

Monitorovanie zosuvov a iných svahových deformácií v období rokov 2002 až 2009

PETER ONDREJKA a PETER WAGNER

Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Monitoring of landslides and other slope deformations in the period from 2002 to 2009

Monitoring of landslides and other slope deformations has been systematically carried out as a part of the project "Partial Monitoring System – Geological Factors" since 1993. Presented paper is based on the results of this project research in the period from 2002 to 2009, which were regularly processed and published on the web as reports (e.g. Wagner et al., 2010). In the conclusion of the paper there are presented some essential facts that influenced the project solving after 2009 (extreme rainfall and related extensive occurrence of the slope movements in 2010). During the monitoring period, in addition to basic results characterizing the state of monitored slope failures, obtained knowledge has enabled to improve some methodological parts of monitoring. Therefore, more attention in the present paper is paid to new knowledge and realized methodology updates, as well as to innovative approach in the own monitoring process. In the summary not only the current state of the set of monitored slope failures is characterized in brief, but perspectives of the monitoring of selected, the most significant localities, are discussed.

Key words: monitoring, landslides, creep, rock fall, evaluation of the stability condition

Úvod

V predložennom príspevku sú spracované výsledky monitorovania svahových deformácií, ktoré boli získané v predchádzajúcom období riešenia úlohy, t. j. od roku 2002. Ide najmä o výsledky významne ovplyvňujúce metodickú stránku riešenia úlohy v rámci monitorovania svahových porúch zo skupiny zosúvania a náznakov rúťivých pohybov. Vzhľadom na skutočnosť, že v predchádzajúcom období už boli prezentované podrobné informácie o monitorovaných lokalitách (vrátane opisu geologickej stavby s reprezentatívnymi geologickými profilmi), ako aj o metodike ich monitorovania (Wagner et al., 2000, 2002; Klukanová a Liščák, 1998 a ďalšie), v predkladanom príspevku sú len pre zrozumiteľnosť stručne zopakované viaceré základné informácie. Nosná časť príspevku je venovaná niektorým inovatívnym metodickým prístupom, ktoré bolo možné uplatniť pri budovaní systému včasného varovania na zosuvoch, ako aj pri optimalizácii hodnotenia nameraných parametrov. Zároveň sú v predložennom príspevku zosumarizované zmeny, ktoré sa dotkli súboru pozorovaných lokalít v období posledných rokov. V závere, na základe zhodnotenia najdôležitejších výsledkov pozorovania a získaných skúseností, je navrhnutý ďalší postup monitorovania, ktorý z hľadiska súčasných poznatkov možno považovať za optimálny.

V súvislosti s mimoriadnymi zrážkovými úhrnmi, zaznamenanými v roku 2010, ktoré okrem rozsiahlych

záplav iniciovali aj vznik a rozvoj viac ako 550 zosuvov na území Slovenska (Liščák et al., 2010), stúpol význam monitorovania nestabilných svahov, a to najmä v oblastiach, kde zosuvy predstavujú priamu hrozbu pre človeka, prípadne pre jeho aktivity. Viaceré z týchto zosuvov boli zaradené do súboru monitorovaných lokalít a od roku 2011 sa v nich už vykonávajú pravidelné monitorovacie pozorovania.

Metodika riešenia

Z metodického hľadiska sa pri riešení úlohy uplatňuje tzv. bodový charakter monitorovania, pri ktorom sa pozorujú vybrané reprezentatívne lokality súborom rôznych monitorovacích metód a namerané hodnoty sa spracovávajú a prezentujú rôznymi spôsobmi. Pôvodným zámerom bolo výsledky získané monitorovaním v určitej lokalite extrapolovať do širšieho územia, ktoré má analogický charakter geologickej stavby a klimatických pomerov. No ukázalo sa, že táto intencia je vzhľadom na nedostatočne hustú sieť monitorovaných lokalít a veľkú premenlivosť geologických i klimatických pomerov nereálna. Z tohto dôvodu sú výsledky monitorovania hodnotené len v rámci jednotlivých lokalít, pričom je snaha odvodzovať vzťahy medzi pozorovanými veličinami. V rámci takéhoto postupu riešenia k základným metodickým krokom patrí výber reprezentatívnych lokalít, ďalej odvodenie optimálnych metód ich monitorovania a výber vhodných spôsobov spracovania a prezentácie získaných údajov.

Tab. 1
 Prehľad monitorovacích aktivít v rokoch 2002 až 2009 v jednotlivých lokalitách svahových pohybov
 A view of monitoring activities at various slope movement locations since 2002 till 2009

Typ SvP		Monitorovacie metódy												
Por. č.	Lokalita	HPV	HPV _k	Q	GEO	INC	PRN	PEE	TM	DM	FG	MZ	SP	
Zosúvanie														
1	Veľká Čausa	P	P	P	P	P	P-06	P	–	–	–	–	–	
2	Handlová-Morovnianske sídl.	z03	z03	z03	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
3	Handlová-Kunešovská cesta	P	–	P	03-07	P	–	P	–	–	–	–	–	
4	Fintice	P	z04	–	P	P	–	P	–	–	–	–	–	
5	Dolná Mičiná	P	z02	P	–	P	P-03	P	–	–	–	–	–	
6	Lubietová	P	–	P	P-04	–	–	–	–	–	–	–	–	
7	Slanec TP	P	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
8	Handlová-1960/1961	P	–	P	P-05	P	–	P	–	–	–	–	–	
9	Okoličné	P	P	P	P	P	P-06	–	–	–	–	–	–	
10	Liptovská Mara	P	z03	P	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
11	Bojnice	P	–	–	P	P	–	–	–	–	–	–	–	
12	Kvašov	z05	–	–	–	z05	–	–	–	–	–	–	–	
13	Hlohovec-Posádka	–	–	–	P	–	–	P	–	–	–	–	–	
14	Vištuk	–	–	–	–	–	–	P	–	–	–	–	–	
15	Malá Čausa	P-08	–	P-08	–	P-02	P-04	–	–	–	–	–	–	
Plazenie														
16	Veľká Izra	–	–	–	–	–	–	–	P	–	–	–	–	
17	Sokol	–	–	–	–	–	–	–	P	–	–	–	–	
18	Košický Klečenov	–	–	–	–	–	–	–	P	–	–	–	–	
19	Jaskyňa pod Spišskou	–	–	–	–	–	–	–	z07	–	–	–	–	
Prognózy rútenia														
20	Banská Štiavnica	–	–	–	–	–	–	–	–	P	P	z06	–	
21	Handlová-Baňa	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	z06	–	
22	Demjata	–	–	–	–	–	–	–	–	P	P	z06	–	
23	Starina	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	z06	–	
24	Slov. raj-Pod večným dažďom	–	–	–	–	–	–	–	–	z06	–	–	–	
25	Harmanec	–	–	–	–	–	–	–	–	P	P	–	–	
26	Jakub	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	z06	–	
27	Bratislava-Železná studnička	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	z06	–	
28	Pezinská Baba	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	z06	–	
29	Lipovník	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	z06	–	
30	Slov. raj-Suchá Belá	–	–	–	–	–	–	–	–	06-07	–	–	–	
Iné														
31	Ipeľ – PVE	–	–	–	P	–	–	–	–	–	–	–	P	
32	Handlová-Stabilizačný násyp	z05	–	z05	z05	–	–	–	–	–	–	–	z05	

Vysvetlivky:

Monitorovacie metódy: HPV – meranie hladiny podzemnej vody; HPV_k – kontinuálne meranie hladiny podzemnej vody automatickým hladinomerom; Q – meranie výdatnosti odvodňovacích zariadení; GEO – meranie posunov geodetickými metódami; INC – meranie deformácií metódou presnej inklinometrie; PRN – meranie napätostného stavu metódou povrchových reziduálnych napätí; PEE – meranie poľa pulzných elektromagnetických emisií; TM – dilatometrické merania prístrojom TM-71; DM – dilatometrické merania meradlom Somet a meradlom posunov; FG – merania širším spektrom fotogrametrických metód; MZ – meranie mikromorfologických zmien na povrchu hornín; SP – špeciálne metódy meraní (napr. merania konvergenzie potrubia)

Obdobie monitorovania: P – merania sú vykonávané priebežne (pred rokom 2002 i po roku 2009); P-06 – merania boli vykonávané pred rokom 2002 a ukončené v roku 2006; z03 – merania sa začali realizovať v uvedenom roku (2003); 03-07 – merania sa začali realizovať v roku 2003 a ukončili sa v roku 2007; pomlčkou sú označené merania, ktoré sa v lokalite nevykonávali

Ostatné označenia: SvP – svahová porucha; Por. č. – poradové číslo, ktoré korešponduje s obr. 1

Explanations:

Monitoring methods: HPV – groundwater table levels measuring; HPV_k – continuous measurement of groundwater table level by automatic water stage indicators; Q – measurement of the yield of drainage boreholes; GEO – measuring of displacements by geodetic methods; INC – measurement of deformation by inclinometric method; PRN – measurement of stress-strain state by the method of surface residual stresses; PEE – measuring of the field of pulse electromagnetic emissions; TM – dilatometric measurements by the TM-71 crack-gauge; DM – dilatometric measurements by the portable mechanical crack-gauges (Somet and gauge for displacements); FG – measurement by a wider range of photogrammetric methods; MZ – measurement of micromorphological changes of the rock surface; SP – special methods of measurements (e.g. convergent measurement of the tube)

Monitoring period: P – measurements are performed continuously (before 2002 and after 2009); P-06 – measurements were carried out before 2002 and finished in 2006; z03 – measurements started in that year (2003); 03-07 – measurements started in 2003 and finished in 2007; by dash are marked measurements that are not performed on the locality

Other indications: SvP – slope failure; Por. č. – running number that corresponds to Fig. 1

Výber reprezentatívnych lokalít

Výber lokalít, ktoré sú dostatočne reprezentatívne z viacerých hľadísk, predstavuje prvú a azda najdôležitejšiu podmienku správneho zamerania monitoringu. Pri výbere lokalít bolo nosné kritérium typologické (z ktorého vyplývalo, že v rámci súboru monitorovaných lokalít budú zastúpené základné typy svahových pohybov, t. j. zosúvanie, plazenie a príznaky rútenia), ďalej kritérium regionálnogeologické (na základe ktorého boli do monitorovaného súboru zaradované lokality charakterizované základnými geologickými jednotkami vystupujúcimi na území Slovenska) a v neposlednom rade kritérium ekonomické (podľa ktorého sa do súboru pozorovaných lokalít vyberali svahové poruchy ohrozujúce významné objekty technosféry). Práve posledné z vymenovaných kritérií v najväčšej miere zapríčiňuje určité zmeny v súbore monitorovaných lokalít. Pri monitorovaní lokalít, ktoré sú dlhodobo úspešne stabilizované, resp. ich pozorovanie stratilo prvoradý celospoločenský význam, sa frekvencia pozorovaní znižuje, resp. sa prechádza na úroveň tzv. udržiavacieho monitoringu, zatiaľ čo do súboru pozorovaných lokalít sa zaraďujú aktuálne svahové pohyby, ohrozujúce ľudí a ich majetok.

Ako už bolo uvedené, monitorované lokality možno z typologického aspektu rozdeliť do troch skupín (tab. 1) – zosúvanie, plazenie a náznaky rútenia. Lokality so špecifickou problematikou a osobitými postupmi monitorovania sú zhrnuté v samostatnej skupine.

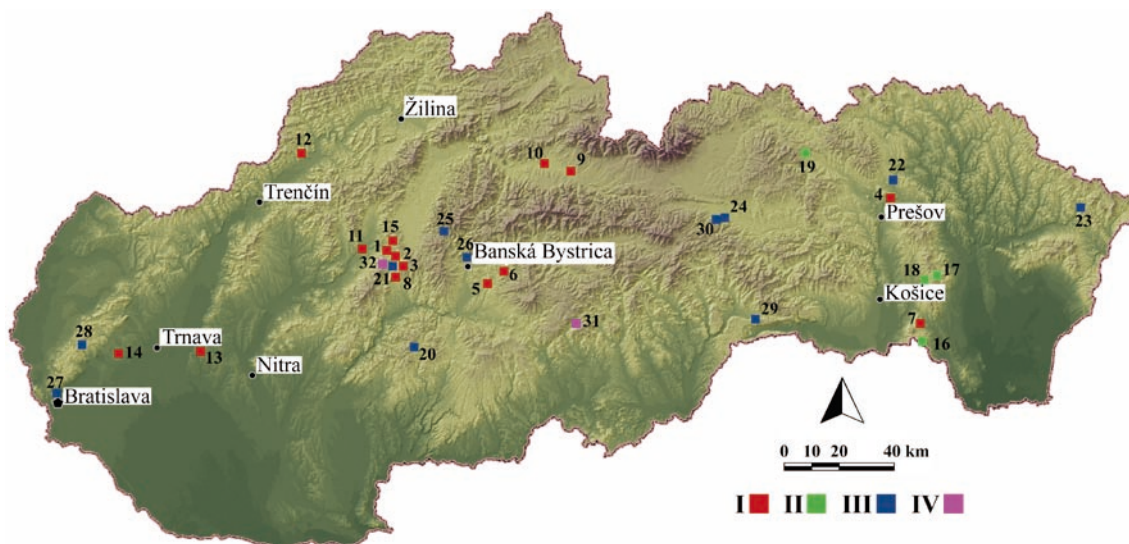
Zosuvné lokality

Prvú a zároveň najväčšiu skupinu svahových pohybov predstavujú lokality zo skupiny zosúvania (obr. 1). V regióne karpatského flyšu, v ktorom je podľa Kopeckého et al. (2008) najväčší výskyt zosuvov v rámci inžinierskogeologických

regiónov na území Slovenska, sú monitorované dve lokality, a to Fintice a Kvašov. Lokalita Fintice sa nachádza na kontakte s regiónom neovulkanitov na úpätí severného výbežku Slanských vrchov (severovýchodne od mesta Prešov). Lokalita Kvašov leží v severnej časti Bielych Karpát, 8 km severne od mesta Ilava a do systému monitorovania bola zaradená od roku 2005 po uskutočnení sanácie aktívneho zosuvu. V obidvoch lokalitách je zosuvom ohrozená obecná zástavba, ako aj miestna infraštruktúra.

V regióne neovulkanitov sú monitorované štyri lokality. V celosvetovom meradle je z hľadiska rozvoja výskumu svahových deformácií najvýznamnejšou lokalita katastrofálneho zosuvu z rokov 1960/1961 v Handlovej. Zosuvné lokality Ľubietová a Dolná Mičiná sa nachádzajú v blízkosti Banskej Bystrice – lokalita Ľubietová je vzdialená od krajského mesta 16 km východným smerom a Dolná Mičiná približne 9 km juhovýchodným smerom. Štvrtou lokalitou je zosuvné územie v katastri obce Slanec nachádzajúce sa na spojnici miest Košice – Trebišov. Zosuv vznikol na svahu, v ktorom je uložených päť tranzitných a jeden medzištátny plynovod, dve línie ropovodov, optické a telekomunikačné káble, vysokotlaková odbočka plynu pre obec Slanec, ako aj nadzemné elektrické vedenie. Lokalita bola zaradená do systému monitorovania po uskutočnení komplexnej sanácie svahu.

Najväčšia časť monitorovaných lokalít sa nachádza v regióne neogénnych tektonických vkleslín. Rozsahom i aktivitou pohybu svahových hmôt je významná lokalita Veľká Čausa, nachádzajúca sa na spojnici miest Handlová a Prievidza. Severne od nej leží zosuvná lokalita Malá Čausa. Monitorovanie tejto lokality bolo vzhľadom na uskutočnené sanačné opatrenia a nedostatočný počet zachovaných monitorovacích objektov, po dohode s orgánmi miestnej samosprávy, skončené v roku 2008. V meste Handlová sa okrem katastrofálneho zosuvu monitorujú ďalšie dve



Obr. 1. Rozmiestnenie monitorovaných lokalít na území Slovenska. Čísla lokalít zodpovedajú číslovaníu v tab. 1. I – zosuvy; II – plazivé pohyby; III – rúťivé pohyby; IV – špeciálny typ.

Fig. 1. Location of monitored localities in Slovakia. The numbers correspond with the numbering of the sites in Tab. 1. I – landslides; II – creep; III – rock fall; IV – special type.

svahové poruchy – prvá z nich ohrozuje severozápadnú časť relatívne rozsiahlej obytnej aglomerácie Morovnianskeho sídliska, druhá sa nachádza v juhozápadnej časti mesta a nepriaznivo vplyva na zástavbu rodinných domov na Kunešovskej ceste. Zosuvný svah v Bojniciach ohrozuje cestu, ktorá spája mesto s obcou Opatovce nad Nitrou. V Liptovskej kotline sú monitorované dve svahové deformácie – prvá z nich, lokalita Okoličné, sa nachádza v intraviláne mesta Liptovský Mikuláš a priamo ohrozuje prevádzku na hlavnej železničnej trati Žilina – Košice. Druhou lokalitou je veľkomarský zosuv na pravostrannom zviazaní zemnej hrádze vodného diela Liptovská Mara.

Jedným z najvýznamnejších frontálnych zosuvov (Nemčok, 1982) je rozsiahle zosuvné územie medzi Seredou a Hlohovcom. Monitorovacie aktivity sa vzhľadom na rozsah tohto územia sústreďujú do oblasti, ktorá priamo súvisí s projektom pripravovaného vodného diela na Váhu (ide o zosuvné územie pri obci Posádka). Poslednou monitorovanou lokalitou v rámci tohto regiónu je frontálny zosuv v obci Vištuk, cca 10 km severovýchodne od Pezinka.

Lokality charakteru rúťivých pohybov

Najdlhšie sa monitorovacie merania (od roku 1995) realizujú na cestných zárezoch významných komunikácií, na ktorých hrozilo uvoľňovanie a pád horninových blokov a úlomkov na vozovku. Prvý zárez sa nachádza v strednotriasových dolomitoch na ceste nad Dolným Harmancom v smere na Martin. Druhou monitorovanou lokalitou je cestný zárez v paleogénnom flyšovom súvrství medzi Prešovom a Bardejovom, severne od obce Demjata. Tretiu monitorovanú lokalitu predstavuje zárez cesty nad Banskou Štiavnicou v smere do obce Štiavnické Bane, v neogénnych andezitových vulkanitoch.

Ďalšie dve lokality v rámci tejto skupiny svahových pohybov sa nachádzajú v turisticky navštevovanej oblasti Prielomu Hornádu v Slovenskom raji. Merania v priestore turistického chodníka doliny Suchá Belá sa vykonávali 2 roky (2006 a 2007) a po uskutočnených opatreniach boli skončené. Priebežne od roku 2006 je pozorovaný rozsiahly skalný blok tvorený strednotriasovými vápencami, ktorý ohrozuje turistický chodník v miestach označenej zastávky „Pod večným dažďom“.

Špeciálne postavenie v tejto skupine svahových deformácií majú lokality, v ktorých sa sleduje postup zvetrávania na povrchu skalného masívu a boli do skupiny monitorovania náznakov rúťivých pohybov zaradené z pôvodného subsystému monitorovania zvetrávacích procesov. Ide v podstate o vykonávanie doplnujúcich meraní, ktorých výsledky podávajú informáciu o vývoji zvetrávania a porušovania skalných a poloskalných hornín. Súbor monitorovaných lokalít sa nachádza v rozmanitých litologických typoch hornín. Treba však poznamenať, že v prostredí citlivejšom na pôsobenie procesov dochádza vplyvom zvetrávania v relatívne krátkom čase k uvoľňovaniu osadených monitorovacích bodov a v dôsledku toho k skončeniu monitorovacích meraní. Merania sa počas prezentovaného obdobia od roku 2006 vykonávali

v šiestich lokalitách (Handlová-Baňa, Starina, Jakub pri Banskej Bystrici, Bratislava – železničná zastávka Železná studnička, Pezinská Baba a Lipovník – tab. 1). Vzhľadom na skutočnosť, že metodika práce, ako aj niektoré čiastkové výsledky monitorovania boli uverejnené vo viacerých odborných článkoch (Jánová a Liščák, 2001, 2002), v predložení článku tejto metóde pozornosť nevenujeme.

Lokality charakteru plazenia

Monitorovanie pomalého plazivého pohybu je realizované v štyroch lokalitách (Petro et al., 1999, 2004). Tri lokality monitorované v priestore Slanských vrchov prevažne od prvej polovice 90. rokov majú charakter blokových rozpadlín. Na prvej z nich, označenej ako Veľká Izra a nachádzajúcej sa v južnejšej časti Slanských vrchov, bol pohyb monitorovaný v dvoch paralelných trhlínach medzi okrajovými blokmi, tvorenými striedajúcimi sa andezitmi a brekciami lávových prúdov s autochtónnymi pyroklastikami, ležiacimi na plastických ílovitých sedimentoch. Druhá lokalita – Sokol, sa nachádza severnejšie, vo východnej časti pohoria na okraji centrálnej vulkanickej zóny strato-vulkánu Strechový vrch v doline Bačkovského potoka. Plazivý pohyb je monitorovaný v trhlínach medzi okrajovými blokmi budovanými andezitmi lávového prúdu, striedajúcimi sa s autochtónnymi pyroklastikami, ležiacimi na propylitizovaných a silno brekciovitých andezitoch. Na západnej strane pohoria sa v okrajovej časti strato-vulkánu Strechový vrch v prostredí andezitového lávového prúdu nachádza tretia lokalita – Košícký Klečenov.

Posledná lokalita je situovaná na severovýchodnom okraji Levočských vrchov, SSV od obce Brutovce. Ide o jaskyňu, ktorá sa vyvinula v paleogénnych pieskovcoch bielopotockého súvrstvia. Lokalita je monitorovaná od roku 2007.

Uvedený prehľad zodpovedá stavu, v akom sa súbor monitorovaných lokalít nachádzal v hodnotenom období rokov 2002 až 2009. Oproti zloženiu súboru, ktorý bol prezentovaný pri hodnotení predchádzajúcej etapy monitorovania do roku 2002 (Wagner et al., 2002), došlo v zastúpení monitorovaných lokalít k viacerým zmenám. Monitorovanie bolo pozastavené v niekoľkých zosuvných lokalitách – Diviaky nad Nitricou (vzhľadom na monitorovaním overený stabilný stav svahu), Harvelka a Klieština (v dôsledku poklesu celospoločenského významu lokalít), Oravský Podzámok a obec Slanec (v dôsledku významného poškodenia monitorovacej siete) a Žilina-Dubeň, kde monitorovanie prebrala iná organizácia, ďalej v lokalite cestného zárezu pri obci Huty (kde bola vykonaná sanácia zárezu) a v rámci lokalít charakteru plazenia bolo skončené monitorovanie v lokalite Ľubochňa-Havran (v dôsledku poklesu významu lokality a častých poškodení meracieho prístroja).

Do subsystému Zosuvy a iné svahové deformácie boli zaradené aj lokality monitorovania stabilitného stavu územia projektovanej prečerpávacej vodnej elektrárne Ipeľ a Stabilizačného násypu v Handlovej. Vzhľadom na to, že ide o špecifický charakter lokalít a metód monitorovania, v príspevku sa nimi nezaobráame (základné informácie

o lokalitách a výsledkoch monitorovacích meraní sú uverejnené v správach dostupných na internete – Wagner et al., 2009).

Metódy monitorovania a aktuálne trendy ich aplikácie

Keďže opis metód monitorovania je uvedený vo viacerých publikáciách (Wagner et al., 1996, 2000), v ďalšej časti sa sústreďujeme iba na charakteristiku novších monitorovacích metód a postupov, zavádzaných do systému monitorovania v posledných rokoch (Wagner et al., 2010).

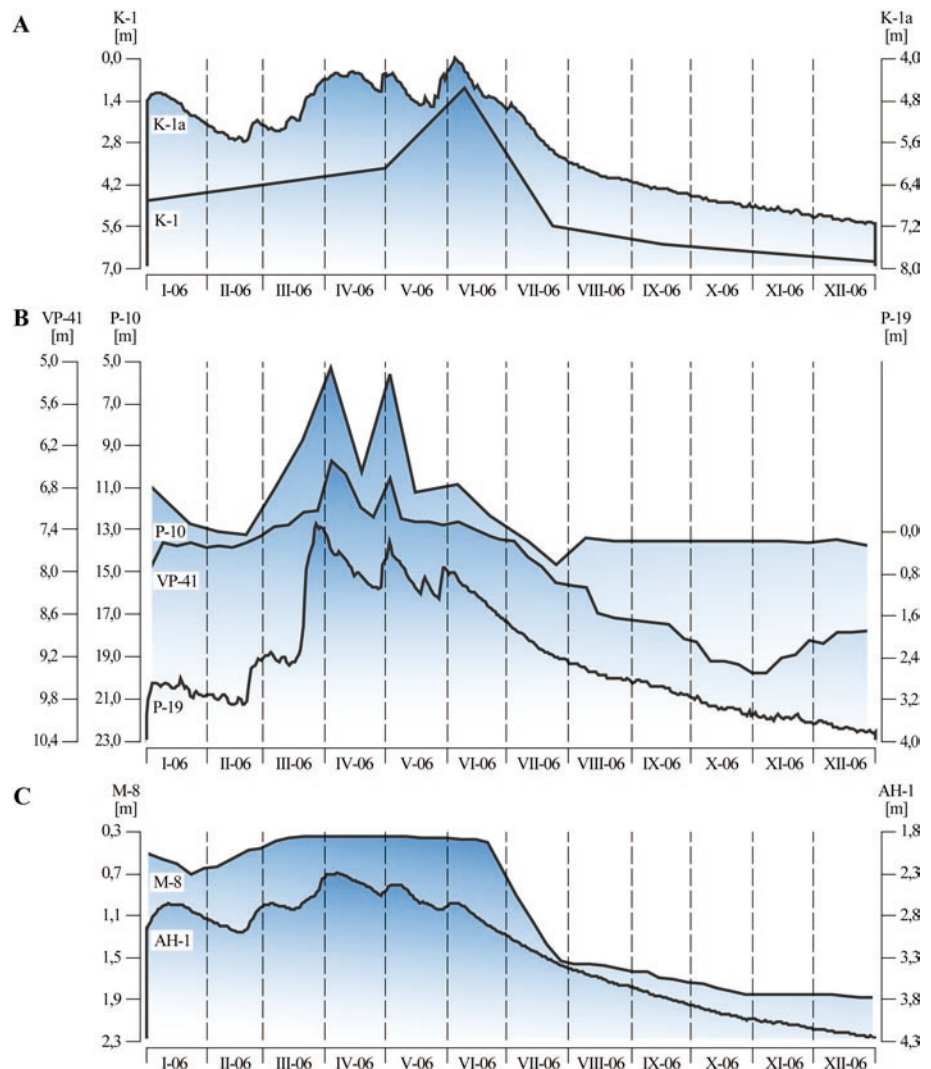
Režimové pozorovania zmien hĺbky hladiny podzemnej vody

V prípade monitorovania najvýznamnejšieho zosuvotvorného faktora – hĺbky hladiny podzemnej vody – sú významné rozdiely vo frekvencii, s akou je tento parameter na jednotlivých svahových poruchách sledovaný. Začínajúc od občasných nepravidelných meraní (raz za rok, prípadne s ešte dlhším časovým intervalom), ktorých účelom je viac-

-menej inventarizácia monitorovacej siete a jej aktuálneho stavu (merania takéhoto charakteru sa vykonávajú napríklad v lokalite Handlová-zosuv z roku 1960/1961), sa monitorovacie merania realizujú pozorovateľmi s frekvenciou raz za dva mesiace, mesiac, dva týždne, resp. týždeň. Je pochopiteľné, že v prípade takého významného faktora, akým sú zmeny úrovne hladiny podzemnej vody, je potrebné zabezpečiť čo najdokonalejšiu informáciu o jeho vývoji. Takúto informáciu nesporne poskytujú automatické hladinoměry, ktoré možno nastaviť na ľubovoľný časový interval záznamu údajov (zvyčajne každú hodinu). Z názorného porovnania zaznamenaných zmien hĺbky hladiny podzemnej vody (obr. 2) vyplýva významný rozdiel v kvalite údajov získavaných pozorovateľom a automatickými hladinomeri. Výsledky prezentované na obrázku sú pritom z vrstev, ktoré sú v rámci zosuvných lokalít situované blízko seba. Je prirodzené, že najväčšie rozdiely sa prejavili pri porovnaní hladín, ktoré boli pozorované s časovým intervalom 2 mesiace a každú hodinu (lokalita Fintice). Počas jedného dvojmesačného obdobia merania boli automatickým hladinomerom s kontinuálnym (hodinovým) záznamom zachytené viaceré významné zmeny. Podobne

Obr. 2. Frekvencia monitorovacích meraní hĺbky hladiny podzemnej vody. **A** – zosuvná lokalita Fintice (K-1a – kontinuálne merania, K-1 – dvojmesačná frekvencia); **B** – zosuvná lokalita Handlová-Morovnianske sídlisko (P-10 – dvojtýždenná frekvencia, VP-41 – týždenná frekvencia, P-19 – kontinuálne merania); **C** – zosuvná lokalita Veľká Čausa (M-8 – jednotýždenná frekvencia, AH-1 – kontinuálne merania).

Fig. 2. The frequency of groundwater level monitoring. **A** – Fintice landslide site (K-1a – continuous measurements, K-1 – two-month frequency); **B** – Handlová-Morovnianske sídlisko settlement landslide site (P-10 – fortnightly frequency, VP-41 – one week frequency, P-19 – continuous measurements); **C** – Veľká Čausa landslide site (M-8 – one week frequency, AH-1 – continuous measurements).



je to aj v prípadoch porovnávania kontinuálnych záznamov s výsledkami meraní vykonávaných v mesačnom a dvojtyždennom intervale. Najlepšie vzájomne súvisia, z pochopiteľných dôvodov, kontinuálne a týždenné merania.

Na základe výsledkov porovnania (obr. 2) sú zosuvné lokality postupne vybavované kontinuálnymi hladinomeri. Od roku 1996 boli hladinomery postupne inštalované do vybraných vrtov vo viacerých zosuvných lokalitách (tab. 2).

V roku 2005 boli na zvýšenie pohotovosti a komplexnosti monitorovania v niektorých zosuvných lokalitách nainštalované automatické hladinomery, ktoré okrem štandardného merania hĺbky a teploty podzemnej vody podávajú informáciu aj o veľkosti zrážkových úhrnov a teplote vzduchu v lokalite. Navyše, opísané zariadenia umožňujú on-line spojenie s operátorom v stredu monitorovania a zároveň poskytujú možnosť definovania troch limitných úrovní pre hĺbku hladiny podzemnej vody, rýchlosť jej stúpnutia a hodnotu zrážkového úhrnu. Systémy boli nainštalované do novovybudovaných hydrogeologických vrtov v lokalitách Veľká Čausa a Okoličné (tab. 2).

Možnosť nastavenia konkrétnych limitných hodnôt sledovaných parametrov vyvolala viaceré otázky súvisiace s výberom vhodnej metódy na ich odvodenie. Navyše, na zavedenie pripravovaného varovného systému do praxe bolo potrebné overiť odvodené kritické hodnoty pozorovaných parametrov v praktickom riešení. Odvodené úrovne hladiny podzemnej vody bolo možné najlepšie zistiť na základe informácie o tom, akú reakciu (posun hmôt) určitý stav podzemnej vody v zosuvnom území vyvolal.

Paralelne so skvalitňovaním informácií o režime podzemných vôd sa pozornosť zamerala aj na zvýšenie úrovne monitoringu pohybovej aktivity zosuvných hmôt, ktorá je priamym ukazovateľom aktuálneho stabilného stavu zosuvného územia. Prvým krokom, ktorý prispel k lepšej porovnateľnosti výsledkov nameraných rôznymi metódami (geodetickými merania posunov bodov a inklinometrickými merania deformácií vrtnéj pažnice), bolo časové zjednotenie termínov meraní. Od roku 2004 sú merania vykonávané prevažne na konci jarného obdobia (mesiace jún a júl). Zavedenie tejto zásady umožnilo v rámci jednej lokality porovnať výsledky získané viacerými metódami. Zvolený termín meraní umožňuje zaznamenať vplyv klimatických pomerov jarného obdobia (topenie snehovej pokrývky), v ktorom sú dosahované maximálne úrovne hladiny podzemnej vody spôsobujúce zo stabilného hladiska najmenej priaznivý stav zosuvného svahu.

Inštaláciou automatických hladinomerov na sledovanie zmien hladiny podzemnej vody, umožňujúcich definovať jej kritické stavy, vznikla požiadavka aj na zvýšenie frekvencie meraní v prípade pozorovania pohybovej aktivity zosuvných hmôt. Porovnávanie zaznamenaných veľkostí vektorov pohybu pozorovacích bodov za jednoročné, niekedy až dvojročné obdobie, s hodinovými záznamami stavu hladiny podzemnej vody bolo veľmi nepresné. Preto na zahustenie meraní posunov pozorovacích bodov sa popri geodetických meraniach, zabezpečovaných subdodávateľskými organizáciami v prevažne ročnom cykle, začali paralelne vykonávať vlastné merania metódou GNSS, ktorá je

Tab. 2
Obdobia prevádzky automatických hladinomerov s kontinuálnym záznamom hĺbky hladiny podzemnej vody
Periods of automatic water stage indicators operation with a continuous recording of a depth of groundwater table level

Lokalita	Vrt	Obdobie prevádzky	Merané parametre
Veľká Čausa	AH-1	11. október 2005 – do súčasnosti	HPV, T_{voda} , T_{vzduch} , Z (EWS)
	VČ-2	7. november 1996 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}
	VČ-8	7. november 1996 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}
Okoličné	AH-2	12. október 2005 – do súčasnosti	HPV, T_{voda} , T_{vzduch} , Z (EWS)
	J-1	14. jún 1996 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}
	JH-29	14. jún 1996 – 15. február 2002	HPV, T_{voda}
Dolná Mičiná	JM-6	16. apríl 2002 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}
	JM-19	16. apríl 2002 – 23. apríl 2009	HPV, T_{voda}
Liptovská Mara	J-5	18. jún 2009 – 23. marec 2012	HPV, T_{voda}
	J-10	15. máj 2003 – 23. marec 2012	HPV, T_{voda}
	J-19	15. máj 2003 – 23. marec 2012	HPV, T_{voda}
Handlová-Morovnianske sídlisko	P-17	21. november 2003 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}
	P-19	21. november 2003 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}
Fintice	K-1a	27. apríl 2005 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}
	K-2a	27. apríl 2005 – do súčasnosti	HPV, T_{voda}

Poznámka: HPV – zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody; T_{voda} – teplota vody v hĺbke umiestnenia sondy; T_{vzduch} – teplota vzduchu; Z – veľkosť zrážkových úhrnov; EWS – zariadenie umožňuje definovanie limitných hodnôt a po ich prekročení vysiela varovnú správu

Notice: HPV – changes of the groundwater table level; T_{voda} – water temperature at a depth of probe setting; T_{vzduch} – air temperature; Z – precipitation totals; EWS – the device allows definition of the limit values and, after their exceeding, transmits a warning message

z hľadiska technickej realizácie pomerne jednoduchá a umožňuje realizovať merania s vysokou presnosťou, postačujúcou na potreby monitoringu. Pilotnou lokalitou, v ktorej sa táto metóda začala realizovať, bola lokalita Veľká Čausa. Základné meranie bolo uskutočnené 17. júna 2008. Samotnému meraniu však predchádzalo zahustenie existujúcej monitorovacej siete novými pozorovacími bodmi, umožňujúcimi sledovať oblasti, ktoré sa v pozorovanom období vyznačovali zvýšenou dynamikou zmien povrchu terénu.

Metóda GNSS je založená na simultánnom meraní dvoch bodov, na základe ktorého je odvodený priestorový vektor (základnica) medzi referenčným a sledovaným bodom. Na dosiahnutie milimetrovej presnosti je využívaná statická metóda, pri ktorej sú prijímače na obidvoch koncoch základnice statické, teda sa nepohybujú. Presnosť určenia základnice závisí od viacerých faktorov, napr. dĺžky spojnice bodov, dĺžky času observácie, počtu simultánne meraných družíc, ich konfigurácie, resp. kvality prijímaného signálu. Jedinou podmienkou úspešnej realizácie merania je nezatienený, podľa možnosti spojitý príjem signálov minimálne zo 4 družíc na meraných bodoch (Ondrejka et al., 2011a). Uvedená podmienka do značnej miery ovplyvnila výber lokalít, v ktorých je možné realizovať tento typ merania. Po úspešnom odskúšaní metódy v lokalite Veľká Čausa sa ako najvhodnejší na aplikáciu merania metódou GNSS javil nezarastený zosuvný svah na území Handlová-Kunešovská cesta. Žiaľ, existujúce referenčné body, nachádzajúce sa vo vzdialenosti do 5 km od lokality, boli z viacerých dôvodov nepoužiteľné (zanedbaná údržba, situovanie pod stromom alebo priamo v poraste), v dôsledku čoho nebolo možné merania v lokalite realizovať.

V súčasnom období sa monitorovanie meraním posuvov bodov metódou GNSS realizuje okrem lokality Veľká Čausa (12 bodov) na zosuvnom území medzi Seredom a Hlohovcom (nová lokalita Vinohrady nad Váhom, časť Paradič – 5 bodov a pôvodná lokalita pri obci Posádka – 7 bodov), v novej lokalite Handlová-Žiarska ulica (1 pozorovací a 1 referenčný bod) a vo Finticiach (5 pozorovacích bodov a 1 referenčný bod). Frekvencia meraní touto metódou dosahuje spravidla 3 etapy merania za rok. Podrobnému opisu uvedeného spôsobu monitorovania pohybovej aktivity, ako aj vyhodnoteniu výsledkov meraní na zosuvnom území nad obcou Veľká Čausa sa venujú Ondrejka et al. (2011a).

Merania deformácií

Zvýšenie frekvencie meraní pohybovej aktivity na sieti geodetických bodov do značnej miery prispelo k vytvoreniu lepšej predstavy o vývoji svahového pohybu, avšak pre budovaný varovný systém bolo potrebné zabezpečiť merania, ktoré by boli kompatibilné, resp. z časového hľadiska porovnateľné s meraniami hladiny podzemnej vody v hodinovom intervale. Výrazný progres v monitorovaní pohybovej aktivity bol zabezpečený vďaka ústretovosti konateľa firmy Geoexperts, spol. s r. o., Ing. V. Grófa, PhD., ktorý na účely monitorovania modelovej lokality Veľká Čausa zapožičal našej organizácii

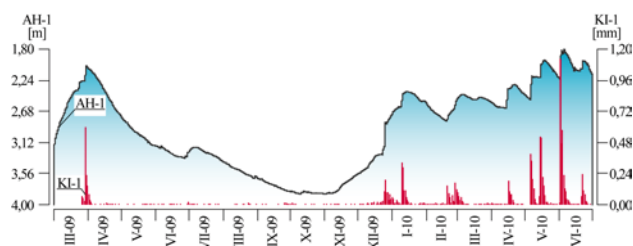
stacionárny inklinometer. Prístroj bol inštalovaný v novo-vybudovanom inklinometrickom vrte (KI-1), v priestore pohybovo najaktívnejšej časti zosuvného územia. Pred samotnou inštaláciou bolo potrebné uskutočniť viacero etáp meraní za účelom jednoznačnej identifikácie hĺbky aktívnej šmykovej plochy. Vyhodnotenie meraní preukázalo existenciu šmykovej plochy v hĺbke 11,5 m od povrchu terénu. Stacionárny inklinometer zaznamenával deformáciu pažnice inklinometrického vrtu v tejto hĺbke v období od marca 2009 do augusta 2010 v intervale 1 deň (na túto frekvenciu záznamov bol prístroj nastavený). Meranie bolo ukončené v dôsledku stabilizácie nepriaznivej situácie súvisiacej s mimoriadne vlhkým rokom 2010, keď boli zaznamenané také hodnoty deformácií, ktoré mohli porušiť inklinometrický vrt a v súvislosti s tým poškodiť inklinometrickú sondu (Ondrejka et al., 2011b).

Systémy včasného varovania

Ako už bolo naznačené v predošlej časti, cieľom realizovaných zmien a doplnkov v metódach monitorovania bolo skvalitnenie prognózovania aktivizácie pozorovaných svahových pohybov a s tým súvisiaci prechod na vyššiu formu monitorovania – t.j. vytvorenie spoľahlivých systémov včasného varovania pred svahovými pohybmi. Včasná predikcia aktivizácie svahových pohybov je nesporne dôležitá pre dotknuté obyvateľstvo a môže prispieť k minimalizácii nákladov potrebných na včasnú stabilizáciu zosuvného územia.

V praxi ide o široký okruh problémov, pričom azda najdôležitejším je definovanie relevantného a reálne merateľného zosuvotvorného faktora, pre ktorý možno definovať limitné hodnoty. Samozrejme, dôležitý okruh otázok v procese tvorby varovných systémov súvisí s technikou zaznamenávania, diaľkového prenosu a pohotovotového vyhodnocovania stavu pozorovaného faktora.

Súčasťou základných otázok tvorby systémov včasného varovania pred zosuvmi je aj problém výberu najvhodnejšej, dostatočne reprezentatívnej lokalizácie varovného systému v rámci monitorovaného zosuvného územia. Konečným článkom v procese uvedenia systému včasného varovania do činnosti je legislatívne zabezpečenie jeho prevádzky, obsahujúce adresár zodpovedných orgánov, postup ich



Obr. 3. Vzťah zmien hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte AH-1 a deformácie zaznamenané stacionárnym inklinometrom na úrovni šmykovej plochy vo vrte KI-1 v lokalite Veľká Čausa.

Fig. 3. Relationship between groundwater table level changes in the borehole AH-1 and deformation recorded by in-place inclinometer at the slide surface in the borehole KI-1 (Veľká Čausa landslide site).

činnosti a mieru zodpovednosti v prípade oznámenia kritického stavu pozorovaného parametra.

Vzhľadom na široký rozsah problematiky, ktorú je potrebné zvládnuť v súvislosti s budovaním systémov včasného varovania, pozornosť venujeme iba tej zložke, ktorá priamo súvisí s odvodením limitných stavov.

Ako už bolo viackrát uvedené, definovanie limitných hodnôt sa logicky opiera o vzťah medzi zmenou hladiny podzemnej vody a veľkosťou pohybovej aktivity zosuvných hmôt v konkrétnom zosuvnom území počas určitého časového obdobia. Na báze dôkladnej analýzy získaných informácií bola snaha odvodiť také limitné stavy, ktoré by indikovali blížiacu sa nestabilitu svahovej poruchy. Pri samotnom riešení boli použité viaceré postupy, ktoré do značnej miery odrážali technické možnosti aplikovaných monitorovacích metód, hustotu získaných údajov a kvalitu monitorovacej siete. Použité postupy boli založené na rôznych prístupoch – od najjednoduchších empirických hodnotení, pri ktorých sa využívali dlhodobé časové rady údajov o zmenách hladiny podzemnej vody a vyčleňovali sa obdobia jej maximálnych stavov (Ondrejka et al., 2005; Wagner et al., 2006), cez v praxi najčastejšie používané geotechnické riešenia formou stabilitných analýz pri rôznych úrovniach hladiny podzemnej vody (Ondrejka, 2009), až po pomerne komplikované komplexné analýzy väčšieho množstva relevantných parametrov týkajúcich sa režimu podzemnej vody a pohybovej aktivity (Ondrejka, 2010, 2012). Výsledky riešení, teda odvodené limitné hodnoty, boli verifikované na viacerých zosuvoch.

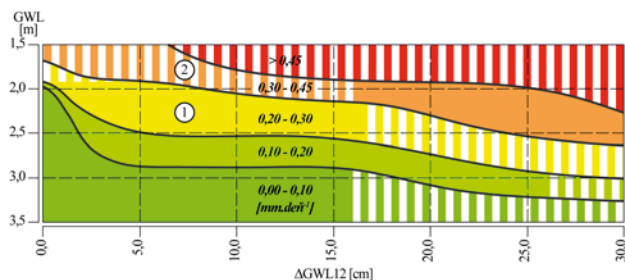
Na použitie v systéme včasného varovania sa preukázali ako najvhodnejšie tie limitné hodnoty, ktoré boli odvodené na základe komplexnej analýzy parametrov režimu podzemnej vody a pohybovej aktivity. V prípade komplexnej analýzy možno zjednodušene limitné hodnoty odvodiť na základe hodnotenia troch nezávislých parametrov. Prvý parameter vyjadruje stav aktuálnej úrovne hladiny podzemnej vody v jednotlivých pozorovacích vrtoch voči určitým limitným hodnotám, ktoré predstavujú maximálne stavy hladiny podzemnej vody v referenčnom období. Druhý parameter vyjadruje výskyt maximálnych hladín podzemnej vody dosiahnutých v predchádzajúcom období (21 predchádzajúcich dní). Tretím parameterom je doba, počas ktorej sa vyskytovali určité (nepriaznivé) stavy hladiny podzemnej vody, klasifikovaná semikvantitatívnym spôsobom. Nevýhodou navrhnutého postupu je, že na odvodenie spoľahlivých limitných hodnôt je potrebný relatívne dlhý časový rad záznamov o režime podzemnej vody a pohybovej aktivite, pričom súbory meraní musia spĺňať prísne kvalitatívne kritériá (Ondrejka, 2012).

Priama korelácia kontinuálneho záznamu zmien hladiny podzemnej vody s kontinuálnym záznamom deformácií umožnila vytvoriť relatívne jednoduchý, no veľmi funkčný dostatočne odôvodnený a prakticky použiteľný systém na definovanie limitných úrovní hladiny podzemnej vody. Tento postup bol odvodený na základe kontinuálnych záznamov z automatického hladinomeru a stacionárneho inklinometra. Prístroje boli umiestnené vo dvoch vrtoch, situovaných cca 30 m od seba na vybranej, zo stabilného hľadiska veľmi citlivej časti zosuvu vo Veľkej Čauze.

Záznamy z prevádzky obidvoch prístrojov poukazujú na skutočnosť, že významnejšie deformácie namerané inklinometrickou sondou (desatiny mm za deň) súvisia s výraznejšími režimovými zmenami hladiny podzemnej vody. Vďaka anomálnym klimatickým udalostiam, ktoré boli zaznamenané najmä počas jarného obdobia roku 2010, bolo možné pozorovať aj výrazné zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody. V zosuvnom masíve toto kolísanie podzemnej vody generovalo napätia, ktoré na šmykových plochách spôsobovali zvýšené hodnoty deformácie. V extrémnom prípade nameraná deformácia presiahla hodnotu 1 mm za deň (obr. 3).

Z dvojice kontinuálnych záznamov na obr. 3 vyplýva, že pohybová aktivita úzko súvisí s náhlymi zmenami hĺbky hladiny podzemnej vody. Monitorovaním sa potvrdilo, že rýchle vzostupné zmeny hladiny podzemnej vody sa prakticky okamžite prejavujú zvýšenými hodnotami deformácie inklinometrickej pažnice. Najväčšia deformácia ($1,0673 \text{ mm} \cdot \text{deň}^{-1}$) bola spôsobená stúpnutím hladiny podzemnej vody o 24 cm počas 12-hodinového obdobia (údaje boli zaznamenané 1. júna 2010). Záznamy z prevádzky stacionárneho inklinometra tiež poukázali na skutočnosť, že veľkosť deformácie nie je priamo úmerná veľkosti nameraných náhlych zmien hladiny podzemnej vody, ale je priamo determinovaná aktuálnou hĺbkou podzemnej vody (zaznamenanou pred samotnou náhlou zmenou). Znamená to, že so znižujúcou sa hĺbkou hladiny podzemnej vody pod terénom (aj pri rovnakej veľkosti náhleho stúpnutia hladiny podzemnej vody) veľkosť deformácie narastá.

Uvedené skutočnosti vytvorili priestor na definovanie určitých závislostí medzi hĺbkou hladiny podzemnej vody, veľkosťou jej náhle zmeny a veľkosťou deformácie.



Obr. 4. Vzťah zmien hladiny podzemnej vody a deformácie na šmykovej ploche. 1 – oblasť s overeným vplyvom režimových ukazovateľov na dosiahnutú deformáciu (vyjadrená súvislou farebnou plochou); 2 – oblasť s predpokladaným vplyvom režimových ukazovateľov na dosiahnutú deformáciu (vyjadrená farebnými prúžkami); GWL – hĺbka hladiny podzemnej vody pod povrchom terénu; ΔGWL_{12} – stúpnutie hladiny podzemnej vody počas dvanástich hodín; 0,00 – 0,10 – očakávaná veľkosť deformácie na šmykovej ploche v mm za 24 hod.

Fig. 4. Relationship between groundwater table level changes and deformation on the slide surface. 1 – an area with a verified impact of the regime indicators on reached deformation (expressed as a continuous coloured area); 2 – area of assumed impact of the regime indicators upon reached deformation (expressed by colour strips); GWL – groundwater table level depth below ground surface; ΔGWL_{12} – increase of the groundwater table level within the last twelve hours; 0.00 – 0.10 – expected value of deformation on the slide surface in mm per 24 hours.

Z podkladov získaných monitorovaním režimu hladiny podzemnej vody (pretransformovaných do dvanásť-hodinových intervalov) a vývoja deformácie pažnice na úrovni šmykovej plochy bolo odvodených päť charakteristických stavov, ktoré umožňujú kvantifikovať orientačnú veľkosť očakávanej deformácie (obr. 4; Ondrejka et al., 2011b).

Okrem definovaných podmienok pre hĺbku a rýchlosť stúpnutia hladiny podzemnej vody, na základe ktorých možno aj po demontáži stacionárneho inklinometra odvodiť predpokladanú veľkosť deformácie na úrovni šmykovej plochy, boli nastavené aj hodnoty pre systém včasného varovania. Systém umožňuje vyslať varovnú správu pri dosiahnutí zadefinovaných podmienok. Varovanie má formu textovej správy a je rozosielené na predvolené telefónne čísla.

Merania napätostného stavu

Jedným z postupov hodnotiacich napätostný stav prostredia, ktorého výsledky sa úspešne uplatnili pri posudzovaní zosuvných území, je meranie zmien aktivity poľa pulzných elektromagnetických emisií (PEE). Metóda vychádza z meraní prirodzeného (impulzného) elektromagnetického vlnenia, ktoré vzniká v určitých častiach horninového prostredia pri jeho deformácii v dôsledku pôsobenia mechanického napätia, vyvolaného prírodnými alebo umelými silami (Vybíral a Wagner, 2002). Merania sa systematicky začali vykonávať v zosuvných lokalitách od roku 1995; v období rokov 2002 až 2009 boli realizované v lokalitách Veľká Čausa, Handlová – zosuv z rokov 1960/1961, Dolná Mičiná, Hlohovec-Posádka, Vištuk a Fintice). Frekvencia meraní sa počas riešenia úlohy menila, postupne sa však ustálila na pravidelnom jarnom a jesennom cykle merania.

Získané výsledky poukazujú na skutočnosť, že namerané hodnoty charakterizujú len aktuálny napätostný stav prostredia v momente merania. V snahe skvalitniť informácie o vývoji zmien napätostného stavu sa uvažovalo o zvýšení frekvencie meraní. Z praktických i ekonomických dôvodov sa hustejšie merania metódou PEE (4- až 5-krát ročne) začali realizovať iba vo vybranej lokalite – na zosuvnom území medzi Seredou a Hlohovcom, kde boli doterajšie merania poľa PEE (vzhľadom na geologickú stavbu lokality) najviac preukazné. V ostatných lokalitách bol tento typ meraní po roku 2010 pozastavený. Vyššia frekvencia meraní zmien poľa PEE lepšie charakterizuje vývoj napätostného stavu, čo vytvára nové možnosti hodnotenia stabilitného stavu tohto rozsiahleho zosuvného územia v budúcnosti – napr. jeho členenie na menšie celky s rôznym stupňom stability na základe podobnosti hodnôt a vývoja aktivity poľa PEE.

Spôsoby spracovania a prezentácie informácií

Najrozšírenejším spôsobom prezentácie primárnych údajov z monitorovacích meraní je vyjadrenie ich zmien v čase (v čom je vlastne obsiahnutá základná podstata monitorovania). Priebeh zmien pozorovaných parametrov

(napríklad premiestnení geodetických bodov, kolísania hladiny podzemnej vody a ďalších) umožňujú analyzovať zákonitosti ich vývoja v čase a odvodzovať trendy, resp. cyklickosť zmien nameraných hodnôt. Prírodnene, že vierohodnosť prognózovania týchto zmien je podstatne vyššia, ak sú potvrdené hodnotami odvodenými z viacerých typov monitorovacích meraní.

Dlhodobé priebehy zmien jednotlivých pozorovaných parametrov sú súčasťou spracovania stabilitného stavu pozorovaných lokalít a z dlhodobého hľadiska vyjadrujú základné (priaznivé alebo nepriaznivé) trendy vývoja tohto stavu.

Hodnotenie výsledkov meraní podľa jednotnej kvantitatívnej hodnotiacej škály

Z hľadiska zrozumiteľnosti a jednoduchého sprístupnenia výsledkov monitorovania pre širokú verejnosť sa primárne údaje zvyčajne účelovo prehodnocujú. Podstatou účelového hodnotenia primárnych (nameraných) údajov je snaha veľmi zjednodušiť, ale s dostatočným stupňom odborného zdôvodnenia zodpovedať na otázku, či je nameraný stav daného parametra z hľadiska aktuálneho stupňa stability svahu priaznivý, menej priaznivý alebo nepriaznivý. V súvislosti s tým bola pre každý z meraných parametrov zostavená trojstupňová škála, v ktorej boli účelovo definované hodnoty parametra zodpovedajúce z hľadiska stability jeho priaznivému, prechodnému (s náznakmi nepriaznivých skutočností) alebo nepriaznivému stavu. Definovanie kritérií pre jednotlivé stupne hodnotiacej škály sa postupne vyvíjalo (Jadroň et al., 1998; Wagner a Paudiš, 2002).

Zostavenie kvantitatívnej hodnotiacej škály pre jednotlivé pozorované parametre 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-percentnú pravdepodobnosť posunu meraného bodu. Vo väčšine dlhodobo monitorovaných lokalít (napr. Veľká Čausa, Fintice, Bojnice, Ľubietová, 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 (Wagner et al., 2012).

Pri zostavovaní kvantitatívnej hodnotiacej škály pre posun geodetických bodov sa za prvý stupeň považovala práve hodnota σ (t. j. do prvého stupňa sa zaradili 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). Tretí stupeň, vyjadrujúci významnú polohovú alebo výškovú zmenu meraného bodu, bol priradený hodnotám meraní presahujúcim 3σ . Merania sa vo väčšine prípadov realizovali jedenkrát

Tab. 3
Škála klasifikačného hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní
Scale of classification assessment of the monitoring measurement results

Geodetické merania		Inklinometrické merania		Merania PEE vo vrtoch	
Rýchlosť pohybu [mm · rok ⁻¹]	Hodnotenie (váha)	Rýchlosť pohybu [mm · rok ⁻¹]	Hodnotenie (váha)	Stupeň aktivity	Hodnotenie (váha)
do hodnoty σ	1 (1)	do 2	1 (1)	BP (1) NZ (2)	1 (1)
σ až 2σ	2 (3)	2 až 5	2 (3)	PN (3) ST (4)	2 (3)
nad 2σ	3 (5)	nad 5	3 (5)	PV (5) VV (6)	3 (4)

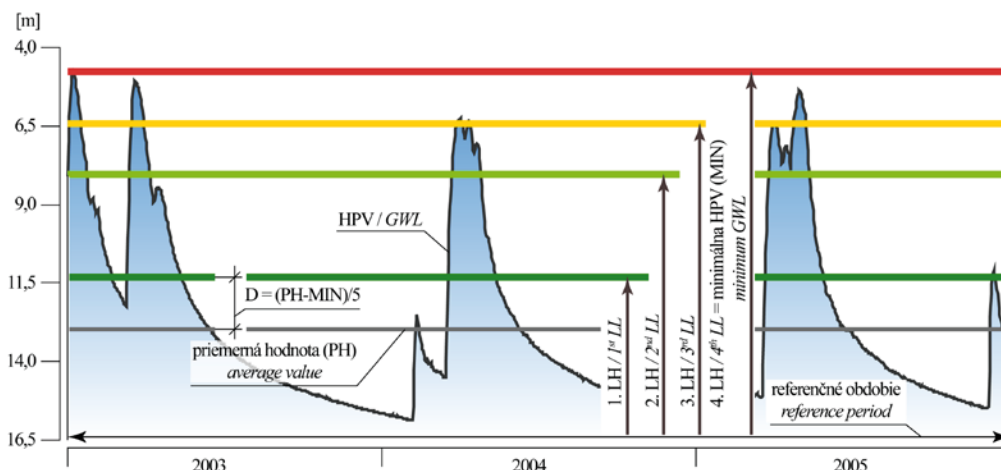
Poznámky: σ – hodnota strednej polohovej a výškovej chyby merania (zvyčajne 15 alebo 20 mm); stupeň aktivity poľa pulzných elektromagnetických emisií (PEE): BP – bez prejavov aktivity, NZ – náznaky aktivity, PN – pomerne nízka, ST – stredná, PV – pomerne vysoká, VV – veľmi vysoká aktivita poľa. Čísla v zátvorkách pri symbole označujú stupeň aktivity prostredia používaný pri podrobnejších hodnoteniach vývoja poľa PEE.

Notice: σ – mean value of the position and elevation measurement error (usually 15 or 20 mm); degree of pulse electromagnetic emissions field activity (PEE): BP – no indications of activity, NZ – indications of activity, PN – relatively low activity, ST – medium, PV – relatively high, VV – very high activity of field. Numbers in brackets next to symbol refer to a degree of activity used in the more detailed assessments of the PEE field development.

za kalendárny rok a prepočet na rýchlosť pohybu sa vykonával v súvislosti s možnosťou porovnávania zistených pohybov meraných bodov v rámci jednej lokality, ale aj porovnania aktivity pohybu v rôznych lokalitách. V prípade hodnotenia priemernej rýchlosti sa samostatne zohľadňoval polohový a vertikálny vektor posunu a v konečnom hodnotení sa počítalo s nepriaznivejšou, teda väčšou hodnotou (Wagner et al., 2012).

S pribúdajúcimi skúsenosťami a reálnymi pozorovaniami zmien stavu zosuvov v jednotlivých lokalitách sa v posledných rokoch kritériá hodnotenia sprísnila a do druhej kategórie sa zaradovali posuny, ktorých hodnota sa nachádzala v rozmedzí σ až 2σ , a do tretej kategórie hodnoty presahujúce kritérium 2σ .

V prípade inklinometrických meraní sa vychádzalo z empiricky zvolenej hranice presnosti merania, reálne akceptovateľnej pre všetky uskutočňované merania, ktorá predstavuje hodnotu deformácie inklinometrickej pažnice veľkosti 2 mm. Z toho vyplýva, že do prvého stupňa hodnotiacej škály boli zaradené všetky deformácie, ktorých hodnota po prepočte na rýchlosť pohybu (v mm · rok⁻¹) neprekročila 2 mm (bez ohľadu na azimut pohybu). Do druhej skupiny pohybovej aktivity boli zaradené deformácie v rozmedzí 2 – 5 mm · rok⁻¹ a do tretej skupiny deformácie nad 5 mm · rok⁻¹. Jednotná škála na hodnotenie výsledkov geodetických a inklinometrických meraní, používaná pri riešení úlohy ČMS GF do roku 2010, je uvedená v tab. 3.



Obr. 5. Postup odvodnenia referenčných hodnôt pre semikvantitatívne hodnotenie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody, obsiahnuté v tab. 4 (záznam z pozorovania hladiny podzemnej vody vo vrte JM-6 z lokality Dolná Mičiná; vypracované podľa Scherera in Iglárová et al., 2004). HPV – hĺbka hladiny podzemnej vody pod terénom, 1. (2., 3.) LH – prvá (druhá, tretia) limitná hladina, 4. LH – minimálna HPV.

Fig. 5. Procedure for derivation of reference values for the semi-quantitative assessment of changes in the groundwater table level, according to Tab. 4 (observations of the groundwater table level in the borehole JM-6 from the Dolná Mičiná site; the procedure developed by Scherer in Iglárová et al., 2004). GWL – the groundwater table level below the surface, 1st (2nd, 3rd) LL – the first (second, third) limit level, 4th LL – minimum GWL.

Hodnotenie výsledkov monitorovacích meraní pomocou kvantitatívnej hodnotiacej škály umožňovalo porovnávať pohybovú aktivitu meraných bodov v rámci lokality alebo medzi rôznymi lokalitami. Nevýhodou tohto hodnotenia bolo, že neumožňovalo zohľadniť špecifiká jednotlivých monitorovaných bodov.

Hodnotenie výsledkov meraní na základe analýzy vývoja zaznamenaných zmien

Na základe skúseností zo spracovávaní výsledkov pravidelných monitorovacích meraní sme dospeli k záveru, že nedostatky kvantitatívneho hodnotenia možno eliminovať na základe analýzy dlhšieho časového radu údajov získaných z jednotlivých metód merania. Z tejto podmienky vyplýva nevyhnutnosť spracovávaní dostatočne bohatej informácie o správaní pozorovaného parametra v konkrétnom monitorovanom bode za určitý, pokiaľ možno čo najdlhší časový úsek.

Na hodnotenie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody vypracoval Scherer (in Iglárová et al., 2004) postup semikvantitatívnej klasifikácie stavu parametra na základe tzv. referenčných hodnôt. Referenčné hodnoty boli odvodené z výsledkov dlhodobých meraní na konkrétnom pozorovacom vrte pomocou základných štatistických funkcií, ako sú priemerné a maximálne hodnoty hĺbky hladiny podzemnej vody za určité referenčné obdobie (dĺžka obdobia predstavovala 3 roky, v prípade krátkodobejších pozorovaní jeden rok). Semikvantitatívne hodnotenie vychádza zo schémy znázornenej na obr. 5 a kritérií, ktoré sú zhrnuté v tab. 4.

Účelová kvantifikácia výdatnosti odvodňovacích zariadení z hľadiska stupňa „priaznivosti“ stabilného stavu v podstate nie je možná. Zvýšenie výdatnosti objektov nemožno totiž jednoznačne hodnotiť ako priaznivý jav (dochádza k nemu zvyčajne pri zvýšenej zrážkovej činnosti a nasýtení horninového prostredia vodou) a, naopak, zníženie výdatnosti môže znamenať priaznivú i nepriaznivú skutočnosť (suchý rok alebo postupné zanášanie odvodňovacích objektov). Napriek tomu sa na hodnotenie zaviedla trojstupňová klasifikácia, vyjadrujúca priemernú výdatnosť objektu v danom časovom období (priemerná výdatnosť do $1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, výdatnosť v rozmedzí 1 až $3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ a výdatnosť nad $3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$), ktorá sa však nevzťahuje na účelové hodnotenie aktuálnej stability svahu na základe stavu tohto parametra.

Podobne ako v prípade hodnotenia zmien úrovne hladiny podzemnej vody, aj pri hodnotení posunov a deformácií sa ukázalo, že jednotné kvantitatívne hodnotenie dostatočne nezohľadňuje špecifiká charakteru každého z pozorovaných bodov – či už z hľadiska ich situovania v rôznych 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). Z tohto dôvodu bol vytvorený nový metodický postup hodnotenia, ktorý vychádzal z analýzy dlhodobých informácií získaných monitorovaním konkrétnych bodov. Princíp spôsobu hodnotenia výsledkov geodetických a inklinometrických meraní vychádza z podobného postupu, aký bol odvodený a aplikovaný na hodnotenie režimových pozorovaní hladiny podzemnej vody. Postup hodnotenia

Tab. 4

Kritériá klasifikačného hodnotenia výsledkov meraní zmien hĺbky hladiny podzemnej vody (podľa Scherera in Iglárová et al., 2004)
Criteria of the classification assessment of the results of the groundwater level table changes (according Scherer in Iglárová et al., 2004)

Základný stupeň	Definovanie hodnotiacich kritérií	Charakteristika z hľadiska stabilného stavu	Výsledný hodnotiaci stupeň
1.	minimálne hĺbky hladiny podzemnej vody pod terénom (ďalej len MIN HPV) v hodnotenom období neprekročili 1. limitnú hladinu (LH; podľa obr. 5)	priaznivý	1.
2.	MIN HPV v hodnotenom období neprekročili 2. LH		
3.	MIN HPV v hodnotenom období neprekročili 3. LH a počet prekročení 2. LH je menší ako 3		
4.	– MIN HPV v hodnotenom období neprekročili 3. LH a počet prekročení 2. LH je väčší alebo rovný 3 alebo – MIN HPV v hodnotenom období neprekročili 4. LH a počet prekročení 3. LH je menší ako 3	náznaky nepriaznivého	2.
5.	– MIN HPV v hodnotenom období neprekročili 4. LH a počet prekročení 3. LH je väčší alebo rovný 3 alebo – MIN HPV v hodnotenom období prekročili 4. LH jedenkrát		
6.	MIN HPV v hodnotenom období prekročili 4. LH dvakrát		
7.	MIN HPV v hodnotenom období prekročili 4. LH viac ako dvakrát	nepriaznivý	3.
8.	podzemná voda vyteká z vertikálneho vrtu a sekundárne infiltruje do prostredia zosuvu		

možno rozdeliť do viacerých etáp, ktoré sú prehľadne spracované v práci autorov Wagner et al. (2012).

Významnou zmenou, ku ktorej došlo v súvislosti s hodnotením na základe analýzy vývoja zmien pozorovaného parametra, je, že sa vychádza z absolútnych hodnôt nameraných zmien a nie z prepočítaných na priemerné hodnoty posunu (deformácie) za určitú časovú jednotku (zvyčajne rok). Toto rozhodnutie bolo prijaté na základe poznatkov získaných z prevádzky stacionárneho inklinometra (Ondrejka et al., 2011b). Druhá zásadná zmena v hodnotení sa týka počtu klasifikačných stupňov. Primárne sú namerané hodnoty pohybovej aktivity rozdelené do ôsmich stupňov (tab. 5). Základný princíp hodnotenia je taký, že najnižším hodnotám posunov a deformácií, ktoré možno zo stabilného hľadiska považovať za priaznivé, je priradený prvý stupeň. S narastajúcou hodnotou posunu, resp. deformácie, sa hodnoteným parametrom v daných bodoch priradujú vyššie stupne až po hodnotu zodpovedajúcu siedmemu stupňu hodnotiacej škály. Špeciálne postavenie v klasifikačnej stupnici má ôsmy stupeň, ktorý predstavuje posun (deformáciu) na hranici aktivizácie svahového pohybu. Okrem detailného osemstupňového členenia pohybovej aktivity je semikvantitatívne hodnotenie generalizované aj do trojstupňovej škály. Vzťah medzi jednotlivými klasifikačnými stupnicami je vyjadrený v tab. 5.

Komplexné hodnotenie stabilného stavu

V lokalitách s dostatočne hustou sieťou monitorovaných bodov, ktoré boli pozorované s požadovanou frekvenciou, sa vytvoril priestor na to, aby preklasifikované primárne údaje z monitorovacích meraní boli názorne, jednoducho a zároveň zrozumiteľne interpretované vo forme účelového vyjadrenia v mapách. Ako základné nástroje takéhoto spôsobu hodnotenia a interpretácie výsledkov monitorovania boli použité štatistické interpolačné metódy, aplikované v prostredí GIS (Jadroň et al., 1998; Wagner a Paudits, 2002).

Vzhľadom na skutočnosť, že výsledky režimových pozorovaní zvyčajne vyjadrujú hlavnú príčinu existujúceho stabilného stavu a merania pohybovej aktivity charakterizujú aktuálny stabilný stav svahu v určitom období (ako dôsledok pôsobenia zosuvotvorných faktorov, predovšetkým vody), bola interpretácia meraní parametrov rozdelená do dvoch samostatných metodických postupov a vyjadrená vo dvoch paralelných mapových podkladoch.

Účelové hodnotenie režimových pozorovaní (teda aktuálneho stavu hydrogeologických pomerov zosuvného územia) bolo po prvýkrát spracované v roku 2007. Na základe štatistickej interpolácie semikvantitatívneho hodnotenia režimových zmien hladiny podzemnej vody

Tab. 5

Kritériá klasifikačného hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní pohybovej aktivity (podľa Wagnera et al., 2012)
Criteria of the classification assessment of the results of the movement activity monitoring (according to Wagner et al., 2012)

Základný hodnotiaci stupeň	Hodnotiace kritériá pre výsledky geodetických a inklinometrických meraní	Charakteristika z hľadiska stabilného stavu	Výsledný hodnotiaci stupeň
1.	výsledný priestor. vektor ($\overrightarrow{xyz}$) v hodnotenom roku neprekročil súčet priem. hodnoty (PH) stanovenej počas refer. obdobia (1997 – 2007) a diferencie ($D = [MAX - PH]/7$)	stabilný stav	1.
2.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + D$ a zároveň neprekročil $PH + 2D$		
3.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 2D$ a zároveň neprekročil $PH + 3D$		
4.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 3D$ a zároveň neprekročil $PH + 4D$	mierne až stredné prejavy aktivity svahového pohybu	2.
5.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 4D$ a zároveň neprekročil $PH + 5D$		
6.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 5D$ a zároveň neprekročil $PH + 6D$		
7.	$\overrightarrow{xyz}$ 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.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku prekročil $2(PH + 6D)$		

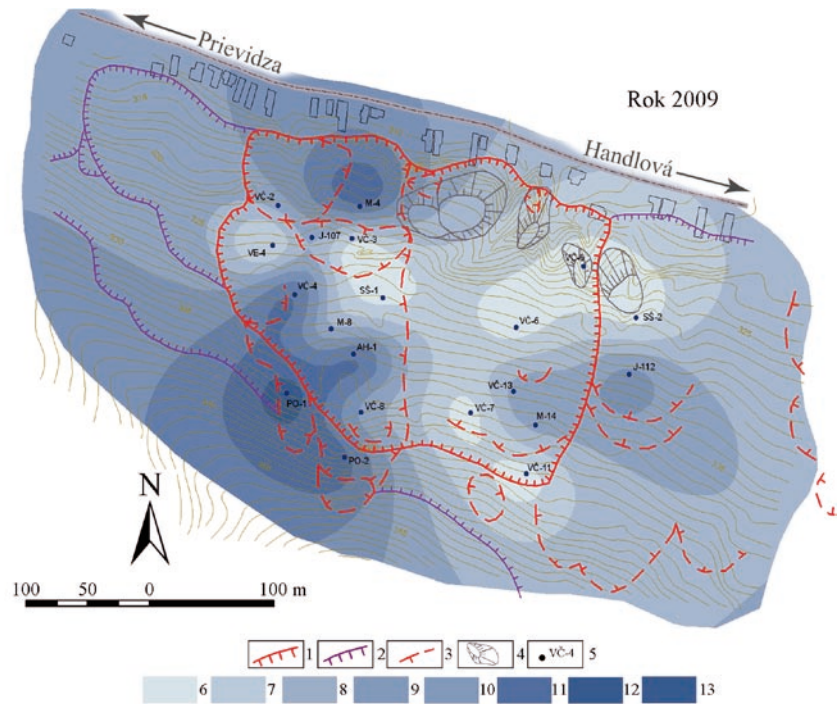
z jednotlivých vrtoz konkrétného zosuvného územia boli vyčlenené územné celky s rôznym stupňom vhodnosti hydrogeologických pomerov na aktivizáciu svahového pohybu. Tento spôsob hodnotenia sa pre vybrané lokality Veľká Čausa (obr. 6) a Okoličné aplikuje od roku 2007 v každom kalendárnom roku.

Pri zostavovaní máp komplexného hodnotenia pohybovej aktivity sa spočiatku vychádzalo zo sumarizácie výsledkov monitorovania štyroch parametrov – išlo o zmeny polohy geodetických bodov, zmeny deformácie

inklinometrickej pažnice na úrovni šmykovej plochy, vývoj hodnôt povrchového reziduálneho napätia a zmeny aktivity poľa pulzných elektromagnetických emisií. V závislosti od dôležitosti meraného parametra (resp. použitej monitorovacej metódy) sa pri komplexnom hodnotení jednotlivým stupňom aktivity priradzovala dôležitosť. Najväčší stupeň dôležitosti bol priradený presným geodetickým a inklinometrickým meraniam, ktoré možno z hľadiska posúdenia aktuálneho stabilného stavu svahu považovať za najdôležitejšie. Nižšie hodnoty váhy

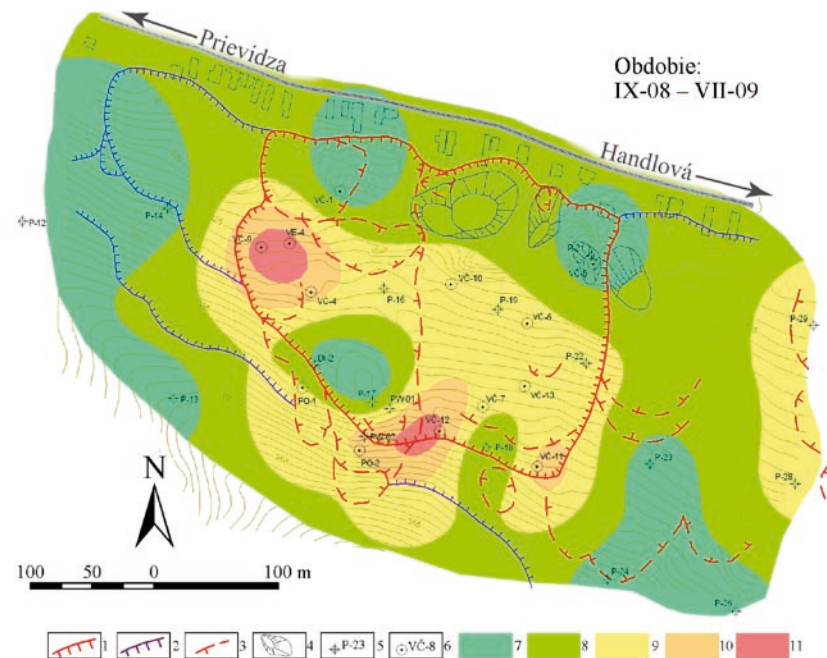
Obr. 6. Schematizované zhodnotenie stavu podzemnej vody v lokalite Veľká Čausa v roku 2009. 1 – ohraničenie aktívnych zosuvov; 2 – ohraničenie potenciálnych zosuvov; 3 – lokálne zosuvy a zátrhy; 4 – premiestnené bloky vulkanických hornín; 5 – piezometrické vrty, v ktorých sa hodnotilo kolísanie hladiny podzemnej vody; 6 až 13 – stupne 1 až 8 hodnotiacej škály (v súlade s tab. 4).

Fig. 6. Schematic assessment of the groundwater state at the Veľká Čausa site in 2009. 1 – border of active landslides; 2 – border of potential landslides; 3 – local landslides and cracks; 4 – displaced blocks of volcanic rock; 5 – piezometric boreholes, in which changes of the groundwater table level were assessed; 6 to 13 – stages from 1 to 8 of rating scale (in accordance with the Tab. 4).



Obr. 7. Komplexné spracovanie výsledkov monitorovacích meraní v lokalite Veľká Čausa (za obdobie september 2008 až júl 2009). 1 – ohraničenie aktívnych zosuvov; 2 – ohraničenie potenciálnych zosuvov; 3 – lokálne zosuvy a zátrhy; 4 – premiestnené bloky vulkanických hornín; 5 – body geodetickej siete; 6 – inklinometrické vrty; 7 – stabilný stav častí územia; 8 – náznaky pohybovej aktivity zosuvu; 9 – mierne aktívny stav; 10 – aktívny stav; 11 – vysoko aktívny stav.

Fig. 7. Complex assessment of the monitoring measurements results at the Veľká Čausa site since September, 2008, till July, 2009. 1 – border of active landslides; 2 – border of potential landslides; 3 – local landslides and cracks; 4 – displaced blocks of volcanic rock; 5 – geodetic points; 6 – inclinometric boreholes; 7 – stable stage of parts of area; 8 – landslide motion activity indications; 9 – slightly active state; 10 – active state; 11 – distinctly active state.



boli priradené výsledkom meraní napätostného stavu prostredia. V prípade, ak boli na jednom monitorovacom objekte vykonané dva alebo viac typov meraní, do úvahy sa bral vždy výsledok, ktorý bol z hľadiska stability svahu menej priaznivý. Záverečné hodnotenie bolo vyjadrené päťstupňovou škálou. Zvolená grafická interpretácia bola založená na „semaforovom“ princípe, čo znamená, že farby v odtieňoch zelenej predstavujú stabilné časti územia a, naopak, odtiene červenej nestabilné časti územia. Treba však podotknúť, že semikvantitatívne hodnotenie pohybovej aktivity bolo pôvodne založené na jednotnej kvantitatívnej škále.

Zmena spôsobu hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní na základe analýzy vývoja zmien meraných parametrov sa prejavila aj v zmene metodiky komplexného hodnotenia stabilného stavu. Zásadnou zmenou je vylúčenie údajov o napätostnom stave horninového prostredia zo súboru komplexného hodnotenia. Vychádza sa teda iba z informácií o pohybovej aktivite zosuvných hmôt (teda z výsledkov geodetických a inklinometrických meraní). V súvislosti s tým sa jednotlivým typom meraní už nepriraduje stupeň závažnosti, čo celkovo zjednodušilo metodický postup komplexného hodnotenia. Vstupnými údajmi pre štatistickú interpoláciu sú výsledky hodnotenia v rámci detailnej osemstupňovej klasifikácie. Výsledok analýzy je však v účelovej mape interpretovaný rovnako ako v pôvodnom metodickom postupe, v rámci päťstupňovej klasifikácie (obr. 7; Wagner a Pauditš, 2002).

Najdôležitejšie výsledky monitorovania za obdobie rokov 2002 až 2009

Konkrétne výsledky riešenia úlohy (vo forme aktuálnych, ako aj dlhodobých hodnotení) sú súčasťou ročných správ, pravidelne uverejňovaných na internete (<http://dionysos.gssr.sk/cmsgf/>), ale i viacerých odborných publikácií, resp. konferenčných príspevkov (Wagner et al., 2002, 2009, 2012; Ondrejka et al., 2011b a ďalšie). Z dôvodu limitovaného rozsahu predloženého príspevku sú najvýznamnejšie výsledky riešenia úlohy ČMS GF a stav monitorovaných lokalít v subsystéme 01 – Zosuvy a iné svahové deformácie zhrnuté v tab. 6.

Napriek tomu, že doterajšie obdobie monitorovania predstavovalo v prvom rade etapu zberu, systematického ukladania rôznych, často empirických spôsobov spracovania a prezentácie veľmi rôznorodých súborov údajov, už v tomto období sa dosiahlo viacero cenných výsledkov. Z najdôležitejších z nich možno spomenúť tieto (Wagner et al., 2010):

- na zosuve pri Bojniciach (Ondrejka a Wagner, 2008) bola vykonaná kompletná oprava a utesnenie splaškovej kanalizácie s cieľom zamedziť prieniku odpadových vôd do zosuvných hmôt, ktorých lokálnu aktiváciu preukázali výsledky monitorovania;
- v lokalite Okoličné v intraviláne Liptovského Mikuláša (Ondrejka, 2009) prispeli výsledky dlhodobého monitorovania k rozhodnutiu o preložení trasy železnice mimo územia, trvalo ohrozeného periodickými aktivizáciami zosuvných hmôt;

- v lokalite Demjata (Iglárová et al., 2005) bol na základe preukázaných lokálnych prejavov nestability skalných blokov svah upravený a stabilizovaný;

– vzhľadom na potenciálnu nestabilitu skalného bloku, ohrozujúceho turistický chodník v Slovenskom raji (v doline Suchá Belá), bol na základe opakovaného fotogrametrického zhodnotenia (Fraštia, 2007) chodník preložený mimo dosahu tohto bloku do svahu.

Okrem uvedených praktických výsledkov monitorovania svahových pohybov sa v období rokov 2002 až 2009 dosiahlo aj významné skvalitnenie metód monitorovania a spôsobov spracovania a prezentácie výsledkov meraní tak, ako sú opísané v predchádzajúcich častiach príspevku. Všetky uvedené inovácie posúvajú monitoring na vyššiu kvalitatívnu úroveň, ktorá vytvára predpoklady na definovanie kritických hodnôt pozorovaných parametrov pri tvorbe systémov včasného varovania pred aktivizáciou svahových pohybov.

Súčasný stav monitorovania

Aj keď podstatnou náplňou predkladaného príspevku je zhodnotenie monitorovania zosuvov a iných svahových deformácií do konca roku 2009, extrémne vlhký rok 2010 a s tým súvisiaci mimoriadny výskyt svahových pohybov v rokoch 2010 a 2011 sa významne prejavili v rozsahu i náplni monitorovania svahových pohybov v rámci ČMS GF v nasledujúcom období. Považujeme preto za potrebné uviesť aspoň základnú informáciu o týchto skutočnostiach, ktorá predstavuje bázu pre budúce súborné spracovanie výsledkov monitorovania, počínajúc rokom 2010.

Po extrémnych zrážkových udalostiach na prelome mája a júna 2010 sa na Slovensku aktivizovalo, ale aj vzniklo veľké množstvo svahových pohybov. Územne bola najviac postihnutá oblasť východného Slovenska. Na základe systematickej registrácie bolo v letných mesiacoch roku 2010 pracovníkmi ŠGÚDŠ zaregistrovaných 551 nových svahových porúch (Liščák et al., 2010), pričom väčšina z nich nepriaznivo ovplyvňovala životné prostredie, resp. priamo ohrozovala objekty technosféry. Zo spracovaného súboru zaregistrovaných nových svahových pohybov boli vybraté tie, ktoré boli najzávažnejšie z hľadiska celospoločenského významu, a vo vybraných lokalitách (41) bol uskutočnený orientačný inžinierskogeologický prieskum (na prelome rokov 2010/2011). V rámci tohto prieskumu sa realizovalo viacero prieskumných diel, vrátane inklinometrických a hydrogeologických vrtov, a uskutočnili sa úvodné etapy monitorovacích meraní.

Vzhľadom na nevyhnutnosť pokračovania priebežného vyhodnocovania meraní (smerujúceho v konečnom dôsledku k výberu tých lokalít, na ktorých je potrebné čo najskôr uskutočniť sanačné opatrenia), boli v roku 2011 do súboru monitorovaných lokalít zaradené viaceré svahové pohyby aktivizované v roku 2010 a zhodnotené inžinierskogeologickým prieskumom. Celkovo išlo o 16 zosuvov. Väčšina z nich sa nachádza v Prešovskom samosprávnom kraji (9 zosuvov; tab. 7), šesť zosuvných lokalít je v Košickom samosprávnom kraji a jeden zosuv sa nachádza v obci Šenkvice (v Bratislavskom

samosprávnom kraji). Ešte v roku 2010 bol realizovaný inžinierskogeologický prieskum aktívneho zosuvu v južnej časti katastra mesta Handlová na Žiarskej ulici. V súvislosti s priamym ohrozením významnej dopravnej komunikácie bol aj tento zosuv (v roku 2011) zaradený do riešeného súboru. V rámci lokality Hlohovec bolo vyčlenené zosuvné územie pri obci Vinohrady nad Váhom (časť Paradič) a po dobudovaní monitorovacej siete v roku 2010 sa začalo pravidelne pozorovať.

Výrazné zvýšenie počtu monitorovaných zosuvov vyvolalo aj viacero praktických problémov. V prvom rade bolo potrebné riešiť otázku zabezpečenia monitorovania na významne rozšírenom súbore monitorovacích bodov. Najmä v prípade aktívnych zosuvov z roku 2010 je potrebné pravidelne realizovať merania metódou presnej inklinometrie. Finančná náročnosť týchto meraní neumožňovala zabezpečiť ich použitie v potrebnej frekvencii prostredníctvom subdodávateľov, a preto bolo nutné hľadať iné riešenia. Vďaka ústretovosti pracovníkov Ministerstva životného prostredia SR a vedenia ŠGÚDŠ bola zaobstaraná inklinometrická sonda, čo umožnilo vykonávať inklinometrické merania s frekvenciou trikrát za rok priamo pracovníkmi oddelenia inžinierskej geológie ŠGÚDŠ.

Režimové merania na novovzniknutých zosuvoch sú zabezpečované prevažne terénnym meraním pozorovateľmi. Na územiach s bezprostredným ohrozením objektov s vysokou socioekonomickou hodnotou boli inštalované automatické hladinomy s kontinuálnym záznamom. V máji roku 2011 boli 2 takéto prístroje nainštalované v lokalite Šenkvice, kde zosuv bezprostredne ohrozuje dva rodinné domy. V máji roku 2012 bol v tejto lokalite nainštalovaný i tretí automatický hladinomer. Vďaka takémuto usporiadaniu prístrojov možno v súčasnosti pozorovať zmeny hladiny podzemnej vody v reprezentatívnom profile, vedenom pod ohrozeným objektom. S podobným zámerom bol automatický hladinomer umiestnený aj v lokalite Prešov-Horárska ulica v októbri 2012.

V roku 2012 bolo v subsystéme 01 „Zosuvy a iné svahové deformácie“ ČMS GF monitorovaných 43 lokalít (tab. 7), čo je oproti roku 2009 nárast o 13 lokalít. Súčasne, vzhľadom na výrazný nárast monitorovacích aktivít, bolo v roku 2011 potrebné monitorovanie v niektorých lokalitách pozastaviť – išlo o zosuvné lokality Liptovská Mara (monitorovanie v plnom rozsahu prebral Technicko-bezpečnostný dozor vodného diela) a Vištuk (nedostatočná aplikovateľnosť viacerých monitorovacích metód podmienená stavom monitorovacej siete). Zo súboru lokalít, v ktorých sú sledované náznaky rútvých pohybov, boli merania pozastavené v lokalite Harmanec (problematická aplikácia novších monitorovacích metód v danom horninovom prostredí). Znížila sa aj frekvencia monitorovania v lokalitách monitorovania zvetrávacích procesov.

V súčasnosti sa pozornosť sústreďuje na výsledky realizovaných prieskumov, ale aj sanácií uskutočnených v roku 2012. Počas týchto prác pribudli na zosuvných územiach viaceré nové monitorovacie objekty, ktoré je potrebné zabezpečiť pokračujúcimi monitorovacími

meraniami. Nadalej pretrváva snaha o budovanie systémov včasného varovania na zosuvoch a ich zdokonaľovanie. Z tohto hľadiska sa logicky najväčšia pozornosť sústreďuje na rozsiahle zosuvy v obciach Nižná Myšľa a Kapušany, ktoré spôsobili vážnu ujmu obyvateľstvu, sprevádzanú mimoriadne veľkými hospodárskymi škodami, a po katastrofálnom handlovskom zosuve sú najväčšími zosuvnými katastrofami na našom území.

Záver

Systematický monitoring zosuvov a iných svahových deformácií, vykonávaný od roku 1993, prešiel v hodnotenom období rokov 2002 až 2009 do ďalšej vývojovej etapy. Možno konštatovať, že v tomto období sa z hľadiska metodiky dotvoril základný súbor používaných monitorovacích metód, ku ktorým aktuálne pribúdajú nové. Ustálili sa metódy zálohovania údajov, ako aj operácie s dátami za účelom prezentácie výsledkov monitorovania.

V lokalitách, ktorých dôležitosť z celospoločenského hľadiska poklesla, sa postupne zmenšuje rozsah ich monitorovania, či už z hľadiska počtu používaných metód alebo frekvencie meraní (až na úroveň pozastavenia meraní). Všetky údaje z predchádzajúcich meraní však zostávajú uložené v databáze a ich monitorovanie môže byť kedykoľvek v plnom rozsahu obnovené. Naopak, v lokalitách, v ktorých bola v posledných rokoch zaznamenaná aktivizácia zosuvných javov, boli monitorovacie aktivity rozšírené. Ide najmä o zosuvné územie medzi Hlohovcom a Sereďou. Špeciálne postavenie majú územia, na ktorých došlo k vzniku nových zosuvov, resp. zosuvný pohyb sa reaktivoval. V týchto prípadoch bolo potrebné dobudovať monitorovaciu sieť a vytvoriť systém pozorovania.

Z prehľadu vyplýva, že monitorovanie v doterajšej i kvalitatívne vyššej úrovni treba vykonávať predovšetkým v lokalitách Nižná Myšľa a Kapušany, ale aj na zosuvoch Ďačov, Varhaňovce, Šenkvice, Prešov-Pod Wilec hôrkou a Horárska ulica, Košice-Krásna a sídlisko Dargovských hrdinov, ako aj v dlhodobom monitorovaných lokalitách Veľká Čausa, Fintice a Okoličné. Práve v lokalitách Veľká Čausa a Okoličné boli na monitorovanie vyššej kvalitatívnej úrovne vytvorené predpoklady po inštalácii základných varovných systémov na sklonku roku 2005, ktoré sa postupne zdokonaľujú odvodením presnejších limitných úrovní pozorovaného parametra. Do budúcnosti by bolo reálne dosiahnuť vyššiu kvalitu monitorovania v celospoločensky významných lokalitách Nižná Myšľa a Kapušany inštaláciou kontinuálnych hladinomerov, ako aj zaradením pravidelných geodetických meraní s dostatočnou frekvenciou do súboru monitorovacích pozorovaní.

Pre rozsiahlu skupinu pozorovaných lokalít navrhujeme v zásade rovnaký charakter monitoringu vzhľadom na ich aktuálny stabilitný stav a celospoločenský význam. Ide o lokality Dolná Mičiná, Ľubietová, Slanec-TP, Hlohovec-Posádka a Paradič, Lenartov, Lukov, Pečovská Nová Ves, Nižná a Vyšná Hutka, Vyšný Čaj, Handlová-Žiarska ul., Košický Klečenov, Jaskyňa pod Spišskou, Banská Štiavnica, Demjata, Handlová-Baňa, Starina, Jakub, Bratislava-Železná studnička, Pezinská Baba, Lipovník

Tab. 6

Prehľad najvýznamnejších výsledkov monitorovacích meraní v období rokov 2002 až 2009
Overview of the most important results of the monitoring measurements in the period from 2002 to 2009

Lokalita	Hodnotenie stavu monitorovaných svahových deformácií
Velká Čausa	Stav zosuvu možno označiť ako neuspokojivý. Dochádza k zanášaniam odvodňovacích rigolov, v dôsledku čoho voda vytekajúca z vrtu (PO-1) s pozitívnou vztlakovou hladinou podzemnej vody (HPV) spätne infiltruje do zosuvného prostredia. V odľučnej časti sa prehlbuje bezodtoková depresia. Zvýšená pohybová aktivita je sústredená najmä do centrálnej a severozápadnej časti svahovej poruchy.
Handlová- -Morovnianske sídlisko	Monitorovacie merania sú zamerané len na pozorovanie zmien režimu podzemných vôd. Z hľadiska stability malo veľký význam prečistenie odvodňovacích vrtov v roku 2002, ktoré sa prejavilo výrazným stúpnutím výdatnosti odvodňovacích zariadení. Podľa výsledkov monitorovania výdatnosti však postupne klesajú. Najmä počas jarných mesiacov vo viacerých prípadoch dochádza k stúpnutiu HPV až nad úroveň terénu.
Handlová- -Kunešovská cesta	Zosuvné územie možno hodnotiť ako stabilizované. Počas monitorovacích meraní neboli preukázané výraznejšie prejavy pohybovej aktivity (okrem geodetických meraní, ktoré však museli byť v dôsledku poškodenia meracích bodov skončené). Problematické je odvádzanie podzemnej vody z drenážneho systému; časť vody sa stráca v prostredí od vtoku do kanalizácie až po vyústenie do potoka.
Fintice	V zosuvnom území neboli vykonané žiadne sanačné opatrenia. Najvyššou pohybovou aktivitou sa vyznačuje JV časť, v ktorej zosuv pretína štátnu cestu II. tr. a ohrozuje dva stožiare vysokého napätia. V týchto miestach boli porušené dva inklinometrické vrty, preto je pohybová aktivita v strednej a čelnej časti zosuvu monitorovaná iba geodeticky.
Dolná Mičiná	Výsledky monitorovacích meraní preukazujú vcelku uspokojivý stabilný stav lokality. Dlhodobým problémom v povrchovej časti zosuvu je výrazná erózia materiálu, ktorý bol použitý počas sanácie zosuvu pri terénnych úpravách. Z hľadiska dlhodobej stability možno za nepriaznivé považovať starnutie a zanášanie odvodňovacích zariadení a v dôsledku toho aj pokles nameraných výdatností.
Lubietová	V dôsledku starnutia monitorovacích objektov sú viaceré vertikálne vrty nepriechodné. Voda vytekajúca zo skupiny odvodňovacích vrtov v odľučnej oblasti priamo infiltruje do telesa zosuvu alebo sa hromadí vo forme bezodtokových zamokrení. Nízka frekvencia meraní neumožňuje zachytiť dynamiku zmien hladiny podzemnej vody v plnom rozsahu.
Slanec-TP	Do súboru monitorovaných lokalít bol zosuv zaradený v roku 2003. Na zosuvnom svahu sa nachádza extrémne množstvo produktovodov a diaľkových vedení. V rámci dlhodobého kolísania HPV boli jej najvýraznejšie stúpnutia zaznamenané v jarných, ale i jesenných mesiacoch (maximálne hodnoty boli namerané v rokoch 2004 a 2005). Pomalý (plazivý) pohyb hmôt na svahu (i keď sanovanom) prispel k havárii medzištátneho vysokotlakového plynovodu v úseku pri západnom okraji monitorovaného územia na jar roku 2008.
Handlová (1960/1961)	Katastrofálny zosuv vďaka stabilizačnému násypu na jeho päte má ako celok na základe meraní postačujúcu stabilitu. Avšak vo vyššie položených častiach svahu sú pravidelne zaznamenávané zvýšené prejavy pohybovej aktivity zosuvných hmôt. Zásadným nedostatkom z hľadiska aktuálneho stabilného stavu územia je starnúca a neudržiavaná sieť sanačných a monitorovacích objektov. Táto skutočnosť sa prejavuje progresívnym porušovaním povrchových odvodňovacích rigolov, ako aj znižovaním výdatností až úplným upchatím horizontálnych vrtov.
Okoličné	Výsledky monitorovania poukazujú na to, že trvalo nepriaznivý stabilný stav je v centrálnej oblasti zosuvu. Z vrtov s pozitívnou vztlakovou hladinou vyteká podzemná voda, ktorá hneď spätne infiltruje do zosuvného telesa. Z hľadiska pohybovej aktivity bolo zaznamenaných niekoľko období, keď vektory posunov geodetických bodov dosiahli hodnoty až v intervale 50 – 100 mm (roky 2006 a 2007). V čele zosuvu sa na nespevnenej ceste pri trati a na odvodňovacom rigole, umiestnenom paralelne so železničnou traťou, prejavuje výrazná deformácia.
Liptovská Mara	Systematický monitoring je orientovaný na režimové pozorovania zmien HPV a výdatnosti odvodňovacích objektov. Stabilný stav možno teda posudzovať len nepriamo. Na zvýšenú pohybovú aktivitu zosuvných hmôt v oblasti kontaktu svahovej deformácie s vodným dielom poukazujú poruchy miestnej komunikácie, vedenej po obvode vodnej nádrže.
Bojnice	V roku 2003 došlo k vzniku menšieho zosuvu vo východnej časti monitorovanej lokality. Geodetické merania poukazujú na zvýšené hodnoty pohybovej aktivity povrchového horizontu predovšetkým v centrálnej časti zosuvného územia. Naopak, inklinometrickými meraniami neboli zaznamenané žiadne výraznejšie deformácie v hlbších polohách zosuvu.
Kvašov	Po realizácii rozsiahlej sanácie prúdového zosuvu v roku 2004 bol inklinometrickými meraniami zaznamenaný pokles pohybovej aktivity zosuvných hmôt. Vážnym nedostatkom monitorovania je skutočnosť, že sa vykonáva iba na jednom vhodnom pozorovacom objekte.
Hlohovec- -Posádka	Monitorovacie merania pohybovej aktivity nepreukázali významnejšie polohové a výškové zmeny pozorovaných bodov. Dlhodobým sledovaním aktivity poľa pulzných elektromagnetických emisií sa potvrdila predstava o existencii troch samostatných celkov územia, odlišujúcich sa charakterom aktivity poľa PEE, pričom najvýraznejšie prejavy nestability sú zaznamenávané v severnom celku monitorovaného územia.
Višňuk	Vzhľadom na veľmi nízku frekvenciu monitorovacích meraní a jedinou aplikovanú metódu (merania poľa PEE) je problematické charakterizovať dynamiku vývoja zosuvného procesu i aktuálny stabilný stav lokality. Z výsledkov meraní

vyplýva, že v telese frontálneho zosuvu prebieha pokračujúce dotvarovanie, predovšetkým počas jarných mesiacov po nasýtení zosuvných hmôt vodou.

Malá Čausa	Vzhľadom na neúplnú sanáciu zosuvu zostáva spodná časť svahu trvalo zamokrená. Z viacerých vertikálnych vrtov vyteká pretlaková voda a infiltruje do telesa zosuvu. Zosuv v JZ časti územia sa stále dotvára a dochádza k lokálnym prejavom pohybovej aktivity zosuvných hmôt. Po zhodnotení celospoločenského významu lokality a v rámci optimalizácie siete monitorovacích lokalít boli pozorovania v roku 2008 v lokalite skončené.
Veľká Izra	Na základe výsledkov meraní možno konštatovať, že pohyb blokov po plastickom ílovitom podloží, zaznamenaný v hodnotenom období, mal prevažne plynulý charakter. Výraznejší bol najmä priestorový pohyb nižšie situovaného monitorovaného bloku; aktivita vyššieho bloku bola podstatne nižšia.
Sokol	Na základe výsledkov meraní možno očakávať odtrhnutie monitorovaného bloku od masívu. V posledných rokoch hodnoteného obdobia však došlo k preukázateľnému spomaleniu pohybu, a teda hrozba odtrhnutia bloku nie je akútna.
Košický Klečenov	Dva prístroje TM-71 preukazujú kontinuálny vertikálny pohyb blokov voči sebe i masívu. Najpravdepodobnejším vysvetlením recentnej aktivity oboch blokov je kombinovaný vplyv tektoniky (zdvih masívu pozdĺž S – J okrajového zlomu) a plazivého pohybu blokov. Taktiež nemožno vylúčiť vplyv zmien v plastickom podloží, vyvolávajúcich nerovnomerné zabáranie, resp. vytlačanie blokov. V absolútnom ponímaní obidva bloky klesajú, vyšší blok však o niečo rýchlejšie.
Jaskyňa pod Spišskou	Doterajšími meraniami (2007 – 2009) boli zistené niektoré náznaky pohybov. Dôkladnejšia interpretácia bude možná až po dlhšom období pozorovania pri pokračujúcom pravidelnom odčítavaní hodnôt na inštalovanom dilatometri TM-71.
Banská Štiavnica	V častiach svahu (profiloch), ktoré sú monitorované fotogrametrickými metódami, zmeny súvisia prevažne s narastaním suťových akumulácií, prípadne s uvoľnením, resp. vypadnutím blokov horniny. Podľa výsledkov časového radu dilatometrických pozorovaní sa prejavuje určitý trend pomalých posunov. V dôsledku vypadnutia skalného bloku boli v roku 2009 skončené merania mikromorfologických zmien povrchu skalnej steny.
Handlová-Baňa	V rámci celého sledovaného profilu je ústup povrchu horninového masívu (postup zvetrávania) relatívne rovnomerný.
Demjata	V častiach zárezu (profiloch) meraných fotogrametricky, ale aj dilatometricky neboli zaznamenané významnejšie zmeny. Selektívne zvetrávanie a rozvoľňovanie masívu však pokračuje, o čom svedčia výsledky časového radu dilatometrických pozorovaní, ako aj výsledky merania mikromorfologických zmien.
Starina	Namerané hodnoty mikromorfologických zmien indikujú rozdielnu rýchlosť procesu zvetrávania flyšového súvrstvia. Podstatne väčší ústup masívu je zaznamenaný v prostredí ílovcového litotypu.
Slovenský raj-Pod večným dažďom	Vzhľadom na to, že merania v lokalite sa vykonávajú pomerne krátku dobu, z ich výsledkov zatiaľ nevyplývajú žiadne výraznejšie trendy pohybu skalných blokov.
Slovenský raj-Suchá Belá	Meranie prebiehalo veľmi krátke obdobie, avšak aj na základe jeho výsledkov bol turistický chodník, ohrozovaný nestabilným skalným blokom, preložený mimo dosahu tohto bloku, do svahu.
Harmanec	Najvýraznejšie zmeny zaznamenané fotogrametrickými meraniami súviseli prevažne s prejavmi erózie, čo v spodných častiach svahu spôsobuje nárast ospyvých kuželov. Vo vyšších častiach svahu ojedinеле dochádza k uvoľneniam skalných úlomkov a blokov.
Jakub	Okrem pozorovaného pomalého procesu chemického zvetrávania povrchu skalnej steny zárezu sa sporadicky vyskytujú aj prejavy mechanického zvetrávania – uvoľnenie až náhle vypadnutie úlomkov zo skalnej steny.
Bratislava-Železná studnička	Granitoidný horninový masív zvetráva relatívne rovnomerne, čo zrejme súvisí s vysokou homogenitou horninového prostredia v rámci monitorovaného profilu. Výraznejšie zmeny boli v roku 2009 zaznamenané iba v centrálnej časti monitorovaného profilu.
Pezinská Baba	V roku 2004 bola lokalita znehodnotená vypadnutím celého bloku horniny. V roku 2005 bolo vybudované nové stanovisko, ku ktorému v októbri roku 2006 pribudlo ďalšie. Vzhľadom na krátkosť monitorovacieho obdobia sú zatiaľ hodnoty mikromorfologických zmien v rámci jednotlivých meracích profilov dosť rozdielne.
Lipovník	Z výsledkov dlhodobého monitorovania vyplýva možnosť pokračujúceho uvoľňovania úlomkov zo skalnej steny. Zatiaľ však ide o úlomky relatívne malých rozmerov.
Handlová-Stabilizačný násyp	Všetky realizované merania poukazujú na dostatočnú stabilitu monitorovaného vodohospodárskeho diela. Nedostatkom je starnúca monitorovacia sieť, ako aj absencia údržby pravostrannej priekopy medzi štátnou cestou I/50 a okrajom Stabilizačného násypu. V súvislosti so starnutím odvodňovacích zariadení a znižovaním ich funkčnosti vzniká oprávnená obava z hromadenia vody v telese násypu.
Ipeľ-PVE	Monitoring bol sústredený prevažne na sledovanie pohybovej aktivity siete geodetických bodov. Zaznamenané pohyby neboli výrazné, avšak ich intenzita v rôznych častiach územia bola veľmi rozdielna, pričom svah s projektovanými objektmi hydraulického obvodu prečerpávacej vodnej elektrárne (PVE) bol dlhodobo dostatočne stabilný. Vzhľadom na charakter zaznamenaných zmien bola lokalita navrhnutá na preradenie do subsystému 02 – Tektonická a seizmická aktivita územia.

Tab. 7

Lokality monitorované v subsysteme 01 Zosuvy a iné svahové deformácie po roku 2009
 Sites monitored in the subsystem 01 Landslides and other slope deformation after 2009

Typ svahového pohybu	Geologická stavba	Celospoločenská dôležitosť	Lokality
Zosúvanie	Neogénne vulkanity a ich kontakt s paleogénnymi a neogénnymi sedimentmi	Veľmi významná	1. Veľká Čausa 2. Handlová-Morovnianske sídlisko 3. Handlová-Kunešovská cesta 4. Fintice 5. Nižná Myšľa 6. Handlová-Žiarska ul.
		Významná	7. Dolná Mičiná 8. Lubietová 9. Slanec-TP 10. Handlová (1960/1961)
	Sedimenty flyšového charakteru	Veľmi významná	11. Okoličné 12. Bojnice 13. Bardejovská Zábava 14. Ďačov 15. Chmiňany 16. Lenartov 17. Lukov 18. Pečovská Nová Ves 19. Prešov-Horárska ul. 20. Prešov-Pod Wilec Hôrkou
		Významná	21. Kvašov
	Neogénne sedimenty	Veľmi významná	22. Košice-Dargovských hrdinov 23. Košice-Krásna 24. Nižná Hutka 25. Varhaňovce 26. Vyšný Čaj 27. Vyšná Hutka 28. Senkvice
		Významná	29. Hlohovec-Posádka
	Neogénne vulkanity	Významná	30. Veľká Izra 31. Sokol 32. Košícký Klečenov
		Významná	33. Jaskyňa pod Spišskou
	Neogénne vulkanity	Významná Menej významná	34. Banská Štiavnica 35. Handlová-Baňa
		Významná Menej významná	36. Demjata 37. Starina
Rútenie	Sedimenty flyšového charakteru	Významná	38. Slovenský raj-Pod večným dažďom 39. Jakub
		Menej významná	40. Bratislava-Železná studnička 41. Pezinská Baba 42. Lipovník
Špeciálne		Veľmi významná	43. Handlová-Stabilizačný násyp

Poznámka: V lokalite Chmiňany boli monitorovacie merania ukončené v roku 2011. V roku 2013 je plánované zaradiť do monitorovacieho systému lokality Čirč, Čadca, Kapušany, Petrovany, Ruská Nová Ves a Vinohrad nad Váhom.

Notice: Monitoring measurements at the locality Chmiňany were finished in 2011. In 2013 we intend to include localities Čirč, Čadca, Kapušany, Petrovany, Ruská Nová Ves and Vinohrady nad Váhom into the monitoring system.

a Stabilizačný násyp v Handlovej. Monitorovanie všetkých týchto lokalít má predovšetkým celospoločenský význam, no je dôležité aj z odborného-metodického hľadiska.

Do poslednej skupiny zaraďujeme lokality, pri ktorých sa domnievame, že v rámci monitorovacích aktivít možno znížiť frekvenciu ich pozorovania (lokalita Handlová – zosuv z rokov 1960/1961 a Kunešovská cesta, Bojnice, Slovenský raj-Pod večným dažďom, Veľká Izra a Sokol). Samozrejme, uvedené rozdelenie dôležitosti monitorovania lokalít vystihuje aktuálny stav z konca roku 2012 a bude sa priebežne spresňovať. Lokalita PVE Ipeľ bola vzhľadom na charakter monitorovanej problematiky v roku 2011 zaradená do subsystému 02 Tektonická a seizmická aktivita územia.

V závere možno konštatovať, že vďaka dlhodobému systematickému monitorovaniu boli získané bohaté praktické skúsenosti v postupoch merania aj spracovania údajov a bola vytvorená bohatá databáza výsledkov primárnych meraní. Uvedené skutočnosti sú nevyhnutným predpokladom pre objektívne odvodenie kritických úrovní rôznych meraných parametrov, čo je zasa podmienka pre správne nastavenie systémov včasného varovania. Z doterajšieho priebehu monitorovania vyplýva, že najväčší progres v tomto smere sa dosiahol pri stacionárnych meraniach pohybovej aktivity prostredníctvom inklinometrickej sondy spolu s režimovými pozorovaniami zmien úrovne hladiny podzemnej vody v hodinovom intervale. Vďaka týmto informáciám bolo možné nastaviť kritické úrovne hlavného zosuvotvorného faktora – podzemnej vody. Nevyhnutným krokom pre ďalšie skvalitnenie monitoringu je preto naďalej zvyšovať frekvenciu inklinometrických a geodetických meraní (s perspektívou kontinuálneho získavania údajov) a hľadať spoľahlivé závislosti medzi stavom hladiny podzemnej vody a pohybovou aktivitou zosuvu.

Uvedený okruh problémov, súvisiaci s budovaním a nastavením systémov včasného varovania, je náplňou ďalšieho vývojového štádia monitorovania zosuvov a iných svahových deformácií.

Podakovanie. Autori príspevku vyjadrujú vďaka MŽP SR za umožnenie publikovať čiastkové výsledky riešenia úlohy Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory, subsystém Zosuvy a iné svahové deformácie.

References

- FRAŠTIA, M., 2007: Pozorovanie stability skalného bloku v doline Suchá Belá, Slovenský raj. Geodetická dokumentácia. *Manuskript. Archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 11 s.*
- IGLÁROVÁ, L., WAGNER, P., SCHERER, S., DROTÁR, D. & CALTIK, M., 2004: Postup spracovania údajov z monitorovania zosuvov. In: *Klukanová, A. & Frankovská, J. (eds.): Geológia a životné prostredie. Zbor. vedeckých prác zo 4. slovenskej konferencie s medzinárodnou účasťou. Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 81 – 85.*
- IGLÁROVÁ, L., WAGNER, P. & BARTOŠ, P., 2005: Metódy monitoringu stabilitného stavu skalného zárezu na príklade lokality Demjata. *Miner. Slov., 37, 413 – 415.*
- JADROŇ, D., WAGNER, P., PAUDITŠ, P. & VYBÍRAL, V., 1998: Evaluation of slope movement activity based on the results of monitoring. In: *Moore, D. P. & Hung, O. (eds.): Engineering Geology – a global view from the Pacific rim. Proceed. of 8th Int. Congress of IAEG, Vancouver; Balkema, Rotterdam/Brookfield, 1 653 – 1 659.*
- JÁNOVÁ, V. & LIŠČÁK, P., 2001: Súčasný metódy monitoringu procesov zvetrávania. In: *Klukanová, A. & Wagner, P. (eds.): Geológia a životné prostredie. Zbor. referátov z 2. konferencie. Vyd. D. Štúra, ŠGÚDŠ, Bratislava, 136 – 140.*
- JÁNOVÁ, V. & LIŠČÁK, P., 2002: Monitorovanie procesov zvetrávania. *Geol. Práce, Spr., 106, 35 – 60.*
- KLUKANOVÁ, A. & LIŠČÁK, P., 1998: Monitoring of geological hazards of the Slovak Republic. In: *Moore, D. P. & Hung, O. (eds.): Engineering Geology – a global view from the Pacific Rim. Proceed. of 8th Int. Congress of IAEG, Vancouver; Balkema, Rotterdam/Brookfield, 1 113 – 1 120.*
- 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. Zbor. vedeckých prác zo 6. slovenskej konferencie s medzinárodnou účasťou. Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 105 – 110.*
- LIŠČÁK, P., PAUDITŠ, P., PETRO, L., IGLÁROVÁ, L., ONDREJKA, P., DANANAJ, I., BRČEK, M., BARÁTH, I., VLAČIKY, M., NÉMETH, Z., ZÁHOROVÁ, L., ANTALÍK, M., REPČIAK, M. & DROTÁR, D., 2010: Registration and evaluation of newly evolved slope failures in Prešov and Košice regions in 2010. *Miner. Slov., 42, 393 – 406.*
- NEMČOK, A., 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. *Veda, Bratislava, 319 s.*
- ONDREJKA, P., 2009: Analýza vzťahu medzi vypočítaným stupňom stability a pohybovou aktivitou na príklade zosuvu pri Okoličnom. *Miner. Slov., 41, 3, 213 – 224.*
- ONDREJKA, P., 2010: Systémy včasného varovania na zosuvoch. [Dizertačná práca.] *Katedra inžinierskej geológie PriF UK, Bratislava, 180 s.*
- ONDREJKA, P., 2012: Kritické úrovne pre systémy včasného varovania na zosuvoch. *Geol. Práce, Spr., 119, 67 – 78.*
- ONDREJKA, P., MAAS, P. & WAGNER, P., 2005: Odvodenie kritického stavu hladiny podzemnej vody v zosuvnom území. In: *Geotechnika v urbanizovanom prostredí. 7. medzinárodná geotechnická konferencia – Geotechnika v urbanizovanom prostredí. Svf STU, Bratislava, 105 – 110.*
- ONDREJKA, P. & WAGNER, P., 2008: Analýza vývoja stabilitného stavu zosuvného územia. In: *Frankovská, J., Liščák, P. & Ondrášik, M. (eds.): Geológia a životné prostredie. Zbor. vedeckých prác zo 6. slovenskej konferencie s medzinárodnou účasťou. Vyd. D. Štúra, ŠGÚDŠ, Bratislava, 132 – 137.*
- ONDREJKA, P., LIŠČÁK, P., PAUDITŠ, P. & PAPČO, J., 2011a: Use of GNSS Technology in Engineering Geology in Slovakia. *Miner. Slov., 43, 2, 111 – 120.*
- ONDREJKA, P., WAGNER, P. & GRÓF, V., 2011b: Využitie stacionárneho inklinometra na tvorbu systémov včasného varovania na zosuvoch. *Geotechnika, Praha, 1 – 2, 19 – 23.*
- PETRO, L., KOŠTÁK, B., POLAŠČINOVÁ, E. & SPIŠÁK, Z., 1999: Monitoring blokových pohybů v Slanských vrchoch. *Miner. Slov., 31, 549 – 554.*
- PETRO, L., VLČKO, J., ONDRÁŠIK, R. & POLAŠČINOVÁ, E., 2004: Recent tectonics and slope failures in the Western Carpathians. *Engng Geol. (Amsterdam), 74, 103 – 112.*
- VYBÍRAL, V. & WAGNER, P., 2002: Interpretácia výsledkov meraní poľa PEE pri monitorovaní svahových deformácií. In: *Klukanová, A. & Hrašna, M. (eds.): Geológia a životné prostredie. Zbor. vedeckých prác z 3. slovenskej konferencie. Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 31 – 34.*
- WAGNER, P., KRIPPEN, M. & JELÍNEK, R., 1996: Monitorovanie svahových pohybů na vybraných lokalitách Slovenska. In: *Wagner, P. (ed.): Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. Zbor. referátov z konf., Nitrianske Rudno. SAIG, Bratislava, 146 – 154.*
- WAGNER, P., IGLÁROVÁ, L. & PETRO, L., 2000: Methodology and some results of slope movement monitoring in Slovakia. *Miner. Slov., 32, 359 – 367.*
- WAGNER, P., IGLÁROVÁ, L., PETRO, L. & SCHERER, S., 2002: Monitorovanie zosuvov a iných svahových deformácií. *Geol. Práce, Spr., 106, 21 – 42.*

- WAGNER, P. & PAUDITŠ, P., 2002: Complete evaluation of landslide activity. In: Michalík, J., Šimon, L. & Vozár, J. (eds.): *Proc. of the XVII. Congress of CBGA. Geol. Carpath.*, 53, Spec. issue (CD-ROM, 6 s.).
- WAGNER, P., ONDREJKA, P. & BJEL, D., 2006: Systémy včasného varovania na zosuvných územiach. In: Wagner, P., Klukanová, A. & Frankovská, J. (eds.): *Geológia a životné prostredie. Zbor. abstraktov z V. konferencie. Bratislava*, s. 14 (CD nosič 13 s.).
- WAGNER, P., ONDREJKA, P., IGLÁROVÁ, L. & FRAŠTIA, M., 2010: Aktuálne trendy v monitorovaní svahových pohybov. *Miner. Slov.*, 42, 229 – 240.
- WAGNER, P., ONDREJKA, P., BALÍK, D. & ŽILKA, A., 2012: Hodnotenie výsledkov monitorovacích meraní na zosuvoch. *Miner. Slov.*, 44, 141 – 148.
- WAGNER, P., ONDREJKA, P., IGLÁROVÁ, L., PETRO, L., LIŠČÁK, P., JELÍNEK, R., DROTÁR, D., PAUDITŠ, P., MAGALOVÁ, D. & OKOLIČANYIOVÁ, K., 2009: Hodnotenie monitorovania za rok 2008. Zosuvy a iné svahové deformácie. http://dionysos.gssr.sk/cmsgf/download/spravy/Hodnot_monitor_za_rok_2008/MSGF_01_ZOS_2008/Text_fin_2008.pdf

Rukopis doručený 7.1.2013

Revidovaná verzia doručená 14.1.2013

Rukopis akceptovaný red. radou 27.2.2013

Monitoring of landslides and other slope deformations in the period from 2002 to 2009

The results of the subsystem “Landslides and other slope deformations” research during the period since the beginning of the project (1993) till the year 2001 were presented in the paper by the authors Wagner et al. (2002). In this paper, the methodological procedures of the project research, as well as achieved results were characterized. Therefore, in the present article, general research principles are mentioned only marginally and the principal attention is given to the new methods of monitoring and data processing, as well as to the results, obtained during the solution of the project in the years 2002 – 2009.

At a collection of representative localities for monitoring of landslides and other slope deformations there occurred a number of changes during the years 2002 to 2009 – some actual sites were added and some were discarded from the system (in most cases because of the loss of public interest or serious damage of the monitoring network). The current state of monitored sites in the evaluated period is expressed in Fig. 1 and in Tab. 1, together with an overview of monitoring methods used at each site.

The important innovation occurred in the monitoring methods during the evaluated period. Within the regime observations of the groundwater table level changes, an increase in the frequency of measurements was realized. In the most important sites this trend is manifested in automatic water stage indicators installation. A list of automatic water stage indicators, installed at selected landslide sites is in Tab. 2. A comparison of continuous record of groundwater table level changes with measurements of various frequencies is shown in Fig. 2.

Although the regime observations provide very important information about the state of the most important factor for prediction of landslide activity, it is necessary to know the kinetic reaction of ground masses to the state of groundwater table level. This information can be obtained from the measurements of the geodetic points displacements on the surface or the borehole casing deformation measurements in the depth of a landslide. In the evaluated period, the traditional terrestrial methods of the geodetic measurements were extended on GNSS measurement method, which may be applied with greater frequency. Significant progress in the measurement of the borehole casing deformation by the inclinometer method

has brought the installing of the stationary inclinometer at the model landslide site Veľká Čausa village. A comparison of the continuous records of automatic water stage level indicators and stationary inclinometer, situated in the boreholes distant about 30 m (Fig. 3), has enabled to derive the characteristic groundwater table level states that allow quantify the magnitude of the expected deformation in space (Fig. 4). This relationship is essential for the development of early warning systems for landslides (Ondrejka et al., 2011b; Ondrejka, 2012).

A significant change occurred in the way of the monitoring results assessment. The established way of the monitoring results processing according to a single quantitative rating scale (Tab. 3) was replaced by the evaluation on the basis of development of observed changes. The groundwater table level changes were evaluated by semiquantitative method, shown in Fig. 5, according to the criteria summarized in Tab. 4. Kinetic activity of landslide based on the inclinometric and geodetic measurements was assessed analogically to principles processed in Tab. 5 (Wagner et al., 2012).

The evaluation of the monitoring results allows to present the stability conditions of selected sites complexly on the maps (Wagner and Pauditš, 2002). The presentation usually consists of expressing the main landslide factor – groundwater (Fig. 6) and the measured kinetic activity of landslide masses (Fig. 7). Different parts of the landslide areas with various degrees of susceptibility and symptoms of landslide movement are expressed by independent colours (according to traffic lights principle).

The most important results and the current state of monitoring sites, observed in the period 2002–2009, are summarized in Tab. 6.

Due to extreme rainfall events in the late May and early June 2010, a large number of slope movements in Slovakia were activated (Liščák et al., 2010). Lots of new, important sites of slope movements asked for an extension of a number of monitored sites. A view of the current state of the sites monitored since 2011, is in Tab. 7.

In the summary, the monitored sites are grouped according to their importance, and the perspectives of the further development of slope movements monitoring are discussed.