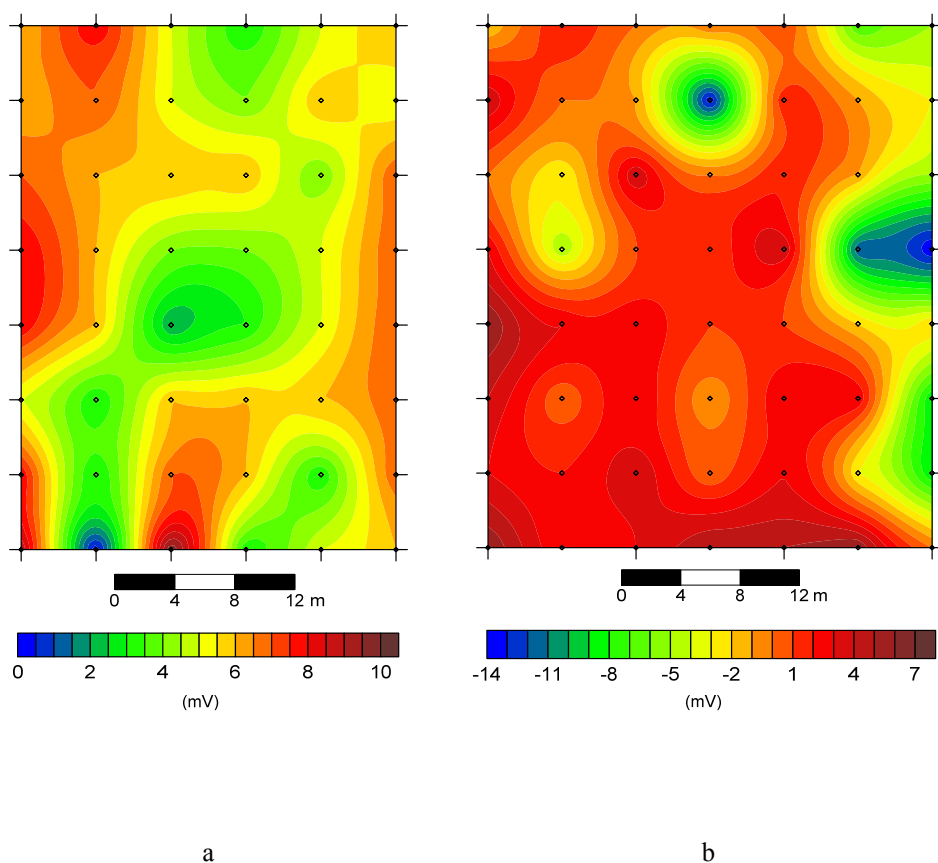


Obr. 1 Sitácia plošných meraní DEMP, SP a profilov ERT na meraných lokalitách Kráľovská Lúka (a) a Bodíky (b).

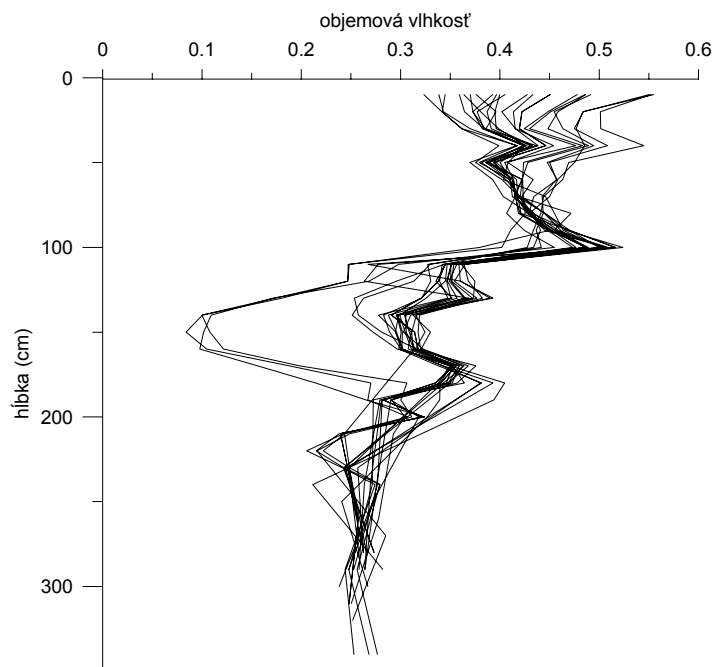


Obr. 2 Mapa izočiar elektrickej rezistivity na lokalitách Kráľovská Lúka (a) a Bodíky (b). Mierka a odporová škála platí pre obe lokality.

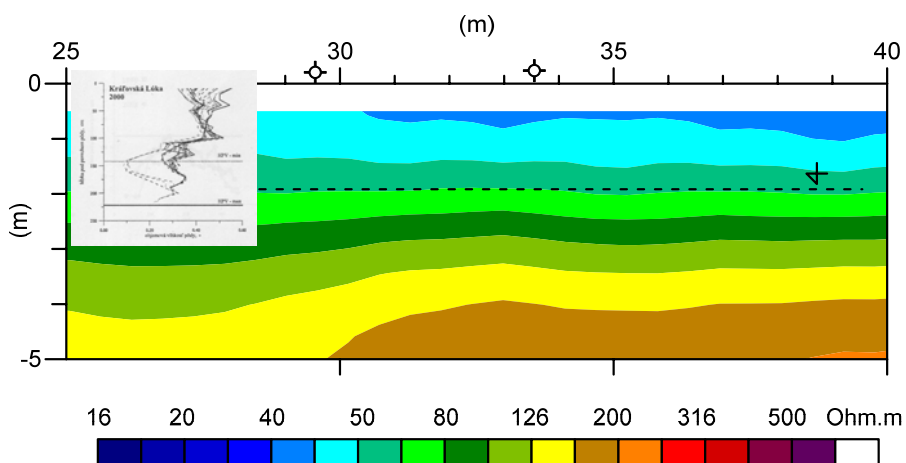
Na obr.4 sú uvedené výsledky opakovaných meraní objemovej vlhkosti pôdy vo vrte na lokalite Kráľovská Lúka a na obr.5 je ich porovnanie s časťou vertikálneho rezistivného rezu na profile vedenom daným vrtom. Z porovnania je zrejmé, že nenasýtenú zónu tvorí asi 1,5 m hrubá vrstva pri povrchu, v ktorej zvýšený obsah ílovej zložky tlmí dôsledok výkyvov zrážkovej aktivity na obsah vlhkosti. Pod ňou je piesčitá vrstva v ktorej sa postupne vytráca ílová zložka a zvyšuje priepustnosť čo zrejme spôsobuje menšiu hrúbku kapilárnej obruby. Hladina podzemnej vody sa nachádza v tejto priepustnej vrstve, ktorá rýchlo prechádza do štrkov. Na obrázku je viditeľná dobrá korelácia medzi rezom rezistivity a priebehom objemovej vlhkosti.



Obr. 3 Mapa izočiar intenzity prírodného stacionárneho elektrického poľa na lokalitách Kráľovská Lúka (a) a Bodíky (b).



Obr. 4 Monitorovanie zmien objemovej vlhkosti pôdy v závislosti od hĺbky pod povrchom pôdy na lokalite Kráľovská Lúka počas r.2000.



Obr.5 Porovnanie obrazu rozloženia rezistivity vo vertikálnom reze cez monitorovacie vrty s výsledkami monitorovania zmien objemovej vlhkosti na lokalite Kráľovská Lúka (obr.4).

Z uvedeného vyplýva, že nenasýtená zóna na lokalite Kráľovská Lúka je smerom do hĺbky materiálovo premenná zo subhorizontálnymi vrstvami, v ktorých sa postupne ílový materiál mení na piesčitý až štrkopieskový (obr.6). Z hľadiska vertikálneho prenosu vody z povrchu k hladine podzemnej vody (ktorá je tu v hĺbke okolo 2 m) je uvedená premenlivosť málo významná a nenasýtená zóna je prítomná v dvoch litologických typoch. Zistenia vyplývajúce z interpretácie výsledkov merania metódami SP a DEMP sa týkajú pohybu podzemnej vody v druhej a tretej vrstve a tieto skutočnosti zrejme majú menší vplyv na procesy zmien objemovej vlhkosti v nenasýtenej zóne.

Na lokalite Kráľovská Lúka ukazuje vertikálny rez zmien skutočnej rezistivity v pripovrchovej vrstve zeme na horizontálne homogénne prostredie (s vrstvou piesčitých hlín a hlinitých pieskov s malým obsahom štrku), pod ktorým sú štrkopiesky v ktorých sa mení obsah piesku v štrkoch – po metráž 20 m a od metráže 30 m silne prevažujú štrky, v úseku metráže 20 – 30 m je v štrkoch vyšší obsah piesku. V hlbšej časti rezu od metráže 22 po metráž 36 m vystupujú piesky s malým obsahom štrku.

Ak porovnáme charakter hladinového režimu PV na oboch lokalitách v r. 1996 (tab.1) vidíme, že sledované lokality boli podľa neho v tom období zaradené do kvalitatívne odlišných skupín vzhľadom na podmienky tvorby vodného režimu nenasýtenej zóny pôdy (Šútor, Štekauerová, 2000). Lokalita Kráľovská Lúka patrila do prvej skupiny charakteristickej tým, že počas celého roka sa ani stredná ani rozkryvná poloha hladiny PV nekontaktovala a ani neprechádzala cez litologické rozhranie do pokryvnej vrstvy. Geofyzikálne merania z r.2007 boli opakované s odstupom 554 dní, pričom zmena vo výške hladiny PV vykázala prírastok 0,41m (tab.2).

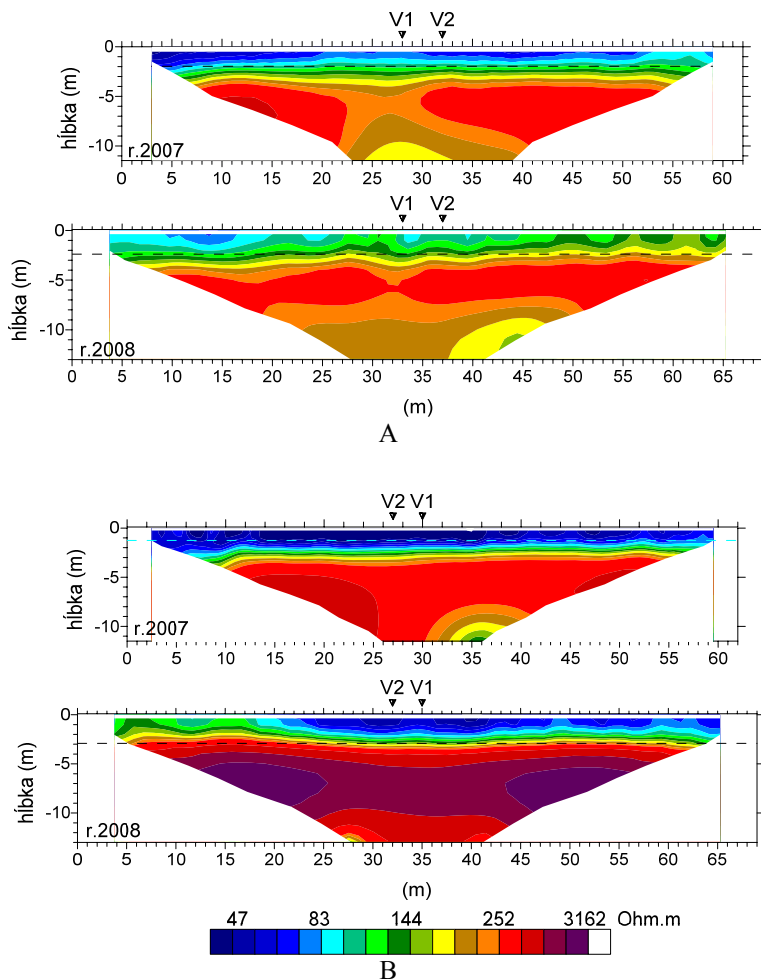
Tab. 1 Charakter hladinového režimu PV na daných lokalitách počas r.1996 (Šútor, Štekauerová, 2000).

<i>Lokalita</i>	<i>Str.hodn. (cm)</i>	<i>Min.(cm)</i>	<i>Max(cm)</i>	<i>Rozdiel(cm)</i>	<i>Štrk.podl.(m)</i>
Kráľovská Lúka	191	150	241	91	2,5
Bodíky	215	190	262	72	2

Lokalita Bodíky patrila naopak do tretej skupiny, v ktorej počas r.1996 zmena hladiny PV prechádzala aj cez litologické rozhranie. Opakované geofyzikálne merania tu boli realizované s odstupom 483 dní, pričom zmena vo výške hladiny PV vykázala prírastok 1,66m.

Tab. 2 Hĺbky hladiny PV pri jednotlivých meraniach na daných lokalitách.

<i>Lokalita</i>	<i>Dátum</i>			<i>Hladiny PV</i>		
	<i>meranie1</i>	<i>meranie2</i>	<i>odstup (dni)</i>	<i>meranie1</i>	<i>meranie2</i>	<i>rozdiel (cm)</i>
Kráľovská Lúka	27.3.2007	1.10.2008	554	198	239	41
Bodíky	6.6.2007	1.10.2008	483	126	292	166



Obr. 6 Vertikálne rezy rezistivity zostavené z výsledkov inverzie opakovaných meraní metódou ERT realizovaných v rokoch 2007 a 2008 na lokalitách Kráľovská Lúka (A) a Bodíky (B). Odporová škála platí pre obe lokality.

Charakter hladinového režimu PV samozrejme podlieha časovým aj priestorovým zmenám a tiež na neho vplyvajú klimatické faktory. Merania hladiny PV z r.2007 a 2008 však naznačujú, že charakter hladinového režimu, bude na týchto lokalitách podobný, ako v r.1996 (Šútor, Štekauerová, 2000).

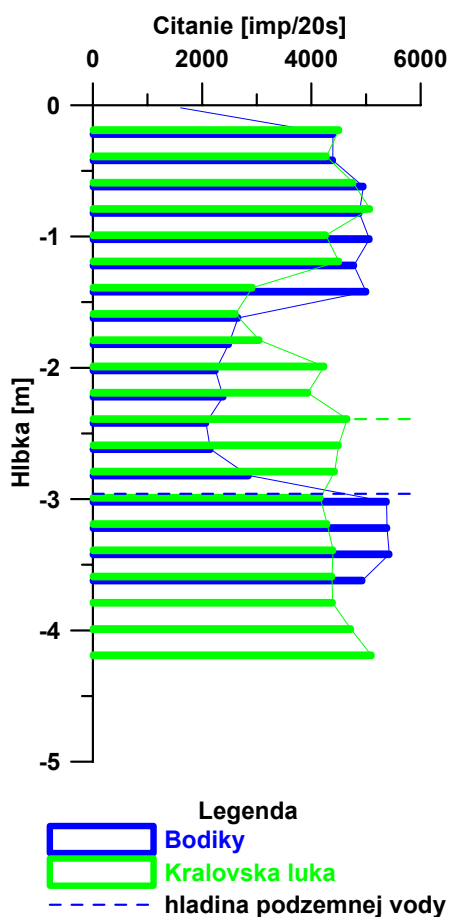
Z hľadiska klimatických podmienok bolo 1. meranie na lokalite Kráľ. Lúka realizované v jarom období po predchádzajúcej niekoľkodňovej zrážkovej činnosti (cca 55 mm), zrážková činnosť v období pred letným 1 meraním na lokalite Bodíky bola málo významná. Druhé merania boli na oboch lokalitách realizované spoločne 1.10.2008.

Pri opakovaných meraniach na lokalite Kráľ. Lúka sa charakter rezov zachoval, došlo však k zvýšeniu hodnôt odporov vo vrchnej časti rezu, najmä v zóne aerácie pôdy.

Zrejme to bolo spôsobené čiastočným zväčšením hĺbky hladiny PV (cca 41cm - tab.2), ale tiež vplyvom zvýšenej zrážkovej činnosti v dňoch pred prvým meraním.

Na lokalite Bodíky je pôdna vrstva homogénnejšia a aj podložné štrky majú menšiu variabilitu. Pri opakovaných meraniach sa charakter rezov zachoval, došlo však k celkovému zvýšeniu hodnôt odporov. Uvedené rozdiely je možné vysvetliť pomerne významným zväčšením hĺbky hladiny PV až o cca 125 cm (tab.2) a určitý vplyv môže mať aj zmena mineralizácie PV (zatiaľ sa nemonitoruje).

Namerané výsledky priebehu vlhkosti pozdĺž vertikálneho profilu v nenasýtenej zóne na lokalitách Bodíky a Kráľovská lúka sú znázornené na obr. 7. Vlhkosť obsiahnutá v horninovom prostredí je vyjadrená v relatívnych jednotkách meranej rádioaktivity [imp/20s], a to priamoúmerne, t.j. čím vyššia hodnota čítania prístroja v imp/20s, tým väčšia vlhkosť na danej hĺbkovej úrovni pod terénom. Merania hĺbky hladiny podzemnej vody pod úrovňou terénu ukázali hodnotu 2,92 m v Bodíkoch a 2,39 m na Kráľovskej lúke, čo je indikované aj na krivkách nástupom vysokých, ale stabilných a málo sa meniacich hodnôt.



Obr. 7 Priebeh čítaní prístroja (vlhkosti) v nenasýtenej zóne z meraní NNK na lokalitách Kráľ. Lúka a Bodíky

Z vizuálneho porovnania kriviek na oboch lokalitách vyplýva, že sú podobné nielen tvarom, ale aj veľkosťou nameraných hodnôt, čo by mohlo svedčiť o podobnosti skladby materiálu sedimentov. Nad hladinou podzemnej vody je možné na oboch krivkách vyčleniť dva rozdielne horizonty:

1. plytšie ležiaci horizont s vyššími hodnotami vlhkosti, resp. pórovitosti, ktorý má zhodnejší tvar a podobnejšie hodnoty na oboch lokalitách (v Bodíkoch v hĺbke cca 0,2 – 1,4 m, s mocnosťou cca 1,2 m a maximom okolo 5000 imp/20s; na Kráľovskej lúke v hĺbke cca 0,2 – 1,2 m, s mocnosťou cca 1 m a maximom okolo 4500 imp/20s). Na základe korelácie s výsledkami ERT (obr. 5) ide o pripovrchovú vrstvu so zvýšeným obsahom ílovitej zložky, kde meraná vysoká vlhkosť je spôsobená zrejme vodou viazanou priamo v štruktúre ílov.
2. hlbšie ležiaci horizont s minimami vlhkosti, resp. pórovitosti, ktorý má väčšie rozdiely, hlavne v tvare, medzi lokalitami (v Bodíkoch je mocnejší ako nadložný horizont, v hĺbke 1,4 – 3 m, s mocnosťou 1,6 m a minimom okolo 2250 imp/20s; na Kráľovskej lúke má výrazne menšiu mocnosť 1,2 m, v hĺbke cca 1,2 – 2,4 m a minimom okolo 2500 imp/20s). Tento horizont podľa ERT (obr. 5) odpovedá dobre priepustnej piesčitej až štrkovitej vrstve, ktorá má v tejto hĺbke deficit vlhkosti, ale v spomínaných hĺbkach v tejto vrstve nasadzuje hladina podzemnej vody, čo je dokumentované vysokými a stabilnými hodnotami NNK u oboch vrto.

Záver

Z predchádzajúceho textu vyplýva, že sledované fyzikálne a materiálové zmeny v nenasýtenej zóne resp. kolísanie hladín PV sa na jednotlivých lokalitách prejavuje aj vo výsledkoch geofyzikálnych meraní. Na základe výsledkov aplikácie metódy SP na lokalite Kráľovská Lúka je možné konštatovať, že dochádza k prúdeniu PV smerom k Dunaju alebo naopak podľa aktuálneho stavu jeho hladiny. Na lokalite Bodíky sa nenasýtená zóna ukazuje ako málo premenlivá a dobre horizontálne stratifikovaná. Bezprostredná zrážková činnosť pred meraniami vykazuje tiež vplyv na zníženie rezistivity v zóne pri povrchu zeme.

Získané informácie potvrdzujú vplyv hĺbky hladiny PV na odporové pomery v nenasýtenej zóne, ako aj potvrdenie známeho poznatku, že pre hodnotenie situácie je potrebné použiť viac metód, ktoré sa svojimi údajmi navzájom dopĺňajú. V tomto prípade je to kombinácia metód SP, DEMP, ERT a meranie objemovej vlhkosti pôdy. Použitie iba jednej z uvedených metód na hodnotenie situácie väčšinou nie je dostatočne objektívne.

Výsledky geofyzikálnych meraní tiež potvrdzujú známy fakt, že horninové prostredie je pomerne premenlivé a v nenasýtenej zóne zvlášť. To znamená, že pri výbere hydrologických stanovišť je potrebné postupovať na základe výsledkov geofyzikálneho prieskumu a u existujúcich stanovišť po dodatočnom geofyzikálnom prieskume jeho výsledky zakomponovať do dokumentácie hydrologických pozorovaní a využiť pri ich vyhodnocovaní.

Príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry VEGA prostredníctvom projektov č. 1/307306, 1/4041/07 a 2/0120/08.

Literatúra

- [1] GAJDOŠ, V., NAGY, V., ROZIMANT, K., ŠTEKAUEROVÁ, V. Geofyzikálna dokumentácia hydrologických monitorovacích bodov. In *Eds. J. Ivančo et al. 17. slovensko-česko-poľský seminár Fyzika vody v pôde, poster*. Michalovce, ÚH SAV, 2008, ISBN 978-80-89139-15-6, Vinianske jazero 27. - 29. Máj.
- [2] MAREŠ, S., ZIMA, L., KNĚZ, J., DOHNAL, J., JÁNĚ, Z. Geofyzikální metody umožňující sledovat změny vlhkosti ve vadózní zóne písčitých sedimentů. *Transaction of the Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*. 2004, 4, 2, s.195-203, ISSN 1213-1962.
- [3] MCNEIL, J.D *Electrical conductivity of soils and rocks*. Technical Note TN-5. Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada, 1980.
- [4] ŠÚTOR, J., ŠTEKAUEROVÁ, V. *Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného ostrova*. Bratislava. Výskumná správa, 170s., ÚH SAV, Bratislava, ISBN 80 - 968480 - 1 – 1, 2000.

Oponentský posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Jan Vilhelm, CSc., Univerzita Karlova Praha, Přírodovědecká fakulta