

Hodnotenie výsledkov monitorovacích meraní na zosuvoch

PETER WAGNER, PETER ONDREJKA, DOMINIK BALÍK a ANDREJ ŽILKA

Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava
peter.ondrejka@geology.sk

Evaluation of monitoring measurements results on landslides

Determination of the movement activity of landslides (primarily by the geodetic and inclinometric measurements) is performed in order to verify the slope stability condition and the effectiveness of the corrective measures. Evaluation of measurement results is usually individual and subjective on each landslide site. The regional character of the project Partial Monitoring System of Geological Factors enables to design unified valuation scale, which was based on the absolute values of the displacements and deformations. In regard to up-to-now experience it has been concluded, that evaluation based on the analysis of the entire history of movement activity will be more objective. The paper presents the principles of this new, designed method of evaluation and the examples of comparisons of the obtained and previous results are shown, as well.

Key words: slope movements, monitoring, evaluation of displacements and deformations

Úvod

Merania pohybovej aktivity zosuvných hmôt (predovšetkým geodetické a inklinometrické) sa vykonávajú zvyčajne počas prieskumu, sanácie a určitý časový úsek po skončení sanácie zosuvného územia na overenie aktuálneho stabilitného stavu svahu a účinnosti realizovaných sanačných opatrení. Na základe niekoľkých meraní v určitom časovom slede sa preukazuje trend vývoja pohybovej aktivity a konštatuje sa buď postupné znižovanie veľkosti posunov (deformácií) – čo indikuje úspešnosť vykonanej sanácie, alebo ich ustálenie na rovnakej úrovni, prípadne ich nárast – čo signalizuje nevyhnutnosť realizácie ďalších stabilizačných opatrení.

Vyhodnotenie výsledkov meraní je však v každej zosuvnej lokalite individuálne a ovplyvnené značnou dávkou subjektivity. Až počas riešenia úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov – ČMS GF (objednávatelom je Ministerstvo životného prostredia SR a zhotoviteľom ŠGÚDŠ – Klukanová a Liščák, 1998) sa riešitelia pokúsili – vzhľadom na celoslovenský, teda regionálny charakter úlohy – o vypracovanie jednotnej hodnotiacej škály meraní, ktorá by umožňovala porovnávať ich výsledky, zistené v rôznych zosuvných lokalitách. Napriek tomu treba zdôrazniť, že namerané hodnoty geodetických a inklinometrických deformácií sú v každej zosuvnej lokalite ovplyvnené viacerými faktormi a ich správne vyhodnotenie si vyžaduje individuálny prístup.

V príspevku najprv opisujeme spôsob hodnotenia meraní na základe jednotnej hodnotiacej škály, ktorý sa používal v predchádzajúcich rokoch. Na základe získaných skúseností sme v roku 2011 navrhli nový spôsob hodnotenia monitorovacích meraní založený na analýze

histórie vývoja zaznamenaných posunov a deformácií. Domnievame sa, že viac zohľadňuje špecifiká spôsobu a lokalizácie meraných bodov a v konečnom dôsledku ho možno považovať za výstižnejší a objektívnejší. Príklady porovnania obidvoch spôsobov hodnotenia vybraných bodov zo zosuvnej lokality Veľká Čausa sú uvedené v záverečnej časti príspevku.

Spôsoby hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní

Hodnotenie výsledkov meraní podľa jednotnej kvantitatívnej hodnotiacej škály

Zostavenie kvantitatívnej hodnotiacej škály vychádzalo z presnosti vykonávaných meraní a z nahromadených skúseností a poznatkov o prejavoch aktivity zosuvných hmôt pri určitých hodnotách nameraných posunov a deformácií.

V prípade geodetických meraní sa vychádzalo z presnosti terestrického geodetického merania, vyjadrenej hodnotou dvojnásobku strednej polohovej, resp. výškovej chyby merania (označenej ako σ), ktorej prekročenie vyjadruje 95 %-nú pravdepodobnosť posunu meraného bodu. Vo väčšine lokalít, dlhodobo monitorovaných v rámci riešenia úlohy ČMS GF (napr. v zosuvných lokalitách Veľká Čausa, Fintice, Bojnice, Lubietová, Hlohovec-Posádka), sa hodnota σ nachádzala na úrovni 20 mm, v lokalite Okoličné pri Liptovskom Mikuláši sa uvažovalo o hodnote 15 mm a, naopak, v lokalite katastrálneho zosuvu v Handlovej až o hodnote 30 mm.

Pri zostavovaní kvantitatívnej hodnotiacej škály sa za prvý stupeň považovala práve hodnota σ (t. j. do prvého stupňa boli zaradené všetky namerané zmeny, ktoré

hodnotu σ nepresiahli, prepočítané na rýchlosť pohybu, vyjadrenú v $\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}$). Druhý stupeň (charakterizujúci preukázaný posun meraného bodu) sa prisudzoval posunom nachádzajúcim sa v rozmedzí od hodnoty σ po jej trojnásobok (3σ) a tretí stupeň, vyjadrujúci významnú polohovú alebo výškovú zmenu meraného bodu, bol priradený hodnotám meraní presahujúcim 3σ . Merania sa vo väčšine prípadov realizovali jedenkrát za kalendárny rok a prepočet na rýchlosť pohybu sa vykonával kvôli možnosti porovnávania zistených pohybov meraných bodov v rámci jednej lokality, ale aj porovnania aktivity pohybu v rôznych lokalitách. V prípade hodnotenia priemernej rýchlosti bol samostatne zohľadňovaný polohový a vertikálny

vektor posunu a v konečnom hodnotení sa počítalo s nepriaznivejšou, teda väčšou hodnotou (v príkladoch v kap. 4 vertikálna zložka rýchlosti posunu nie je samostatne prezentovaná, pretože sa neprejavila vo výslednom hodnotení). S pribúdajúcimi skúsenosťami a reálnymi pozorovaniami zmien stavu zosuvov v jednotlivých lokalitách sme v posledných rokoch sprísnilí kritériá hodnotenia a do druhej kategórie sme zaradovali posuny s hodnotou v rozmedzí σ až 2σ a do tretej kategórie hodnoty presahujúce kritérium 2σ .

V prípade inklinometrických meraní sme vychádzali z empiricky zvolenej hranice presnosti merania, reálne akceptovateľnej pre všetky uskutočňované merania, ktorá

Tab. 1
Porovnanie klasifikačných hodnotení výsledkov monitorovacích meraní
Comparison of classified evaluations of the results of monitoring measurements

Hodnotiaci stupeň	PŮVODNÉ HODNOTENIE		Základný hodnotiaci stupeň	NAVRHNUTÉ HODNOTENIE		
	Geodet. merania	Inklinom. merania		Hodnotiace kritériá pre výsledky geodetických a inklinometrických meraní	Charakteristika z hľadiska stabilného stavu	Výsledný hodnotiaci stupeň
	Rýchlosť pohybu [mm.rok ⁻¹]	Rýchlosť pohybu [mm.rok ⁻¹]				
1.	do hodnoty σ^*	do 2	1.	Výsledný priestor. vektor (xyz) v hodnotenom roku neprekročil súčet priem. hodnoty (PH) stanovenej počas refer. obdobia (1997 – 2007) a diferencie (D)	stabilný stav	1.
			2.	xyz v hodnotenom roku je väčší ako $PH + D$ a zároveň neprekročil $PH + 2D$		
			3.	xyz v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 2D$ a zároveň neprekročil $PH + 3D$		
2.	σ až 2σ	2 až 5	4.	xyz v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 3D$ a zároveň neprekročil $PH + 4D$	mierne až stredné prejavy aktivity svahového pohybu	2.
			5.	xyz v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 4D$ a zároveň neprekročil $PH + 5D$		
			6.	xyz v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 5D$ a zároveň neprekročil $PH + 6D$		
3.	nad 2σ	nad 5	7.	xyz v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 6D$ a zároveň neprekročil $2(PH + 6D)$	výrazné prejavy aktivity svahového pohybu vedúce k nestabilite svahu	3.
			8.	xyz v hodnotenom roku prekročil $2(PH + 6D)$		

* – hodnota strednej chyby, jej prekročenie ukazuje zmenu polohy alebo výšky meraného bodu s 95 % pravdepodobnosťou; v prípade meraní v lokalite Veľká Čausa táto veličina (σ) mala hodnotu 20 mm; PH – priemerná hodnota; D – diferencia (podľa obr. 1)

* – Mean error value, which exceeded with 95 % probability demonstrate the displacement in position or height of measured points; in the case of measurements on the Veľká Čausa site this parameter (σ) was 20 mm; PH – average value; D – difference (according to Fig. 1)

predstavuje hodnotu deformácie 2 mm. Z toho vyplýva, že do prvého stupňa hodnotiacej škály sme zaradili všetky deformácie, ktorých hodnota po prepočte na rýchlosť pohybu (v $\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}$) neprekročila 2 mm (bez ohľadu na azimut pohybu). Do druhej skupiny pohybovej aktivity boli zaradené deformácie v rozmedzí 2 – 5 $\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}$ a do tretej skupiny deformácie nad 5 $\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}$. Inklinometrické merania sa taktiež vykonávali zvyčajne jedenkrát za rok.

Na základe skúseností i overených pozorovaní viacerých vrtov sme dospeli k poznatku, že k možnosti porušenia (ustrihnutia) vrtu v dôsledku aktívneho svahového pohybu dochádza často už pri zaznamenananej deformácii cca 20 mm (extrémne 30 mm). Vzhľadom na tento poznatok sa kritérium na vyčlenenie druhej triedy pohybovej aktivity javilo príliš „prísne“, a tak sme uvažovali o jeho posunutí na hodnotu 10 mm (k tejto úprave však už počas riešenia úlohy nedošlo).

Jednotná škála hodnotenia výsledkov geodetických a inklinometrických meraní používaná pri riešení úlohy ČMS GF do roku 2010 je uvedená v tab. 1.

Spôsob hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní pomocou kvantitatívnej hodnotiacej škály mal nespornú výhodu v už spomenutej skutočnosti, že umožňoval porovnávať pohybovú aktivitu meraných bodov v rámci lokality alebo medzi rôznymi lokalitami. Nedostatkom takéhoto spôsobu hodnotenia bol však rôzny charakter pozorovaných bodov – či už z hľadiska situovania v diferencovaných častiach zosuvného územia, charakterizovaných rôznou intenzitou pohybov, alebo z hľadiska technickej kvality pozorovaného bodu (predovšetkým spôsobu jeho stabilizácie v prípade geodetických bodov alebo kvality vystrojenia v prípade inklinometrických vrtov). Na základe skúseností z výsledkov dlhodobého pozorovania sme dospeli k záveru, že spomínané nedostatky kvantitatívneho hodnotenia možno eliminovať na základe analýzy celej histórie pohybovej aktivity jednotlivých meraných bodov. Z toho vyplýva, že podmienkou použitia navrhovanej metódy hodnotenia je dostatočná informácia o správaní meraného bodu

za určitý časový úsek (dĺžky aspoň 5 rokov). Takúto informáciu možno získať iba na základe výsledkov dlhodobých pravidelných monitorovacích meraní.

Hodnotenie výsledkov meraní na základe analýzy vývoja zaznamenaných zmien

Pri spôsobe odvodu referenčných hodnôt pre semi-kvantitatívne hodnotenie posunov a deformácií sme sa čiastočne inšpirovali postupom hodnotenia zmien úrovne hladiny podzemnej vody, ktorý úspešne aplikujeme v monitorovaných lokalitách od roku 2005.

Princíp navrhovaného spôsobu hodnotenia výsledkov geodetických a inklinometrických meraní je vyjadrený na obr. 1. Postup hodnotenia možno zhrnúť do niekoľkých bodov:

- z priebehu priestorových (v prípade geodetických meraní) alebo polohových (v prípade inklinometrických meraní) zmien za referenčné obdobie (ktoré sme vybrali pre časový úsek od začiatku roku 1997 po koniec roku 2006 – ide teda o obdobie 10 rokov) sa určí pre každý pozorovaný bod hodnota maximálneho posuvu, resp. deformácie (MAX), a vypočíta sa priemerný posuv, resp. priemerná deformácia (priemerná hodnota – PH), zo všetkých meraní vykonaných za toto obdobie;

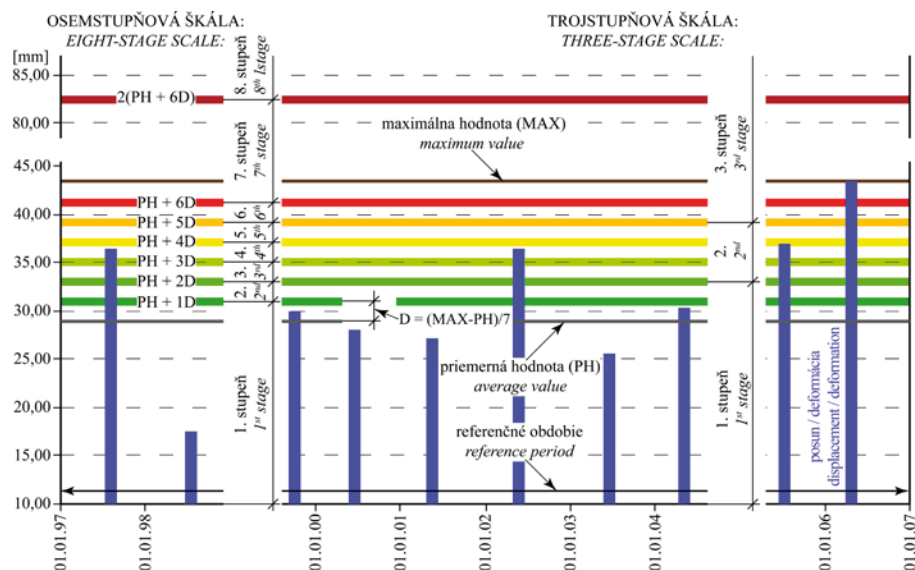
- z uvedených hodnôt sa určí tzv. diferenciácia (D) zo vzťahu $D = (MAX - PH) / 7$. Rozdelenie intervalu, ohraničeného priemernou a maximálnou úrovňou pohybovej aktivity počas referenčného obdobia, na sedem častí umožňuje vytvoriť základnú šesťstupňovú škálu. 7. stupeň odvodíme ako dvojnásobok hodnoty siedmeho stupňa, teda $2(PH + 6D)$. Posuny, resp. deformácie, dosahujúce úroveň 7. stupňa alebo ho prekračujúce (8. stupeň) vyjadrujú pohybovú aktivitu, ktorá na danom monitorovacom bode indikuje stav aktívneho svahového pohybu;

- jednotlivé stupne pohybovej aktivity sú pre každý pozorovaný bod odvodené podľa tohto postupu – v súlade s tab. 1 a obr. 1;

- základné osemstupňové hodnotenie pohybovej

Obr. 1. Postup odvodu referenčných hodnôt pre semikvantitatívne hodnotenie nameraných posunov (geodetickými meraniami) a zaznamenananej deformácie na šmykových plochách (metódou presnej inklinometrie) – podľa tab. 1.

Fig. 1. Derivation of reference values for semi-quantitative evaluation of the measured displacements (by geodetic measurements) and recorded deformation on the slip surfaces (by inclinometric method) – according to Tab. 1.



aktivity je transformované do zjednodušenej výslednej trojstupňovej škály podľa nasledujúcich kritérií:

- Prvý výsledný hodnotiaci stupeň zahŕňa merania vyjadrené veľkosťou priestorového (pri inklinometrii polohového) vektora, ktorá nepresahuje priemer referenčného obdobia s pripočítanou dvojnásobnou hodnotou stanovenej diferencie D. Pri základnom osemstupňovom hodnotení ide o 1. a 2. stupeň (obr. 1, tab. 1).

- Do druhého výsledného hodnotiaceho stupňa sú zaradené merania vyjadrené takou veľkosťou vektora, ktorá presahuje kritérium 1. výsledného stupňa a zároveň je menšia alebo rovná priemernej hodnote s pripočítaným päťnásobkom hodnoty diferencie D. V základnej osemstupňovej škále ide o 3., 4. a 5. stupeň hodnotenia.

- Tretí výsledný hodnotiaci stupeň zahŕňa merania vyjadrené veľkosťou vektora, ktorá presahuje kritériá stanovené pre druhý stupeň výsledného hodnotenia. V osemstupňovej základnej škále ide o 6., 7. a 8. stupeň hodnotenia.

Pri navrhovanom hodnotení sa vychádza z absolútnych hodnôt nameraných zmien. Dôvody tohto rozhodnutia sú opreté o nasledujúce poznatky:

- Skúšobná prevádzka stacionárneho inklinometra objektívne preukázala, že pohyb v zosuvných lokalitách sa iniciuje iba v určitých časových intervaloch (často pomerne krátkych), pričom prevažnú časť pozorovaného obdobia k žiadnemu pohybu nedochádza (Ondrejka et al., 2011).

- Možno predpokladať, že podobný pohybový režim majú i geodetické pozorovacie body.

- V závislosti od dĺžky etapy merania môže byť nameraná hodnota, prepočítaná na rýchlosť pohybu za určitú časovú jednotku, značne skresľujúca.

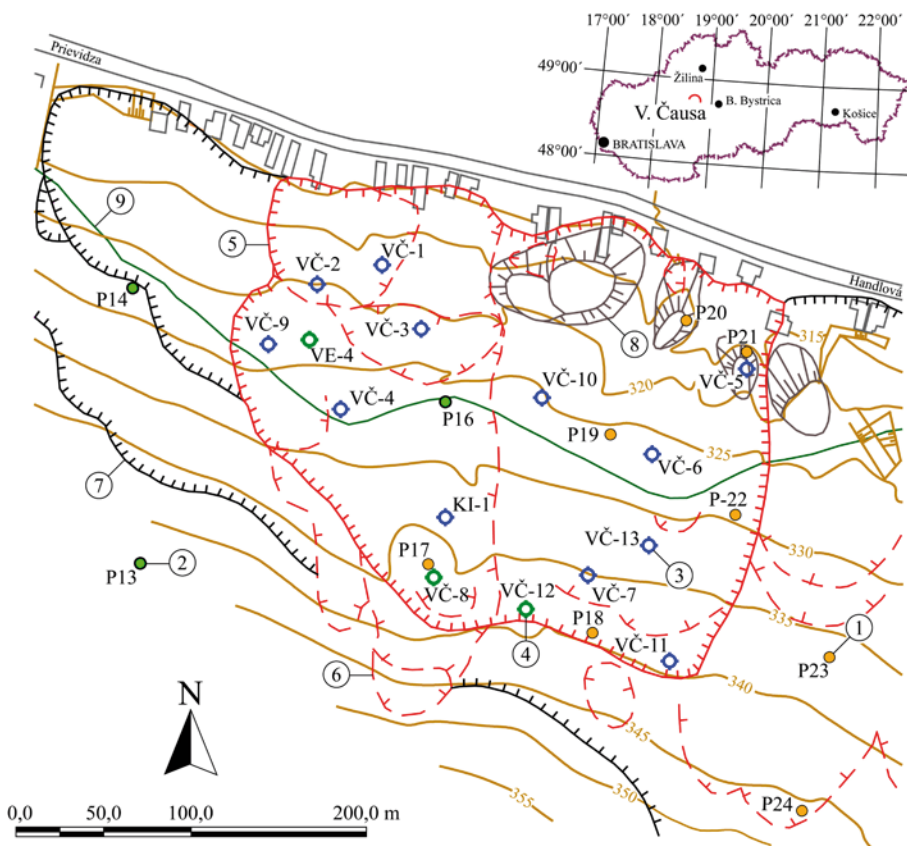
- I keď prepočet na rýchlosť pohybu má svoje zdôvodnenie (možnosť porovnania pohybovej aktivity v rôznych lokalitách, ale i v rámci jedného zosuvného územia), domnievame sa, že vyjadrenie hodnôt absolútnych nameraných posunov a ich hodnotenie bude v konečnom dôsledku výstižnejšie.

- Je prirodzené, že pri meraniach s frekvenciou cca 1 meranie za rok sa pri ich zhodnocovaní v každom prípade dopúšťame vedomých zjednodušení a nepresností – elimináciu týchto skutočností môžu zabezpečiť iba merania s vyššou frekvenciou alebo – v ideálnom prípade – kontinuálne merania.

Porovnanie výsledkov rôznych metód hodnotenia meraní

Stručná charakteristika modelovej lokality

Na porovnanie výsledkov hodnotenia pohybovej aktivity obidvomi opísanými metódami sme vybrali zosuvnú lokalitu nad južnou časťou obce Veľká Čausa, na severovýchodných svahoch Vtáčnika. Ide o známe zosuvné územie, na ktorom došlo v posledných desaťročiach k opätovnej aktivizácii zosuvného pohybu, v dôsledku čoho sa uskutočnilo niekoľko etáp prieskumu a realizácie vybraných sanačných opatrení. Vďaka týmto skutočnostiam existuje v lokalite pomerne bohatá sieť pozorovacích



Obr. 2. Zosuvné územie v južnej časti obce Veľká Čausa (spracované podľa Jadroňa et al., 2000 a Wagnera et al., 2002). 1 – geodetické body; 2 – geodetické body použité pri hodnotení nameraných posunov (obr. 3); 3 – inklinometrické vrty; 4 – inklinometrické vrty použité pri hodnotení nameraných deformácií (obr. 4); 5 – ohraničenie aktívneho zosuvu; 6 – zosuvné stupne a zátrhy; 7 – staršie zosuvy; 8 – premiestnené bloky vulkanitov; 9 – predpokladaná hranica prekrytej štrkovej terasy.

Fig. 2. Landslide area in the southern part of the Veľká Čausa village (according to Jadroň et al., 2000 and Wagner et al., 2002). 1 – geodetic points; 2 – geodetic points used in the evaluation of the measured displacements (Fig. 3); 3 – inclinometric boreholes; 4 – inclinometric boreholes used in the evaluation of the measured deformations (Fig. 4); 5 – boundary of active landslide; 6 – landslide steps and cracks; 7 – older landslides; 8 – shifted volcanite blocks; 9 – assumed border of buried terrace gravel accumulation.

bodov, ktoré sú monitorované sporadicky už od roku 1975 (geodetické merania) a systematicky od roku 1996, keď bola lokalita zaradená do súboru zosuvov monitorovaných v rámci riešenia už spomínanej úlohy ČMS GF.

Z geologického hľadiska je širšie územie zosuvnej lokality budované andezitmi a aglomerátovými tufmi, ktoré prekrývajú plastické súvrstvie neogénnych sedimentov ležiacich subhorizontálne na paleogénnych flyšových horninách. Uvedená stavba vytvára priaznivé podmienky na vznik a rozvoj svahových porúch. Rigidné polohy vulkanitov v horných častiach svahu sa zabárajú a tlakovo pôsobia na ílovité podložie tvorené neogénymi vrstevnatými ílmi až ílovcami, resp. slieňovcami (Jadroň et al., 2000). Navyše, horné časti svahov predstavujú dobré infiltračné prostredie pre povrchové vody, ktoré sa akumulujú v miestach kontaktu tufov s nepriepustným podložíom. Nahromadená voda preniká do zosuvných hmôt v stredných a spodných častiach svahu, koncentruje sa v nepravidelných priepustných, prevažne piesčitých polohách a vztlakovo pôsobí na nadložné, málo stabilné zosuvné materiály. Zosuvný svah sa teda dotvára v dôsledku neustáleho dosycovania vodou, dotovanou z odľučnej oblasti v jeho hornej časti. Z hľadiska stability svahu však pozitívne pôsobia sedimenty fluviálnych riečnych terás, ktoré sú prekryté zosuvnými materiálmi ílovito-hlinitého zloženia a drénujú významnú časť zosuvného územia (obr. 2).

Výber reprezentatívnych pozorovacích bodov

Hodnotenie pohybovej aktivity vychádzalo z výsledkov geodetických meraní posunov pozorovacích bodov a meraní deformácie inklinometrickej pažnice vo vrtoch metódou presnej inklinometrie, ktoré boli realizované počas obdobia rokov 1997 až 2008. Za tzv. referenčné obdobie na definovanie hraničných hodnôt klasifikačnej stupnice navrhovaného nového hodnotenia považujeme časový úsek rokov 1997 až 2006.

Na zosuvnom území boli určené reprezentatívne monitorovacie body (pre každú z pozorovacích metód tri), na ktorých bolo porovnávané hodnotenie vykonané obidvomi vyššie opísanými spôsobmi. Pri výbere bodov sme sa snažili vychádzať z princípu zohľadnenia doteraz preukázanej pohybovej aktivity bodu, teda nepriamo charakterizovať časti zosuvného územia s odlišnou pohybovou aktivitou. Z tohto dôvodu boli pri analýze hodnotenia výsledkov geodetických meraní vybraté:

- bod s minimálnou pohybovou aktivitou (P 13 – nachádzajúci sa nad odľučnou hranou staršieho zosuvu – obr. 2);
- bod so strednou pohybovou aktivitou (P-14 – nachádzajúci sa v okrajovej časti staršieho zosuvu);
- bod zaznamenávajúci relatívne vysokú aktivitu zosuvného pohybu (P-16 – nachádzajúci sa v prechodovej oblasti najaktívnejšej časti zosuvného územia). Bod P-16 reprezentuje oblasť, v ktorej boli v minulosti – v obdobiach aktivizácie zosuvu – pozorované najväčšie posuny (za obdobie rokov 1975 až 1995 výsledný posun dosiahol až takmer 2,5 m; Jadroň et al., 2000).

Analogický prístup bol zvolený aj pri výbere reprezentatívnych inklinometrických vrtoch. Na základe zistenej hodnoty deformácie boli vybraté vrty, ktoré charakterizujú oblasti:

- s minimálnou pohybovou aktivitou (VČ-12 – nachádzajúci sa v blízkosti odľučnej hrany menej aktívnej, teda východnej časti zosuvu – obr. 2);
- so strednou pohybovou aktivitou (VE-4 – nachádzajúci sa v aktívnejšej, západnej časti zosuvného územia) a
- s pohybovou aktivitou charakterizujúcou relatívne najaktívnejšiu časť zosuvného územia (v blízkosti vrtu VČ-8, ktorý sa nachádza v centrálnej časti zosuvu, niekoľko metrov pod odľučnou oblasťou). Ide o územie, ktoré sa na úrovni šmykovej plochy (v hĺbke cca 13 m) dlhodobo vyznačuje lokálne zvýšenou pohybovou aktivitou. Táto skutočnosť bola overená i stacionárnym meraním vo vrte KI-1, ktorý je od vrtu VČ-8 vzdialený cca 30 m severným smerom (obr. 2; Ondrejka et al., 2011).

Pri hodnotení pohybovej aktivity na základe meraní presnej inklinometrie boli použité hodnoty vektorov deformácií zistené v jednotlivých vrtoch na úrovni šmykových plôch zosuvu.

Porovnanie výsledkov hodnotenia geodetických meraní

Pri analýze hodnotenia výsledkov geodetických meraní (obr. 3) možno konštatovať, že najväčšie rozdiely medzi obidvomi spôsobmi hodnotenia boli zaznamenané v oblasti s najnižšou pohybovou aktivitou (bod P-13). Výsledné malé hodnoty posunov po prepočítaní na priemerné rýchlosti (podľa pôvodnej metódy hodnotenia) môžu v závislosti od dĺžky etapy medzi jednotlivými meraniami ešte viac poklesnúť, a teda i výsledné semikvantitatívne hodnotenie rýchlosti je relatívne nízke (napr. v etape apríl 1997 – máj 1998, bod P-13). Naopak, pri semikvantitatívnom hodnotení absolútnych posunov (v navrhovanej metóde hodnotenia) sa nezohľadňuje rozmer času, navyše intervaly hodnotiacej škály sú odvodené z výsledkov meraní predchádzajúceho (referenčného) obdobia. Vďaka navrhnutej metodike hodnotenia (obr. 1) je teda možné zohľadniť dlhodobý režim pohybovej aktivity v danej oblasti, čo umožňuje i v relatívne stabilnej časti územia (bod P-13) jednoduchšie určiť prejavy vznikajúcej aktivizácie svahového pohybu.

Vo viacerých prípadoch sa však prejavil opačný vzťah – pohybová aktivita, semikvantitatívne vyjadrená na základe rýchlosti pohybu, dosahuje vyššie hodnoty (napr. merania 21. augusta 2002, 11. mája 2004, 26. júna 2006 – obr. 3, bod P-13) ako pohybová aktivita vyjadrená absolútnymi posunmi. Tieto rozdiely súvisia pravdepodobne s veľkosťou intervalov jednotlivých hodnotiacich stupníc. V prípade dosiahnutia priemernej rýchlosti pohybovej aktivity nad $20 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$ je jej podľa pôvodného (staršieho) hodnotenia automaticky priradený druhý stupeň. Treba si však uvedomiť, že namerané posuny zodpovedajúce tejto rýchlosti sú veľmi blízke priemernej hodnote posunov odvodených počas referenčného obdobia. V konečnom dôsledku tieto posuny teda charakterizujú ustálený režim pohybovej aktivity najvrchnejšieho horizontu zosuvných

hmôt v danej oblasti a nepredstavujú náznaky rozvíjajúcej sa pohybovej aktivizácie zosuvu.

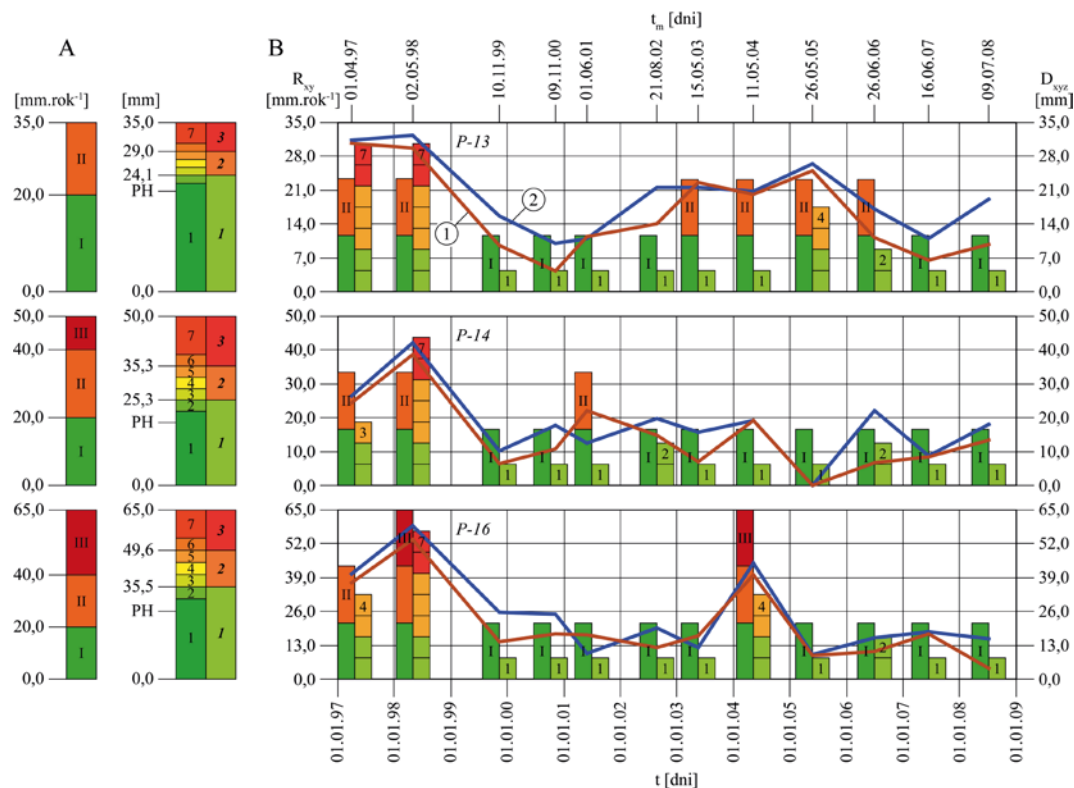
K podobným poznatkom možno dospieť pri analýze hodnotenia pohybovej aktivity územia v okolí bodu P-14.

Pomerne dobrú zhodu možno konštatovať pri analýze obidvoch uskutočnených hodnotení v najaktívnejšej oblasti (bod P-16). Azda najvýznamnejšie sa na výslednom hodnotení prejavil rozsah intervalov jednotlivých stupňov. V prípade klasifikácie absolútnych posunov je rozsah prvého stupňa oveľa väčší ako pri klasifikácii podľa rýchlosti posunu. Spôsobuje to relatívne vysoká hodnota priemerného posunu počas referenčného obdobia. V dôsledku toho došlo k zmene rozsahu intervalov aj pre ostatné hraničné hodnoty. V praxi to znamená, že posuny, ktoré sú blízke priemernej hodnote, poukazujú na relatívne stabilnú situáciu v rámci hodnoteného bodu, a to i napriek tomu, že môžu dosahovať v absolútnej hodnote aj niekoľko cm.

Porovnanie výsledkov hodnotenia inklinometrických meraní

Výsledky analýzy obidvoch spôsobov hodnotenia deformácie zaznamenananej na šmykových plochách sú podobné ako výsledky geodetických meraní. Rozdiely v hodnotení súvisia s diferenciami medzi hraničnými hodnotami klasifikačnej stupnice a tiež s odlišným spôsobom vyjadrenia zaznamenananej deformácie (prepočítaná hodnota rýchlosti, resp. absolútna hodnota deformácie).

Pozornosť si zasluhuje rozdiel v hodnotení deformácie zaznamenaný počas septembrového merania 2006 vo vrte VČ-12 (obr. 4). Zo skutočnosti, že nameraná deformácia sa výrazne odlišuje od meraní realizovaných v predošlom období a výrazne presahuje priemernú hodnotu stanovenú pre daný bod, možno predpokladať, že deformácia s veľkosťou vektora 3,65 mm môže byť indikátorom



Obr. 3. Hodnotenie výsledkov geodeticky nameraných posunov bodov P-13, P-14 a P-16. A – kvantitatívne vyjadrenie dvoch odlišných spôsobov hodnotenia; B – semikvantitatívne hodnotenie zaznamenaných posunov; 1 – spojnice zaznamenananej rýchlosti polohových (xy) posunov vyjadrená v mm · rok⁻¹; 2 – spojnice nameraných priestorových (xyz) posunov vyjadrená v mm; I až III – trojstupňová klasifikácia zaznamenananej rýchlosti posunov geodetických bodov (I – rýchlosť posunu do 20,0 mm · rok⁻¹, II – od 20,0 do 40,0 mm · rok⁻¹, III – nad 40,0 mm · rok⁻¹); 1 až 7 – osemstupňová klasifikácia (8. stupeň nebol dosiahnutý), odvodená na základe zmien nameraných posunov počas referenčného obdobia (podľa obr. 1); 1 až 3 – osemstupňová klasifikácia transformovaná do troch stupňov (1. a 2. stupeň podrobnejšej klasifikácie = 1; 3. až 5. = 2; 6. až 8. = 3); R – rýchlosť zaznamenaného posunu; D – veľkosť nameraného posunu; PH – priemerná hodnota nameraného posunu počas referenčného obdobia na konkrétnom bode; t – časová os; t_m – termíny uskutočnených geodetických meraní.

Fig. 3. Evaluation of results of geodetic measured displacements of points P-13, P-14 and P-16. A – quantitative expression of two different ways of evaluation; B – semi-quantitative assessment of the displacements; 1 – line of observed rate of displacements (xy) expressed in mm · year⁻¹; 2 – line of measured displacements (xyz) expressed in mm; I to III – three-stage classification of recorded rate of displacements of geodetic points (I – rate of displacement is less than 20.0 mm · year⁻¹, II – from 20.0 to 40.0 mm · year⁻¹, III – over 40.0 mm · year⁻¹); 1 to 7 – eight-stage classification (8th stage has not been achieved), derived from changes of the measured displacements during the reference period (according to Fig. 1); 1 to 3 – eight-stage classification transformed into three stages (1st and 2nd stage of detailed classification = 1; 3rd to 5th = 2; 6th to 8th = 3); R – recorded rate of the displacement; D – recorded size of the displacement; PH – the average value of the displacement during the reference period at a particular point; t – timeline; t_m – date of the geodetic measurements.

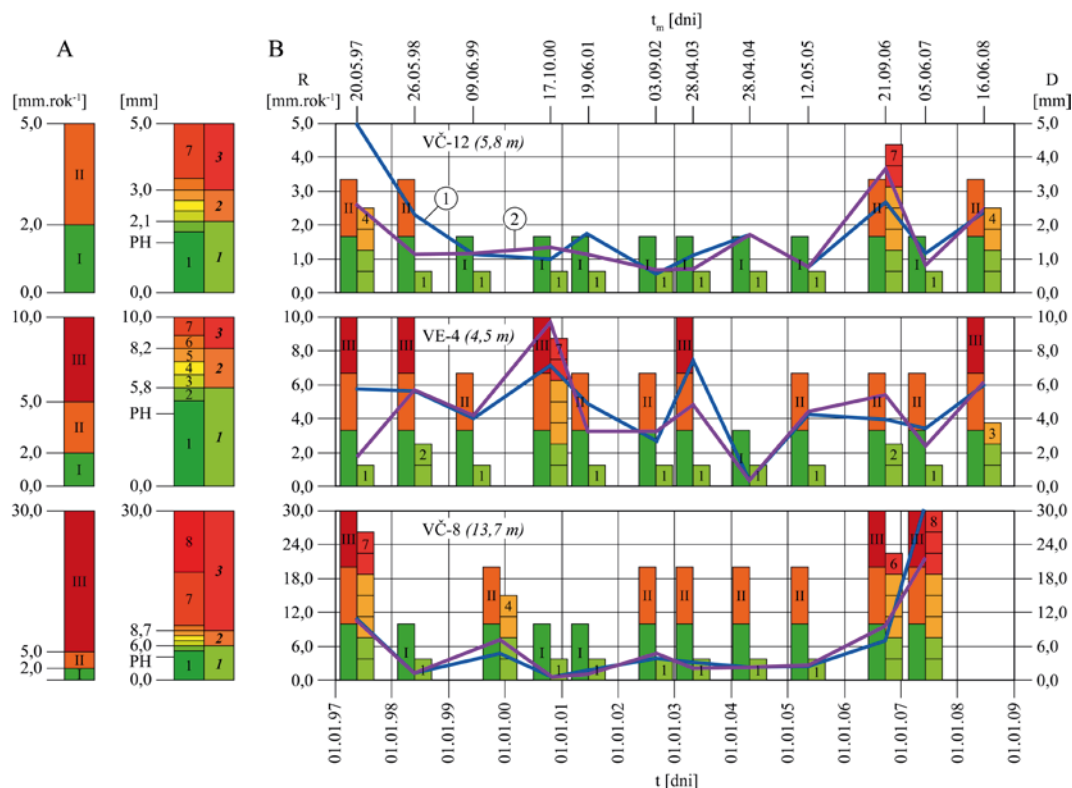
zvýšenej pohybovej aktivity v danom bode na úrovni šmykovej plochy a v danom čase merania.

Opačný prípad bol zaznamenaný pri analýze hodnotenia deformácií vo vrtoch VE-4 a VČ-8. Absolútne deformácie sú vo viacerých prípadoch klasifikované výrazne nižším stupňom, ako hodnotenia rýchlostí. Priemerná deformácia v týchto vrtoch dosahuje hodnoty, ktoré sú podľa pôvodnej (staršej) klasifikačnej stupnice pre priemerné rýchlosti zaradené do tretieho stupňa pohybovej aktivity. Avšak v prípade aplikácie navrhnutého spôsobu hodnotenia dosiahnutá deformácia nemusí nevyhnutne predstavovať riziko rozvoja svahového pohybu, ale, naopak, poukazuje na ustálený režim pohybovej aktivity.

Špeciálnym prípadom je výsledok merania, pri ktorom zistená deformácia prekročí hodnotu 20 mm. Pri takejto deformácii zvyčajne dochádza k porušeniu (ustrihnutiu)

pažnice a tým k vyradeniu vrtu zo súboru monitorovaných bodov. Okrem týchto viac-menej technických problémov takáto deformácia je zároveň aj indikátorom, že na monitorovanom území dochádza k extrémnemu nárastu pohybovej aktivity. Na túto skutočnosť poukazuje výrazný nepomer medzi deformáciami nameranými počas referenčného obdobia a deformáciou zaznamenanou v roku 2007 (vrt VČ-8, obr. 4). V snahe zohľadniť aj takúto skutočnosť bol v detailnej hodnotiacej stupnici vyčlenený 8. stupeň, ktorý charakterizuje extrémne hodnoty deformácie (obr. 1, tab. 1).

Ako ukázali výsledky analýzy, odvodené hraničné hodnoty navrhovanej semikvantitatívnej klasifikácie pohybovej aktivity nemusia byť dokonalým odzrkadlením reality, ale určite prispievajú k objektívnejšiemu a názornejšiemu vyjadreniu výsledkov monitorovacích meraní.



Obr. 4. Hodnotenie deformácií nameraných vo vrtoch VČ-12, VČ-8 a VE-4 metódou presnej inklinometrie. A – kvantitatívne vyjadrenie dvoch odlišných spôsobov hodnotenia; B – semikvantitatívne hodnotenie zaznamenatej deformácie; 1 – spojnice zaznamenatej rýchlosti deformácie vyjadrená v $\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}$; 2 – spojnice nameranej deformácie vyjadrená v mm; I až III – trojstupňová klasifikácia zaznamenatej rýchlosti deformácie na úrovni šmykovej plochy (I – rýchlosť deformácie do $2,0 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$, II – od $2,0$ do $5,0 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$, III – nad $5,0 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$); 1 až 8 – osemstupňová klasifikácia vytvorená na základe zmien deformácie počas referenčného obdobia (obr. 1); 1 až 3 – osemstupňová klasifikácia transformovaná do troch stupňov (1. a 2. stupeň podrobnejšej klasifikácie = 1; 3. až 5. = 2; 6. až 8. = 3); R – rýchlosť zaznamenatej deformácie; D – veľkosť nameranej deformácie počas referenčného obdobia v konkrétnom vrte a hĺbke; t – časová os; t_m – termíny inklinometrických meraní; (5,8 m) – hĺbka pozorovanej deformácie od povrchu terénu.

Fig. 4. Evaluation of deformation measured in boreholes VČ-12, VČ-8 and VE-4 by the inclinometric method. A – quantitative expression of two different ways of evaluation; B – semi-quantitative assessment of the deformations; 1 – line of observed rate of deformations expressed in $\text{mm} \cdot \text{year}^{-1}$; 2 – line of measured deformations expressed in mm; I to III – three-stage classification of recorded rate of deformations on the slip surface (I – rate of deformation is less than $2.0 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$, II – from 2.0 to $5.0 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$, III – over $5.0 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$); 1 to 8 – eight-stage classification, derived from changes of the measured deformations during the reference period (according to Fig. 1); 1 to 3 – eight-stage classification transformed into three stages (1st and 2nd stage of detailed classification = 1; 3rd to 5th = 2; 6th to 8th = 3); R – recorded rate of the deformation; D – recorded magnitude of the deformation; PH – the average value of the deformation during the reference period at a particular borehole and depth; t – timeline; t_m – date of the inclinometric measurements; (5.8 m) – depth of the observed deformation below the ground surface.

Zároveň umožnia porovnávať zmeny v aktivite pohybu rôznych častí hodnotenej svahovej deformácie v rôznych časových obdobiach. Tieto skutočnosti prispievajú k objektivizácii komplexného hodnotenia zosuvných lokalít (Wagner a Pauditš, 2002) na základe výsledkov monitorovacích meraní.

Záver

Požiadavka semikvantitatívneho hodnotenia monitorovacích meraní je podmienená snahou priblížiť výsledky pozorovaní nielen odbornej, ale i širokej laickej verejnosti, ktorej záujem o aktuálny stav svahových deformácií stúpa, zvlášť po katastrofálnych zosuvných udalostiach zaznamenaných v roku 2010. Z tohto hľadiska najvhodnejšou a najzrozumiteľnejšou formou prezentácie výsledkov monitorovania je vypracovanie hodnotiacich škál, pozostávajúcich zvyčajne z troch základných stupňov: stabilný stav – mierne až stredné prejavy aktivity svahového pohybu – výrazné prejavy aktivity svahového pohybu.

Vypracovanie jednotnej kvantitatívnej hodnotiacej škály výsledkov monitorovacích meraní, založenej na hodnotení nameraných geodetických posunov a inklinometrických deformácií, prepočítaných na rýchlosť pohybu, zohralo v predchádzajúcich rokoch určite pozitívnu úlohu a umožnilo porovnávať aktivitu svahových pohybov nielen v rámci častí jednej lokality, ale aj medzi viacerými lokalitami. Jednotne a striktné stanovené hranice hodnôt absolútnych posunov (deformácií) však nevyjadrovali dostatočne citlivo špecifiká jednotlivých meraných bodov z hľadiska ich lokalizácie i technického vyhotovenia. V súvislosti s tým, ako aj vďaka rozsiahlemu súboru nových informácií a poznatkov, sme sa pokúsili odvodiť nový hodnotiaci systém, založený na analýze dlhodobého vývoja zaznamenaných zmien monitorovacích meraní.

Z výsledkov porovnania obidvoch spôsobov hodnotenia monitorovacích meraní vyplýva niekoľko poznatkov:

– Najväčšie rozdiely v semikvantitatívnom hodnotení obidvomi spôsobmi sú podmienené metódou vyjadrenia pohybovej aktivity – teda rýchlosťou posunov (deformácií) oproti ich absolútnym hodnotám. Táto skutočnosť sa výrazne prejaví zvlášť pri rôznej dĺžke intervalu medzi meraniami (pri krátkom časovom intervale priemerná rýchlosť zmien výrazne stúpa).

– Ďalšou významnou skutočnosťou, ktorá sa podpísala pod zmeny v semikvantitatívnom hodnotení, sú vyčlenené hraničné hodnoty klasifikačných stupní. Najväčší rozdiel medzi pôvodným a navrhovaným hodnotením spočíva v základnom kritériu. Kým pri hodnotení rýchlosti sa vychádzalo z presnosti merania, pri hodnotení absolútnych posunov sa zohľadňuje priemerná hodnota posunu (deformácie) počas referenčného obdobia.

– I keď je navrhovaný postup hodnotenia komplikovanejší a vyžaduje analýzu dlhodobých meraní, z porovnania výsledkov vyplýva, že názornejšie vystihuje špecifikum správania jednotlivých meraných bodov, a teda aj objektívnejšie informuje o reálnom stave prostredia v ich okolí (posun, resp. deformácia rovnakej absolútnej hodnoty môže v málo aktívnej oblasti indikovať aktivizáciu svahového pohybu, kým v aktívnej oblasti vyjadruje stabilizovaný stav prostredia).

Vzhľadom na zistené skutočnosti sa domnievame, že navrhovaný spôsob hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní objektívnejšie vyjadruje aktuálny stabilný stav prostredia a umožní prognózovať jeho ďalší vývoj s vyšším stupňom odôvodnenia.

References

- JADROŇ, D., MOKRÁ, M., & WAGNER, P., 2000: Practical applications of monitoring results of an active landslide. *Proc. 8th Conf. on Landslides. Cardiff, Thomas Telford, London*, 763 – 768.
- KLUKANOVÁ, A., & LIŠČÁK, P., 1998: Monitoring of geological hazards of Slovak Republic. In: Moore, D., & Hungr, O. (eds.): *Proc. 8th Int. IAEG Congress, Vancouver. Balkema, Rotterdam*, 1 113 – 1 120.
- ONDREJKA, P., WAGNER, P., & GRÓF, V., 2011: Využitie stacionárneho inklinometra na tvorbu systémov včasného varovania na zosuvoch. *Geotechnika, Praha*, 1 – 2, 19 – 23.
- WAGNER, P., & PAUDITŠ, P., 2002: Complete evaluation of landslide activity. *Proceed. of the XVII. Congress of CBGA, Bratislava, 2002. Geol. Carpath., 53, special issue. CD-nosič*, 6 p.
- WAGNER, P., SCHERER, S., JADROŇ, D., MOKRÁ, M., & VYBÍRAL, V., 2002: Analysis of landslide monitoring results. *Proc. 1st European Conference on Landslides, Prague. A. A. Balkema Publishers, Swets & Zeitlinger, Lisse*, 471 – 476.

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012