

Monitorovanie vybraných parametrov podzemných vôd na Veľkomarskom zosuve (Liptovská kotlina)

Lenka Petrydesová & Pavel Liščák

Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; petrydesova@fns.uniba.sk

AGEOS Monitoring of selected parameters of groundwater on the Veľkomarsky landslide (The Liptovská kotlina depression)

Abstract: Slope movements negatively influence the quality of the environment in Slovakia. This work is oriented on the regime observations of the Veľká Mara landslide. The fieldwork was realized in the span of one year. The aim of our study was to extend monitoring methods of the slope deformation on the measurement of selected physical parameters of groundwater (electric conductivity and temperature). We focused mainly on the definition of the communication among particular observed objects, and identified partial geological structures within the slope deformation.

Key words: Liptovská Mara landslide, monitoring, groundwater, electric conductivity, temperature

1. ÚVOD

Na území Slovenska je podľa posledných údajov zaznamenaných viac ako 21 190 svahových deformácií, čo predstavuje približne 5,25% celkovej rozlohy krajiny (Kopecký et al., 2008). Práve svahové deformácie sú na Slovensku najrozšírenejšou geologickou bariérou, ktorá tvorí prekážky v racionálnom využívaní geologického prostredia, či už z hľadiska výstavby komunikácií, sídlisk, vodných diel, prípadne inak spoločensky využívaných objektov. Zároveň môžu ohrozovať už existujúce sídliská, alebo iné spoločenské objekty (Nemčok, 1982).

Dlhodobý monitoring zosuvných území nám poskytuje informácie, ktoré prispievajú k poznaniu mechanizmu komplikovaných zosuvných procesov. Napomáha nám pri prognózovaní ich ďalšieho vývoja a súčasne nám podáva obraz o funkčnosti vykonaných sanačných opatrení.

Pri vzniku nových, ako aj aktivizácií starších zosuvov majú pomerne veľký vplyv klimatické zmeny. Predovšetkým zvýšené a dlhodobé zrážkové úhrny výrazne ovplyvňujú obeh a režim podzemnej vody. Podzemná voda vyskytujúca sa vo zvýšenej miere v zosuvných územiach je jedným z hlavných negatívne pôsobiacich zosuvotvorných faktorov. Jej prítomnosť a pôsobenie vo svahu má spravidla rozhodujúci vplyv na jeho stabilitu. Zmena jej režimu následne vyvoláva zmenu napätostného stavu vo svahu, ako aj zmeny fyzikálnych vlastností zemín a hornín tvoriacich teleso zosuvu. Monitoring režimu podzemných vôd nám umožňuje lepšie pochopiť a poznať zákonitosti jej prúdenia a jej vplyv na horninové prostredie. Takto získané informácie môžeme využiť pri interpretácii mechanizmu vzniku a vývoja zosuvu a následne ich využiť pri sanačných opatreniach (Wagner et al., 2002).

2. METODIKA MONITORINGU PODZEMNÝCH VÔD NA ZOSUVOCH

Pri monitoringu svahových pohybov sú popri povrchových a podpovrchových meraniach dôležité aj pravidelné režimové pozorovania. Najčastejšie sa v praxi využíva sledovanie hĺbky hladiny podzemnej vody (HPV) v piezometrických vrtoch, vrátane použitia automatických hladinomerov a sledovanie výdatnosti horizontálnych odvodňovacích vrtoch.

Cielom výskumu bolo rozšíriť spomínané režimové pozorovania o merania vybraných fyzikálnych parametrov podzemnej vody (konduktivita a teplota) v kratších časových intervaloch vo vybraných zosuvných lokalitách. Bola zvolená lokalita Liptovská Mara s typickým flyšovým vývojom (zuberecké súvrstvie centrálna-karpatskej paleogénnej panvy), na ktorej komplikované zosuvné teleso ohrozuje rovnomennú vodnú nádrž a príjazdovú komunikáciu.

Režimové pozorovania sme vykonávali v pravidelných časových intervaloch po dobu jedného roka a merané boli nasledovné parametre:

- ▶ hĺbka HPV pod terénom [m] vo vertikálnych vrtoch,
- ▶ výdatnosť horizontálnych odvodňovacích vrtoch [$\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$],
- ▶ elektrická konduktivita [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$] a teplota [$^{\circ}\text{C}$] podzemnej vody v horizontálnych aj vertikálnych vrtoch.

Elektrická konduktivita (K) a teplota podzemnej vody (T) boli merané pomocou konduktometra, na ktorý sa napájala 20 m dlhý kábel ukončený sondou (Obr. 1).

Vo vertikálnych piezometrických vrtoch sa elektrická konduktivita a teplota podzemnej vody merala každý meter od narazenia sondy na hladinu podzemnej vody až po koniec kábla, príp. dno vrtu. Merala sa vzostupným a zostupným spôsobom a namerané údaje sa prepočítali na priemernú hodnotu (Petrydesová, 2008).



Obr. 1. Konduktometer typu Cond 330i/SET a 20 m dlhý kábel ukončený sondou (foto Petrydesová, 2008).

Fig. 1. Conductivity meter (model Cond 330i/SET) and the cable 20 m long, which is terminated by probe (photo by Petrydesová, 2008).

Na lokalite Liptovská Mara sú režimové pozorovania vykonávané už viac ako dve desaťročia pracovníkmi technicko-bezpečnostného dozoru VD Liptovská Mara a ich vyhodnocovaním sa zaoberajú členovia katedry geotechniky Stavebnej fakulty Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave. Režimové pozorovania boli doplnené o naše merania v mesačnom intervale (celkovo bolo vykonaných 12 súborov meraní). Merania boli realizované vo zvolených pozorovacích objektoch, a to na 14 vertikálnych piezometrických vrtoch s nasledovným označením (J-2, J-3A, J-5, J-7A, J-12, J-14, J-16, J-17, J-18, J-20A, J-23,

J-25, J-29A, B) a 28 horizontálnych odvodňovacích vrtoch (V-1 až V-25, HV-10, HV-11, HV-12). Všetky pozorované objekty sú znázornené na obr. 2.

3. STRUČNÝ OPIS ZOSUVNEJ LOKALITY LIPTOVSKÁ MARA

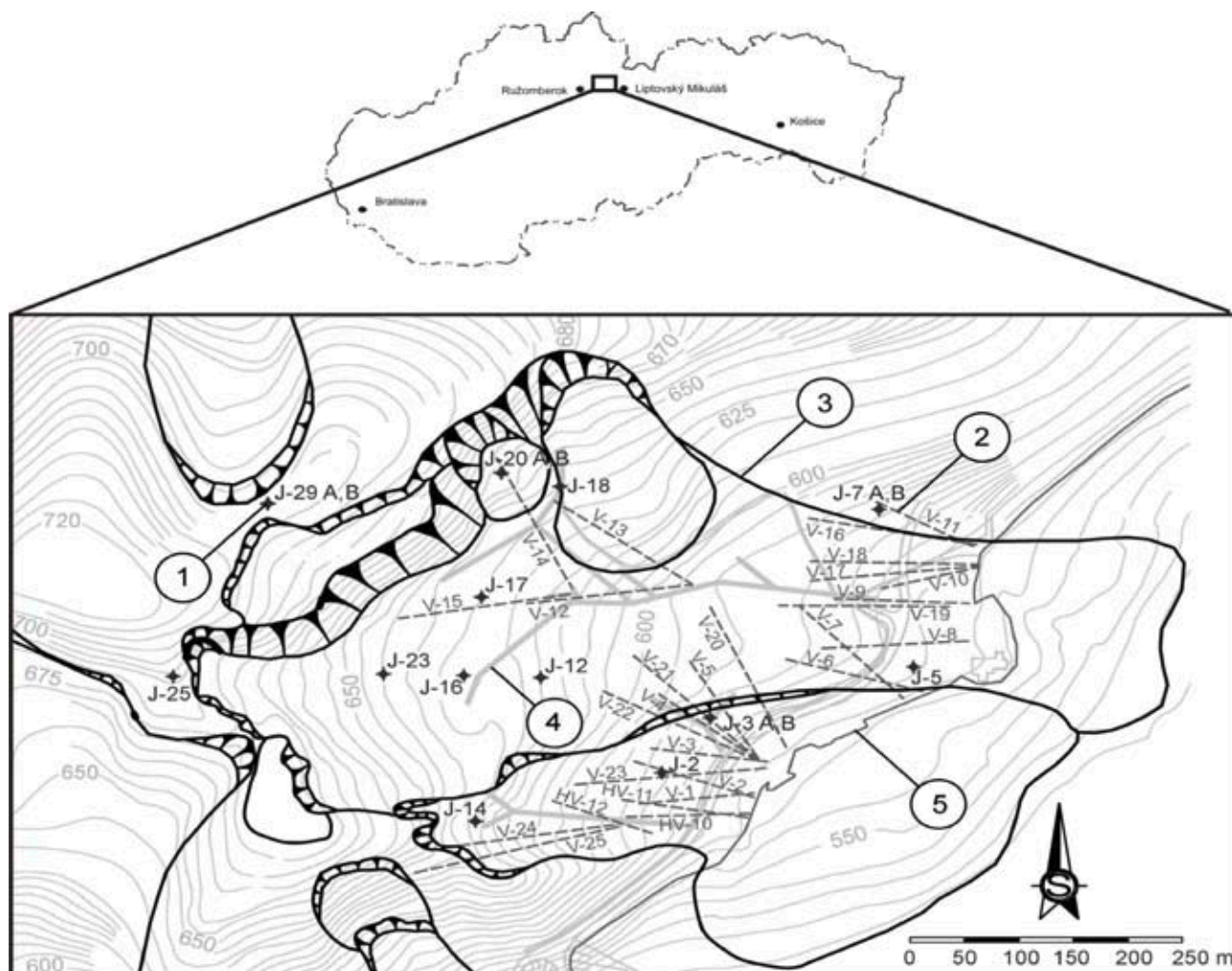
Zosuvná lokalita sa nachádza v Liptovskej kotline; podľa inžinierskogeologickej rajonizácie územia (Matula & Pašek, 1986) je situovaná v regióne neogénnych tektonických vkleslín, oblasť vnútrohorských kotlín. Lokalita je od roku 1993 zaradená do súboru zosuvov monitorovaných v rámci úlohy „Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky“, ktorej riešiteľom je ŠGÚDŠ v Bratislave.

Zosuv Liptovská Mara sa nachádza na návodnej strane vodného diela Liptovská Mara, SV pred jej pravostranným zaviazaním. Zosuv vznikol v území budovanom paleogénnymi horninami Liptovskej kotliny (zuberecké a hutnianske ílovcovo-pieskovcové súvrstvie), miestami značne porušenými zlomovou tektonikou. Zosuvné územie tvorí viacero dielčich prúdových a plošných zosuvov, ktoré sú rôzneho veku. Celková dĺžka porušeného územia je 900-1100 m a šírka 550-650 m. Maximálna hrúbka zosuvných hmôt v akumuláčnej časti zosuvu presahuje miestami viac ako 30 m. Odľučná časť zosuvu sa nachádza na plochom chrbte kóty Úložisko (710 m n. m.). Po kótu 565,3 m n. m. je zosuv zaplavený a predpokladaný objem zosuvného materiálu je 4,5 mil. m³. Zosuv je záplavovou čiarou rozdelený na dve časti: prvú časť, akumuláčnú, nachádzajúcu sa pod hladinou vodnej nádrže a druhú časť, transportačnú a odľučnú, nachádzajúcu sa nad jej hladinou (Kopecký, 2001).

V zosuvnom území boli zistené dva vztlakové horizonty podzemnej vody. Prvý horizont sa nachádza v hĺbke 3-6 m pod terénom a je viazaný na priepustnejšie polohy. Je pomerne citlivý na atmosférické zrážky s retardáciou 4-8 dní a v čase intenzívnejších zrážkových úhrnov HPV vystupuje až na povrch terénu, prípadne až nad terén. Druhý horizont sa nachádza v blízkosti šmykových plôch, na hranici neporušeného podložja a prehnetých polôh, má silne vztlakový charakter (10,5 m) s menšou reakciou na zrážky. Oba horizonty sú od seba navzájom odizolované, ale podľa kolísania HPV v niektorých piezometrických vrtoch pravdepodobne došlo k ich prepojeniu. Obeh prúdenia podzemnej vody druhého horizontu je dlhší a za jeho infiltračnú oblasť je považovaná hlavná odľučná oblasť Veľkomarského zosuvu a odľučné oblasti dielčich zosuvov. Podzemné vody prvého horizontu sú dopĺňané priamou infiltráciou zrážkových vôd (Kopecký, 2001).

4. ZMENY ELEKTRICKEJ KONDUKTIVITY PODZEMNEJ VODY V ZÁVISLOSTI OD HĽBKY A ČASU VO VERTIKÁLNYCH VRTOCH

Obeh a prúdenie podzemnej vody možno v zosuvných územiach charakterizovať aj na základe meraní fyzikálnych vlastností vody, a to predovšetkým teploty a elektrickej konduktivity.



Obr. 2. Schematické znázornenie zosuvu Liptovská Mara a lokalizácia pozorovaných objektov (upravené podľa Kopeckého, 2001). 1 – piezometrické vrty, 2 – horizontálne odvodňovacie vrty, 3 – teleso zosuvu, 4 – odvodňovacie rigoly, 5 – zátopová čiara.

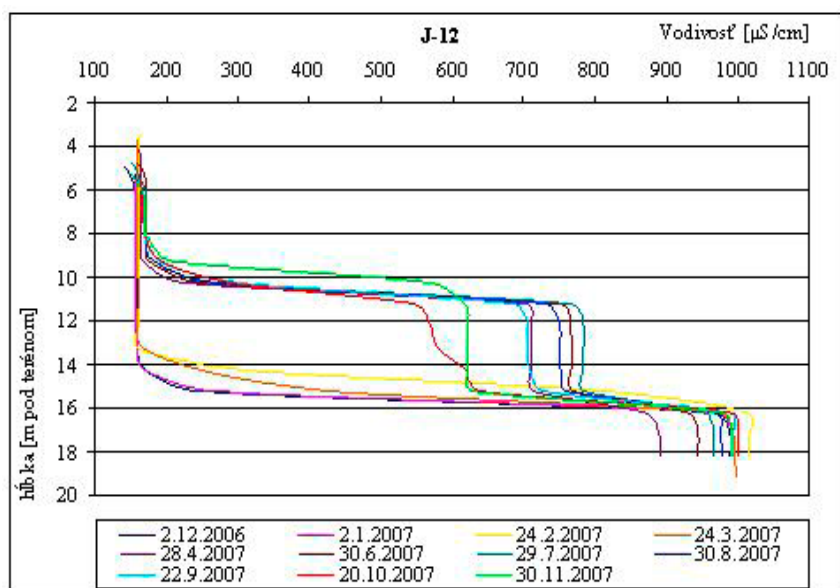
Fig. 2. Schematic description of the Liptovská Mara landslide and localization of observed objects (modified, Kopecký, 2001). 1 – piezometric boreholes, 2 – horizontal drainage boreholes, 3 – landslide body, 4 – drainage ditches, 5 – reservoir border line.

Najnižšiu konduktivitu majú vo všeobecnosti zrážkové vody, povrchové a podzemné vody v oblastiach, ktoré sú budované hydrogeochemicky málo aktívnymi horninami a vody plytkého obehú. U vôd hlbšieho obehú sa konduktivita spravidla zvyšuje v dôsledku časovo dlhšej interakcie podzemnej vody s horninovým prostredím. Najvyššiu konduktivitu majú minerálne vody. Na základe hĺbkového merania konduktivity podzemnej vody môžeme určiť prítok podzemnej vody (vody plytkšieho alebo hlbšieho obehú) do vrtu. Hodnoty konduktivity sa menia v závislosti od času, ale aj od hĺbky. V čase zvýšených zrážkových úhrnov a jarného topenia sa snehovej pokrývky dochádza k nariadeniu podzemných vôd týmito vodami a hodnoty konduktivity klesajú.

Podľa hĺbkových meraní konduktivity bol počas dlhodobého výskumu (Kopecký, 2001) zistený prítok podzemnej vody druhého horizontu vo vrtoch J-7A, J-12 a J-29A. Počas našich doplnujúcich meraní bol prítok podzemnej vody okrem spomínaných vrtoch preukázaný aj v ďalších pozorovaných vrtoch a to J-3A a J-17. Zmeny konduktivity vo vrtoch J-3A a J-12 sú znázornené na obr. 3.

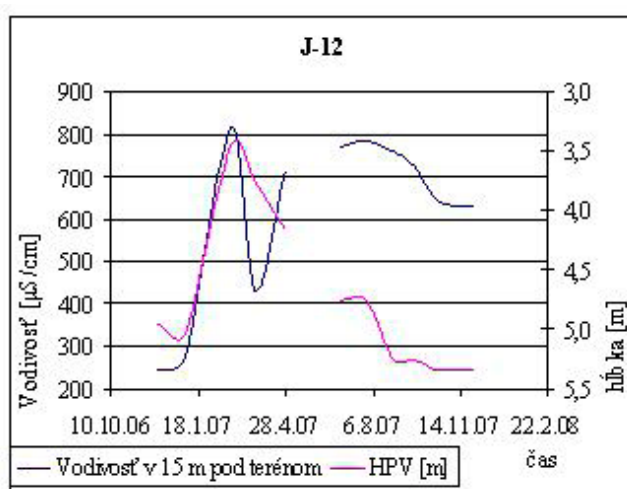
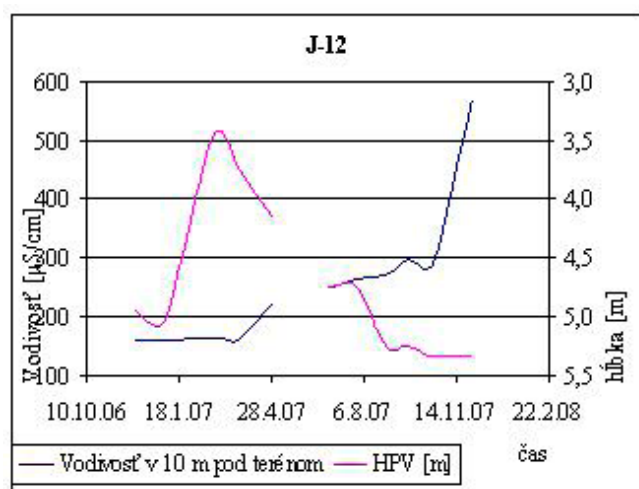
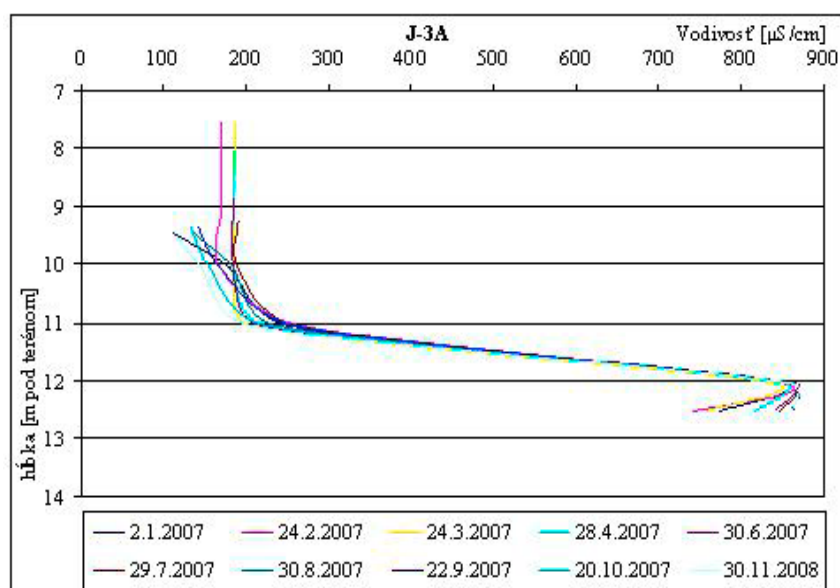
Prítok hlbšieho obehú do vrtu J-3A bol určený na základe zmeny hodnoty konduktivity v hĺbke 11-12 m pod terénom. Priemerná hodnota konduktivity $186 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ stúpla na $840 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Počas celého pozorovaného obdobia zmena nastala zakaždým v približne rovnakej hĺbke (v 11 m pod terénom).

Zmena konduktivity vo vrte J-12 zaznamenaná v čase zimných mesiacov nastala v hĺbke 15,2 m pod terénom, kedy došlo opäť k stúpnutiu hodnoty konduktivity z priemernej hodnoty $160 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na hodnotu $960 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Po stúpnutí HPV v dôsledku jarného roztopenia sa snehovej pokrývky sa prítok prejavil už v hĺbke 10,2 m pod terénom. Vztlačkový gradient podzemných vôd s vyššou hodnotou konduktivity (podzemné vody druhého horizontu) bol teda počas nášho pozorovaného obdobia 5 m. Zmena však bola zaznamenaná až s mesačným odstupom (vzhľadom na frekvenciu meraní), preto nebolo možné presnejšie určiť dobu reakcie podzemných vôd druhého horizontu na zvýšený úhrn zrážok. Priebeh zmeny konduktivity v čase vzhľadom na kolísanie HPV v spomínaných hĺbkach 10 a 15 m pod terénom bol v tomto vrte značne odlišný, čo dokumentuje obr. 4.



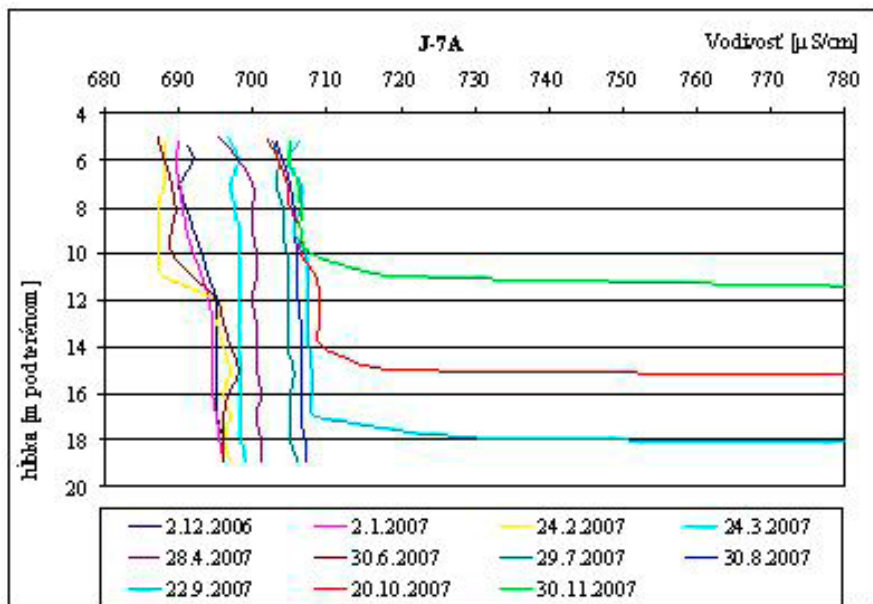
Obr. 3. Zmena konduktivity v čase a v hĺbke, nameraná v piezometrických vrtoch J-3A a J-12.

Fig. 3. Change in conductivity in the piezometric boreholes J-3A and J-12 depending on depth.

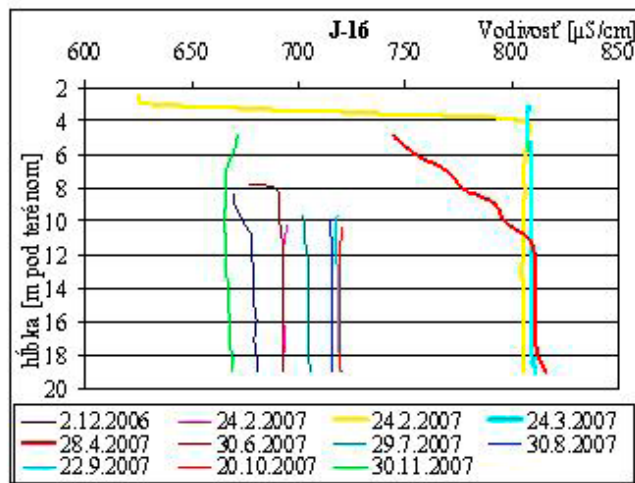
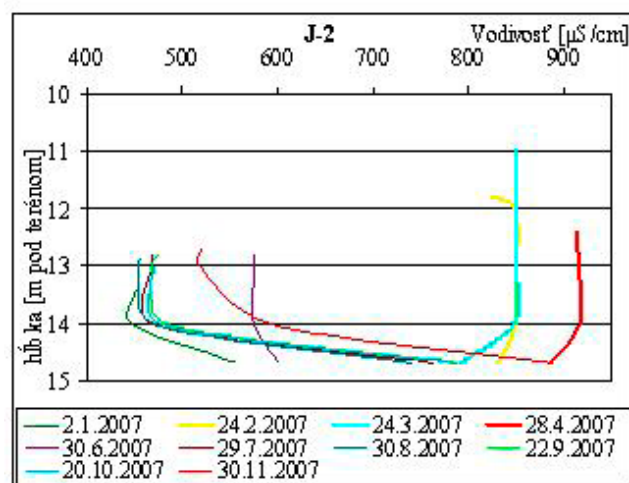


Obr. 4. Zmena konduktivity v čase vo vrte J-12 zaznamenaná v hĺbkach 10 a 15 m pod terénom.

Fig. 4. Change in conductivity in the borehole J-12 measured at the depth of 10 and 15 m below the surface.



Obr. 5. Zmena konduktivity v hĺbke počas pozorovaného obdobia vo vrte J-7A.
 Fig. 5. Change in conductivity depending on a depth in the borehole J-7A.



Obr. 6. Zmena konduktivity v čase jarného topenia sa snehovej pokrývky vo vrtoch J-2 a J-16.
 Fig. 6. Change in conductivity in boreholes J-2 and J-16 during the melting spring snow.

Kým konduktivita nameraná v hĺbke 10 m pod terénom reagovala na zmenu HPV takmer okamžite (podzemné vody prvého horizontu), konduktivita nameraná v hĺbke 15 m pod terénom reagovala s určitou retardáciou (podzemné vody druhého horizontu).

Najvýraznejší nameraný rozdiel maximálnej a minimálnej priemernej hodnoty konduktivity až 711 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ bol zaznamenaný v pozorovacom vrte J-7A. Takmer počas celého pozorovaného obdobia bol priebeh konduktivity v hĺbke pomerne vyrovnaný. Počas posledných jesenných meraní hodnota konduktivity začala postupne vzrastať až na hodnotu 2160 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Postupný vzrast hodnoty konduktivity je znázornený na obr. 5.

Počas predchádzajúcich výskumov (Stolečnan, 1979 a Kopecký, 2001) bol prítok podzemných vôd druhého horizontu do vrty J-7A preukázaný v hĺbke 29,3 m pod terénom.

V čase nášho merania bol prítok preukázaný už v hĺbke 11,2 m pod terénom, čo znamená, že stúpol o 18,1 m. Pri prieskume (Stolečnan, 1979) bol určený vztakový gradient podzemných vôd druhého horizontu 10,5 m. Na základe zistenej zmeny konduktivity v odlišných hĺbkach usudzujeme, že vztlak PV druhého horizontu má vyššiu hodnotu, ako sa pôvodne predpokladalo, a to o 7,6 m. Infiltračná oblasť podzemných vôd druhého horizontu je vo vyššie položených častiach územia, odkiaľ prúdi cez tektonicky porušené podložné hutnianske a zuberecké súvrstvie. A práve spomínaný vrt J-7A sa nachádza na uvažovanej tektonickej línii.

Vertikálna zmena konduktivity v celom profile vrty v dôsledku stúpnutia podzemných vôd druhého horizontu v čase jarného topenia sa snehu bola prejavovaná aj v ďalších pozorovaných vrtoch, a to J-2 a J-16. Priemerná hodnota konduktivity vo vrte

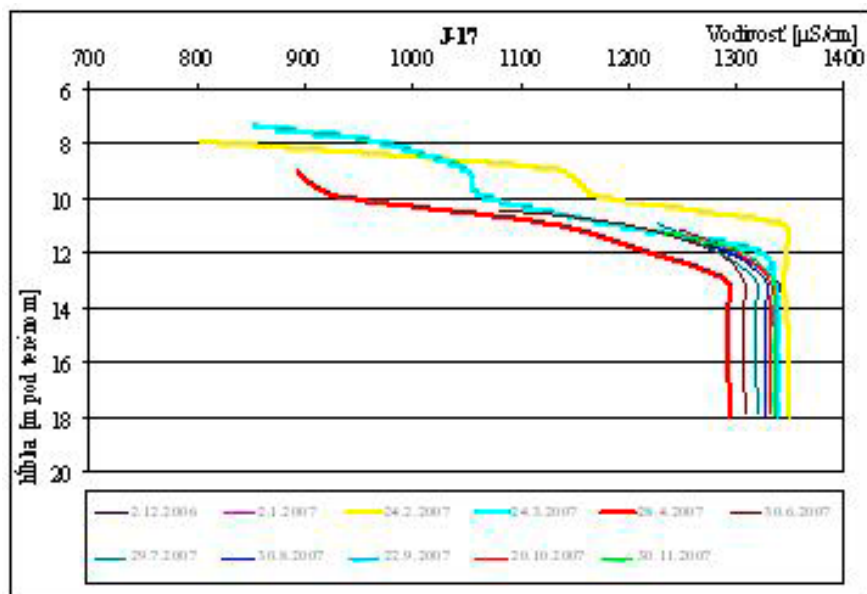
J-2 stúpa v celom profile vrtu o $355 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a vo vrte J-16 o $116 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zmeny konduktivity sú znázornené na obr. 6.

Jeden z ďalších pozorovaných vrtoch, v ktorom sa prejavila zmena v hodnote konduktivity je vrt J-17. Hodnoty konduktivity boli mimo jarných mesiacov pomerne vyrovnané. V čase jarného topenia sa snehu bol zaznamenaný prítok zrážkovej vody a vody z roztopeného snehu. Podzemné vody druhého horizontu sa nariedili a došlo k poklesu ich hodnôt konduktivity. Druhý horizont bol zachytený v hĺbke 11-14 m pod terénom, čo súhlasí s hĺbkou narazenia horizontu pri prieskumných prácach

(Stolečnan, 1979). Nariedenie podzemných vôd zrážkovými vodami je znázornené na obr. 7.

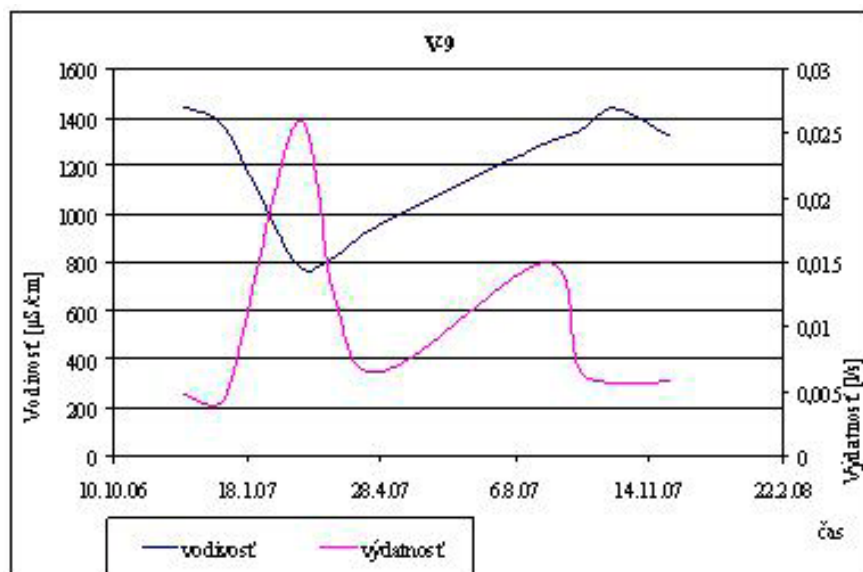
5. ZMENY VÝDATNOSTI A KONDUKTIVITY PODZEMNEJ VODY V HORIZONTÁLNYCH ODVODŇOVACÍCH VRTOCH

Horizontálne odvodňovacie vrty odvádzajú zásoby podzemných vôd, ktoré sú akumulované v telese zosuvu a tým znižujú



Obr. 7. Zmena konduktivity v hĺbke počas pozorovaného obdobia vo vrte J-17.

Fig. 7. Change in conductivity depending on a depth in the borehole J-17.



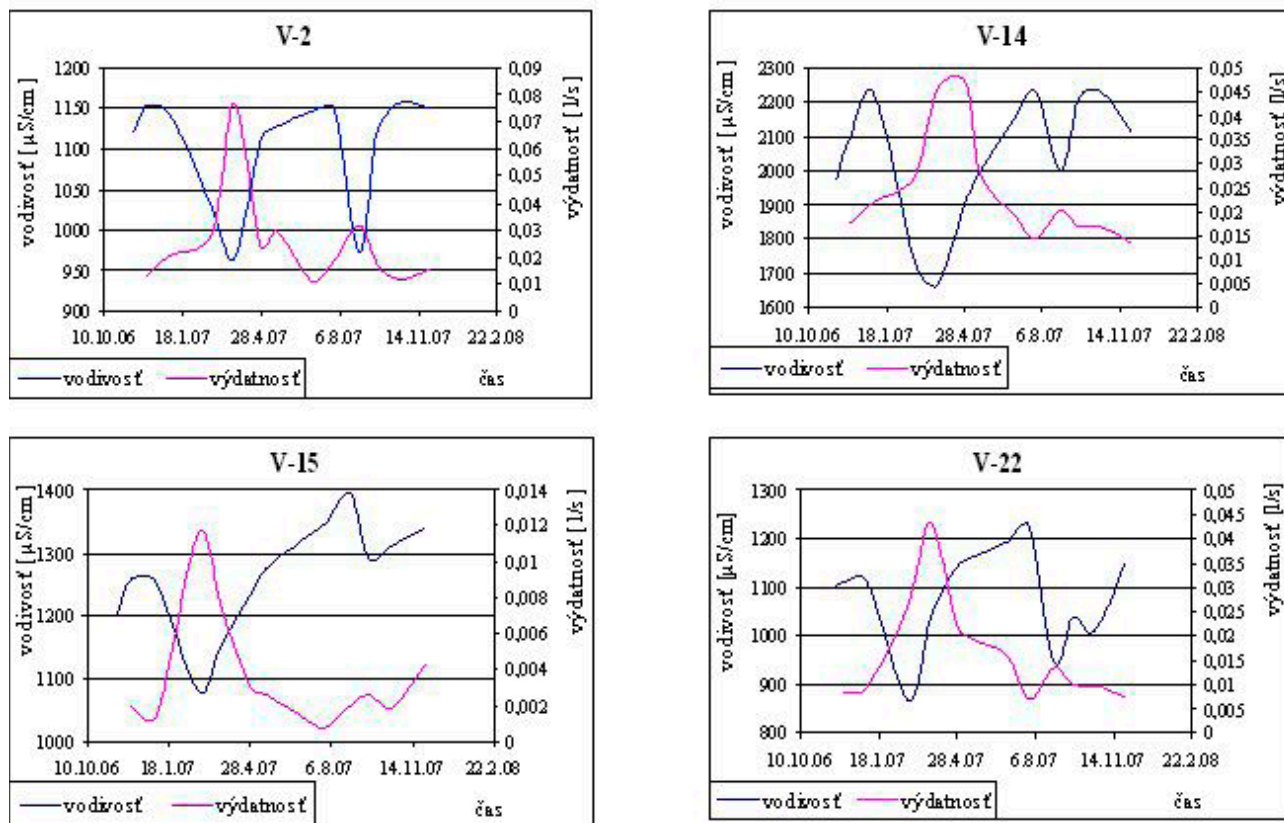
Obr. 8. Zmena konduktivity a výdatnosti v horizontálnom odvodňovacom vrte V-9 a fotodokumentácia vrtu (Petrýdesová, 2008).

Fig. 8. Change in yield and conductivity in the horizontal drainage borehole V-9 and photo of the borehole (Petrýdesová, 2008).



Obr. 8a. Fotodokumentácia vrtu (Petrýdesová, 2008).

Fig. 8a. Photo of the borehole (Petrýdesová, 2008).



Obr. 9. Zmena výdatnosti a konduktivity vo vybraných horizontálnych odvodňovacích vrtoch (V-2, V-14, V-15 a V-22).

Fig. 9. Change in yield and conductivity in selected horizontal drainage boreholes (V-2, V-14, V-15 and V-22).

úroveň a vztlak podzemnej vody. Výdatnosť drenážnych prvkov charakterizuje, ako sú znižované zásoby podzemnej vody v čase. Po určitej dobe zdržania sa podzemnej vody v horninovom prostredí v telese zosuvu, akumulovaná voda odteká skrytým podpovrchovým a podzemným odtokom. Na obehu podzemných vôd sa počas jarných mesiacov podieľajú aj vody z topiaceho sa snehu a z efektívnych zrážok (Scherer, 1999). Platí závislosť, že so zvyšovaním výdatnosti konduktivity podzemnej vody klesá v dôsledku nariadenia podzemných vôd zrážkovými vodami. Pri nízkom stave HPV a teda aj pri nízkych výdatnostiach odvodňovacích vrtov sú namerané hodnoty konduktivity vyššie. Dochádza k spomaleniu obehu podzemnej vody a styk vody s horninovým prostredím je dlhší.

Najvyššie namerané hodnoty konduktivity až $2230 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ boli namerané v odvodňovacom vrte V-14. Avšak najväčší rozdiel medzi maximálnou a minimálnou nameranou hodnotou konduktivity $658 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ bol zaznamenaný vo vrte V-9. Vrt odvádza vody druhého horizontu v blízkosti piezometrického vrtu J-6, ktorý sa nachádza na uvažovanej tektonickej línii. Zníženie konduktivity v čase najväčšej výdatnosti je znázornené na obr. 8 spolu s fotodokumentáciou vrtu (Obr. 8a).

Horizontálne vrty, v ktorých boli zaznamenané vysoké hodnoty konduktivity (V-9, V-12, V-13, V-14, V-15, V-16, V-19 a V-20) odvodňujú pravú časť zosuvu, v ktorej je zaznamenaný výskyt silne vztlakovej vody (podzemné vody druhého horizontu) až nad povrch terénu.

Naopak najmenšie zmeny hodnôt konduktivity boli zaznamenané v horizontálnych vrtov V-8, V-12 a V-21. Rozdiel maximálnej a minimálnej hodnoty konduktivity bol menší ako $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Hodnoty konduktivity boli počas celého pozorovaného obdobia pomerne nízke a vyrovnané, vrty odvádzali len podzemné vody jedného horizontu.

Väčšina horizontálnych vrtov reagovala na zvýšenie výdatnosti poklesom hodnôt konduktivity. Táto závislosť sa však neprejavila vo všetkých pozorovaných vrtov. Zmena výdatnosti a konduktivity vo vybraných horizontálnych vrtov je znázornená na obr. 9.

6. ZÁVER

Vyhodnocovanie monitoringu svahových deformácií, predovšetkým zosuvov, predstavuje pomerne náročnú úlohu. Zosuvné územia sami o sebe sú veľmi komplikované, nielen z hľadiska poznania mechanizmu vzniku ich pohybu a časového vývoja niekoľkých generácií čiastkových zosuvov, ale aj z hľadiska poznania režimu podzemnej vody akumulovanej v samotnom telese zosuvu. V súčasnosti je venovaná pomerne veľká pozornosť hydrogeologickým pomeroch zosuvných území v rámci systematického monitoringu. V rámci pravidelných režimových pozorovaní sa sleduje najmä hĺbka HPV a výdatnosť horizontálnych odvodňovacích vrtov. V rámci nášho výskumu sme súbor meraní rozšírili o merania vybraných fyzikálnych parametrov podzemnej vody (elektrická konduktivita a teplota). Dosiahli sme tak nielen zvýšenie frekvencie režimových pozorovaní na predmetnej lokalite, ale aj sledovanie zmien uvedených fyzikálnych parametrov, čo môže napomôcť lepšie

definovať časové a kvalitatívne zmeny v hydrogeologickom režime podzemných vôd. Sledované zmeny konduktivity v čase vo vertikálnom smere nám poskytli nové poznatky o vzájomnej komunikácii medzi zvodnenými horizontmi podzemnej vody v zosuvnom území.

Priebeh zmeny konduktivity v čase vo vertikálnom smere nameranej v rôznych hĺbkach bol približne rovnaký. Konduktivita nameraná v čase jarného topenia sa snehovej pokrývky a v čase zvýšených zrážkových úhrnov reagovala na zmenu stavu HPV a výdatnosti inverzným spôsobom. Reakcia konduktivity na stav HPV sa prejavila u niektorých vrtov takmer okamžite (podzemné vody prvého horizontu) a v niektorých s určitou dobou retardácie (podzemné vody druhého horizontu). Vzhľadom na danú frekvenciu meraní nebolo možné určiť presnejšiu dobu retardácie. V čase vysokých stavov HPV a vysokých výdatnosti konduktivita dosahovala pomerne nízke hodnoty, v dôsledku nariadenia podzemných vôd zrážkovými vodami. V čase nízkych výdatností a nízkych HPV sa obbeh podzemnej vody spomaľuje, dochádza k dlhšiemu kontaktu podzemnej vody s horninovým prostredím, Podzemná voda sa obohacuje o rozpustené zložky a hodnoty konduktivity sú vyššie.

Vertikálna zmena konduktivity v čase sa prejavila vo viacerých pozorovaných piezometrických vrtov. Podzemné vody druhého horizontu vykazujú pomerne silný vztlakový gradient, ktorý bol potvrdený v priebehu pozorovaného obdobia vo vrte J-7A, kedy stúpol až o 18,1 m (od prieskumu vykonaným Kopeckým, 2001). Horizonty podzemných vôd boli priamo určené nielen jednorazovým meraním, ale boli zaznamenané v rovnakej hĺbke počas celého pozorovaného obdobia (vrty J-3A a J-12) a niektoré iba v čase zvýšených zrážkových úhrnov (vrty J-2 a J-16). Závislosť medzi konduktivitou a teplotou podzemnej vody sa výrazne neprejavila.

V závere možno konštatovať, že sledovanie zmien konduktivity v hĺbke nám umožňuje lepšie pochopiť vzájomnú komunikáciu medzi jednotlivými vertikálnymi, príp. aj horizontálnymi vrtmi. Zároveň nám umožňuje sledovať zmeny viacerých horizontov podzemných vôd v čase. Čím je frekvencia meraní hustejšia, tým lepšie a presnejšie môžeme interpretovať zmeny v režime podzemných vôd a ich vplyv na stabilitu zosuvov.

Literatúra

- Kopecký M., 2001: Vplyv klimatických a hydrogeologických pomeroch na vznik zosuvov. Dizertačná práca, Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Bratislava, 140 s.
- Kopecký M., Martinčeková T., Šimeková J. & Ondrášik M., 2008: Atlas zosuvov – výsledky riešenia geologickej úlohy. In: Frankovská J., Liščák P. & Ondrášik M. (Eds.): Geológia a životné prostredie, Zborník vedeckých prác zo 6. slovenskej konferencie, ŠGÚDŠ, Bratislava, 105-110.
- Matula M. & Pašek J., 1986: Regionálna inžinierska geológia ČSSR. Alfa, Bratislava, 295 s.
- Nemček A., 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Veda, Bratislava, 320 s.
- Petrydesová L., 2008: Monitoring svahových pohybov na lokalitách Okoličné a Liptovská Mara. Diplomová práca, Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Bratislava, 86 s.
- Scherer S., 1999: Metodika hydrogeologického monitoringu na zosuvoch. *Podzemná voda*, 5, 2, Bratislava. 94-104.

- Stolečan J., 1979: Metodika a interpretácia ložiskového prieskumu: Inžinierskogeologický prieskum a výstavba vodného diela Liptovská Mara. Záverečná práca postgraduálneho štúdia, Vysoká škola báňská, Ostrava, 117s.
- Wagner P., Iglárová L., Petro L. & Scherer S., 2002: Monitorovanie zosuvov a iných svahových deformácií. *Geologické práce, Správy*, 106, Bratislava, 21-42.

Summary: The paper introduces the research of the site of the Liptovská Mara landslide. The slide has been in the focus of the geologists since the construction of the Liptovská Mara reservoir in the 70-ties of the previous century. Various stabilization measures were applied in order to safeguard the operation of the Liptovská Mara Water Work. For several decades the system of vertical and horizontal boreholes served for the above purpose; these elements were also included into monitoring system, mainly oriented on the observation of groundwater regimen. By 23rd July 1993 the project of geological task has been established: "Partial Monitoring System of Geological Factors of Environment in the Slovak Republic". The most relevant compound of the above project is the subsystem Landslides and Other Slope Deformations. The objective of the project is to collect and classify information, which contribute to knowledge of mechanism of complicated slope processes as well as to give a prognosis of their evolution.

Our research was aimed on the extension of monitoring methods, namely on observation of the changes in groundwater temperature and conductivity, as well as on the amendment of observations provided by the specialists of the Liptovská Mara WW supervised by experts from the Department of Geotechnics Slovak university of Technology in Bratislava. In order to identify relationship between two horizons of groundwater, the lower one confined, we have used a novel monitoring method of probe, consisting of conductivity meter and thermometer equipped with 20 m cable enabling vertical measurements. The one year period measuring detected communication between two groundwater horizons, a retarded response of the lower one on precipitation/snow melt, interpreted from the change in groundwater conductivity and a distinct increase in the confined pressure of the lower horizon.

The measurements of groundwater physical properties in horizontal boreholes have identified a clear influence of the lower groundwater horizon with distinctly increased values of conductivity as well as strong effect of precipitation in those boreholes which drain the shallow horizon only.

Changes of the hydrogeological regime and changes of the water properties and their influence on the current stability of landslides were assessed on the base of results from carried out measurements. The more dense frequency of measurements has been practised, the more accurate changes of the hydrogeological regime of the groundwater have been determined. Following the knowledge of the groundwater regime we are able to recognize better the influence of the water on the engineering geological properties of the landslide rock environment and its degree of slope stability.