

Trojrozmerné geodetické sledovanie svahových deformácií

Juraj Šüttí¹ a Gabriel Weiss¹

3D geodetic monitoring slope deformations

For plenty of slope failures that can be found in Slovakia is necessary and very important their geodetic monitoring (because of their activity, reactivisations, checks). The paper gives new methodologies for these works, using 3D terrestrial survey technologies for measurements in convenient deformation networks. The design of an optimal type of deformation model for various kinds of landslides and their exact processing with an efficient testing procedure to determine the kinematics of the slope deformations are presented too.

Key words: deformation 3D networks, using geodetic total stations, measuring models, testing procedures

Úvod

Svahové deformácie, t.j. všetky druhy zosúvania horninových hmôt (stekanie, plazivé pohyby, skalné rútenia, atď.), vyvolané gravitačnými silami, sú najrozšírenejšou realizáciou geologických rizík a negatívnym geomorfologickým javom, ktorý ničí všetky úžitkové hodnoty postihnutých regiónov, negatívne ovplyvňuje životné prostredie a spôsobuje nemalé hospodárske škody. Na území SR je zaznamenaných temer 10000 aktívnych či stabilizovaných, ale potenciálne reaktivizovateľných porúch s plochou 1500 km² (3% rozlohy SR) (Nemčok, 1982), z ktorých aj v posledných rokoch sú všeobecne známe zosuvy a ich vážne negatívne následky napr. v oblasti Handlovej, Prievidze, Brezna aj inde (Milev et al., 1982; Nemčok, 1982; Slivovský et al., 1973; Záruba, 1982).

Účinnými nástrojmi na získanie objektívneho popisu celkovej kinematiky svahových pohybov, t.j. ich veľkostí, smerov, rýchlostí, resp. zrýchlení a spomalení, sú niektoré vhodné geodetické a fotogrametrické technológie, resp. aj diaľkový prieskum Zeme. Periodické merania, vykonané príslušnými metódami, umožňujú okrem určenia charakteristík aktívnej a zjavnej poruchy, registrovať s dostatočnou presnosťou a objektívnosťou aj malé, "plazivé" mikropohyby, kontrolovať stabilizovanie resp. reaktivizáciu svahovej deformácie, kontrolovať účinnosť prijatých sanačných opatrení a pod.

V nadväznosti na vývoj príslušných geodetických metód je možné zabezpečiť sledovanie, resp. kontrolu svahových porúch pomocou nových prístupov a novými riešeniami príslušných úloh. V príspevku sa prezentujú nové metodiky 3D geodetického deformačného sledovania svahových pohybov s využitím geodetických totálnych staníc (GTS) a adaptovaná stratégia deformačnej analýzy pre oblasť svahových zmien.

Projekt deformačných meraní, ich spracovania a analýzy

Pred deformačným prešetrením svahovej poruchy akéhokoľvek druhu je potrebné prijať vhodný projekt na jeho realizáciu, v ktorom sa sformuje určitý vyhovujúci model geodetického sledovania, spracovania a analýzy príslušného svahového javu. Každý deformačný model (DM) je matematickým popisom postupov na určenie geometrických parametrov prejavov deformačného fenoménu, ako sú posuny, poklesy, náklony, tvarové zmeny, a pod. a zahŕňa všetky predinformácie o ňom, čiastkové postupy, zásady a okolnosti, ktoré sú pre obsah i štruktúru DM a jeho realizáciu rozhodujúce (Koch, 1980; Niemeier, 1980; Pelzer, 1984). V rámci tvorby, resp. prijatia DM aj pre objekty, ako sú svahové deformácie, je teda nutné vopred, ešte v projekte rozhodnúť najmä o tom, či sa pre určenie deformácií prijme absolútny alebo relatívny model, či bude statického, kinematického alebo dynamického typu (Bartha et al., 1984; Boljen, 1980, 1984; Papo et al., 1981; Pelzer, 1985) aké deformačné parametre sa budú vyšetrovať (geometrické, fyzikálne), aký

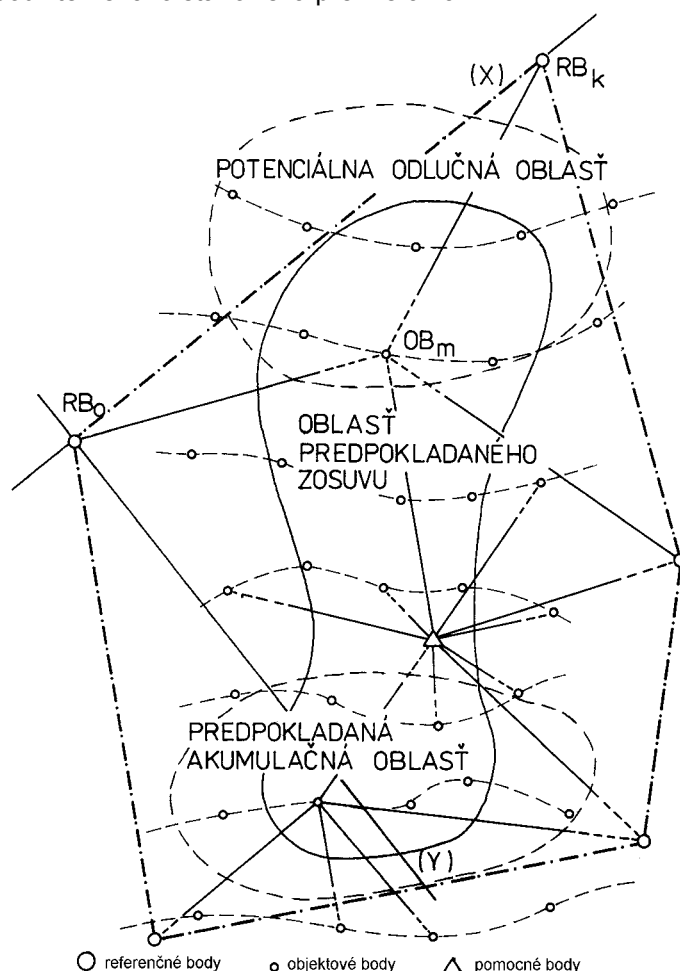
¹ Katedra geodézie a geofyziky F BERG Technickej univerzity, Park Komenského 19, 043 84 Košice
(Doručené 10.9.1996, revidovaná verzia doručená 7.11.1996)

odhadovací (vyrovnávací) model, s akou L_p normou sa použije (MNŠ, robustné, iné), aké typy bivariátnych analýz (medzi epochami) sa použijú a či pôjde o ich spoločné alebo separátne spracovanie, aká deformačná sieť (DS) a s akým dátumom sa použije, či sa uplatní jedno - alebo dvojstupňové spracovanie, akej testovacej stratégii sa dá prednosť a o ďalších faktoroch, ktoré rozhodujú o exaktnosti a komplexnosti realizácie do projektu pojatého modelu (Caspary 1987, 1988; Chrzanovski et al., 1990; Milev et al., 1982; Nemčok, 1982; Niemeier, 1985; Pelzer, 1988; Shi Yimin et al., 1987; Torge, 1985).

Pre deformačné šetrenie svahových porúch, na základe súčasného stavu geodetickej meracej techniky, ako i príslušnej teórie a poznatkov (Caspary, 1988; Chrzanovski, 1990; Klotz et al., 1995; Laica, VGS, 1994; Milev et al., 1982; Shi Yimin et al., 1987), za najvhodnejší DM (ktorý by mal čo najobjektívnejšie modelovať skutočnú realizáciu svahovej poruchy), je možné prijať model absolútny, statický s riešením pomocou MNŠ, s trojrozmerným, epochovým sledovaním bodov na ploche svahovej poruchy pomocou GTS² a koncepciu samostatnej 3D DS s lokálnym dátumom, použitie voľného vyrovnania a spoločného spracovania aktuálnych bivariátnych súborov (Milev et al., 1982a,b; Pelzer, 1984, 1987).

Tvorba DS a jej zameranie

Vhodná geodetická sieť pre sledovanie zosunov, tak ako každá DS, bude pozostávať z množiny referenčných bodov (RB), lokalizovaných mimo predpokladaného priestoru (deformačnej zóny) pohybu terénneho povrchu a z množiny objektových bodov (OB), lokalizovaných v priestore s prebiehajúcimi, resp. očakávanými pohybmi. OB majú s dostatočnou hustotou pokryť deformačnú zónu s primeraným rozšírením aj do okrajových častí (odlučná a akumulčná oblasť, boky zosuvu) a mali by byť usporiadané v profiloch (obr.1,2), približne kolmo na generálny smer, resp. smery zosuvu. OB majú byť ďalej lokalizované tak, aby vzhľadom na danú topografiu terénu mohli byť zamerateľné ako aj použiteľné ako stanoviská pre merania.



² nebudeme uvažovať iné efektívne technológie ako napr. družicové, najmä GSP techniky (Klotz et al., 1995; Reinking et al., 1995), terestrické robotické systémy (Leica, VGS, 1994) a iné

Obr. 1. Geodetická sieť pre sledovanie zosunov.

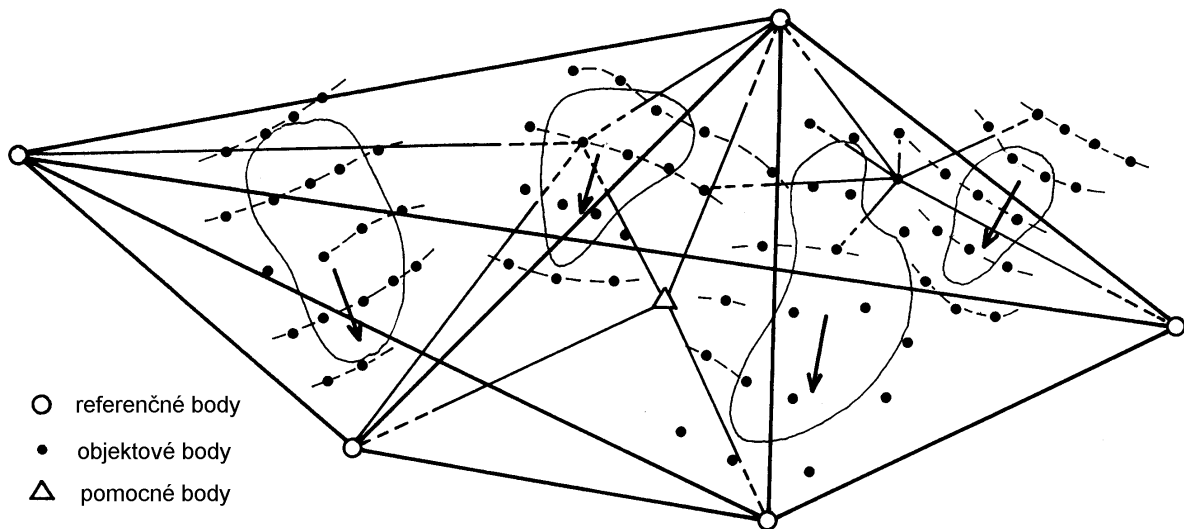
Stabilizácia RB i OB prihliada pri rôznych druhoch svahových porúch na špecifické danosti príslušnej oblasti ako aj na doterajšie všeobecné skúsenosti i odporúčania, ktoré sú dostatočne známe a popísané, napr. (Michalčák et al., 1991; Sütti, 1994; Weiss et al.). Vzhľadom na aplikáciu GTS, stabilizácia musí byť vždy riešená s vhodnými značkami bodov pre ich jednoznačnú 3D definíciu.

Rozmiestnenie RB i OB, okrem uvedeného, bude ovplyvnené prirodzene aj zvoleným sieťovým, resp. observačným systémom. V zásade pre každé rozmiestnenie RB a OB je možné zvoliť akúkoľvek spoločnú 3D sieťovú štruktúru. Pre uvažované svahové deformácie sú však z nich najvýhodnejšie dva typy, výrazne podporované použitím GTS.

Prvým z nich je polygonometrická štruktúra kombinovaná s priestorovými polárnymi zámerami, ktorá umožňuje veľkú flexibilitu siete aj v členitejších, neprehľadných terénoch (obr.1) a v ktorej sa polygonometricky spájajú predovšetkým RB.

Druhý typ predstavuje trigonometrickú štruktúru tiež kombinovanú s priestorovými polárnymi zámerami [t.j. lokálne siete s polárnymi štruktúrami (Sabová, 1992, 1996; Sütti, 1994)], najmä pre skupiny relatívne oddelených zosunov, resp. porúch (obr.2), ako sú napr. svahové poruchy na hrebeňoch Čiernej hory, Líšok, Zvolena a inde (Milev et al., 1982a; Nemčok, 1982; Záruba, 1982).

V oboch typoch geodetických DS sa pre observácie dajú veľmi efektívne použiť GTS. Súčasné typy týchto prístrojov pri jednej priestorovej zámere poskytujú: priamo meranú priestorovú dĺžku D s $\sigma_D = (2-5)\text{mm} + (1-3)\text{ppm}$, zenitový Z a vodorovný ω uhol s $\sigma_Z \doteq \sigma_\omega = (4-12)''$, nepriamo meranú (prístrojom vypočítanú) vodorovnú dĺžku d , prevýšenie (trigonometrické i lokálne karteziánske) Δh (ΔV), súradnice zameriavaného bodu $C = [X Y Z]^T$ v stanoviskovom 3D karteziánskom systéme a pri dvoch zámerách v móde "chýbajúcich spojnic", naviac 3 dĺžkové prvky. GTS majú značný dosah merania dĺžok, niektoré až do 8-10 km, umožňujú automatizovaný zber a prenos observácií, uplatnenie tzv. koncentrovanej observačnej štruktúry (Torge, 1985), efektívne využitie systému tzv. prechodných stanovísk pri

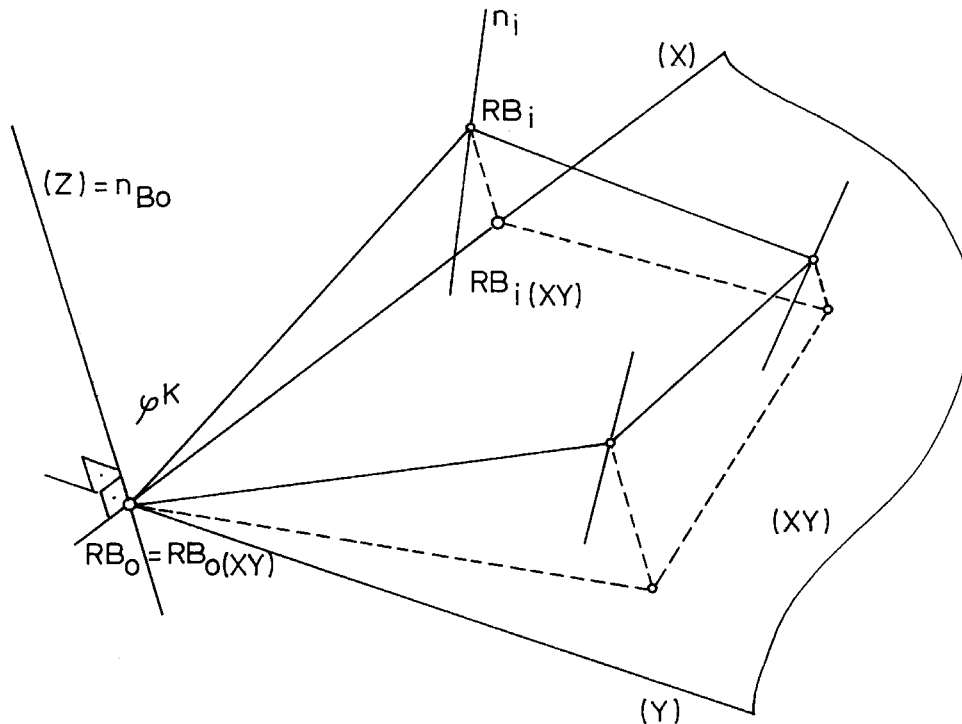


Obr. 2. Kombinovaná trigonometricko - polárna štruktúra siete.

zameriavaní DS [35] a poskytujú celý rad ďalších výhod. Napr. pri $D \leq 500\text{m}$ (zámery na OB), $Z \geq 80^\circ$, $0 < \omega < 400''$ a $\sigma_D = 3\text{mm}$, $\sigma_Z = \sigma_\omega = 6''$ sa dosahujú smerodajné odchýlky v súradniciach určovaného bodu (2-6)mm, čo prakticky pre všetky druhy svahových pohybov vyhovuje.

Pri inštalácii DS pre epochové observácie svahových porúch je potrebné definovať jeho vhodný dátum. Pre 3D samostatné, voľné DS je najúčelnejšie vytvoriť dátum tak, že v jednom RB, napr. RB_0 (obr.3) sa zvolí začiatok 3D karteziánskeho (z hľadiska typizácie: semigeodetického) lokálneho systému S^K . Normála k referenčnej ploche (k aproximujúcej sférickej ploche) bude $n_{RB_0} = (Z)$, os (X) sa "zhmotní" spojnicou RB_0 s iným RB, napr. RB_k (obr.3) a os (Y) bude definovaná k (X) ortogonálne, napr. v ľavo-točivom zmysle. Tento S^K sa použije pre spracovanie meraní zo všetkých epoch. Na topografickom povrchu merané veličiny v jednotlivých epochách sú do S^K transformovateľné (Sütti, 1996; Weiss). V ňom sú bežnými vzťahmi Euklidovskej geometrie sú potom vypočítateľné pravouhlé súradnice RB a OB. Dátum takejto 3D siete definuje 6 dátumových parametrov (Caspary, 1988; Torge, 1985), z ktorých 3 sú súradnice RB_0 : $X_{RB_0} = Y_{RB_0} = Z_{RB_0} = 0$ (alebo

iné zvolené hodnoty) a ďalšie 3 sú súradnice Rb_k , z ktorých $Y_{RBk}=0$ (iná zvolená hodnota) a X_{RBk}, Z_{RBk} sú určené meraním.



Obr. 3. Dátum 3D deformačnej siete.

Ak je priestor svahovej deformácie (povrchová rozloha) malý, cca do 300×300m, vtedy sa na topografickom povrchu namerané hodnoty veličín v DS môžu priamo použiť vo výpočtoch v S^K . Ak je tento priestor väčší, namerané hodnoty sa pretransformujú (korekčnou formou) do S^K a na výpočty sa použijú transformované hodnoty veličín.

Z hľadiska novej, resp. potrebnej lokalizácie S^K do národného polohového dátumu, t.j. do S-JTSK a výškového dátumu, t.j. do Bpv, je vhodné do štruktúry DS (medzi RB), zahrnúť aj niekoľko (2-3) bodov so známymi súradnicami S-JTSK a výškami Bpv, pre prípadnú transformáciu súradníc z S^K do S-JTSK a Bpv.

V ďalšom budeme predpokladať, že v DS sa budú merať veličiny D, Z, ω , ktoré dajú pre epochu t_i observačný vektor

$$L_i^m = [D \ D \dots Z^m Z^m \dots \omega^m \omega^m \dots]_i^T, \quad (1)$$

ktorý po primárnom spracovaní do S^K (Sütti, 1996; Weiss) bude

$$L_i = [DD \dots ZZ \dots \omega\omega.]_i^{T^3} \quad (2)$$

Spracovanie DS

Na základe odporúčaného postupu riešenia DS, observačné vektory L_i, L_j z epoch t_i, t_j sa bivariátne spracujú na základe Gaussovho-Markovovho (odhadovacieho) modelu

³D sú invariantným k súradnicovým systémom

$$v = A d\hat{C} - dL \quad (3)$$

$$\Sigma_L = \sigma_0^2 Q_L,$$

ktorý pre súčasné spracovanie bivariáty z epoch t_i, t_j , pri n observáciách a k určených súradníc v každej epoche, ako aj vzhľadom na zvolenú stratégiu testovacej procedúry (kap.5), bude mať štruktúru

$$\begin{bmatrix} v_i \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i^{RB} & A_i^{OB} \\ & A_j^{RB} & A_j^{OB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\hat{C}_i^{RB} \\ d\hat{C}_i^{OB} \\ d\hat{C}_j^{RB} \\ d\hat{C}_j^{OB} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_i - L^0 \\ L_j - L^0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

kde v_i, v_j sú $n \times 1$ vektory observačných opráv, $A_i = [A_i^{RB} \ A_i^{OB}]$ a $A_j = [A_j^{RB} \ A_j^{OB}]$ sú $n \times (k_{RB} + k_{OB})$, $k_{RB} + k_{OB} = k$ konfiguračné matice DS z jednotlivých epoch rozblokované podľa RB a OB,

$$d\hat{C}^T = \left[(d\hat{C}_i^{RB})^T (d\hat{C}_i^{OB})^T (d\hat{C}_j^{RB})^T (d\hat{C}_j^{OB})^T \right]^T$$

je $2k \times 1$ vektor odhadov súradnicových doplnkov RB a OB, L_i, L_j sú $n \times 1$ vektory observácií podľa (2), $L^0 = f(C^0, \dots)$ je $n \times 1$ vektor približných hodnôt observácií pre každú epochu a $Q_L = \text{diag}(Q_{L_i}, Q_{L_j})$ je $2n \times 2n$ matrica kofaktorov, charakterizujúca presnosť observácií L_i, L_j .

Modelové rovnice, t.j. deterministické vzťahy medzi L a C , na základe ktorých sa vytvárajú

komponenty matíc A a L^0 , sú pre uvažované druhy meraných veličín (1) v S^K známe rovnice

$$D_{km} = \sqrt{(X_m - X_k)^2 + (Y_m - Y_k)^2 + (Z_m - Z_k)^2}$$

$$Z_{km} = \arccos \frac{\Delta V_{km}}{D_{km}} \quad (5)$$

$$\omega_{mkl} = \arctg \frac{Y_l - Y_k}{X_l - X_k} - \arctg \frac{Y_m - Y_k}{X_m - X_k}.$$

Potrebné približné súradnice C^0 oboch skupín bodov sa určia jednoduchými výpočtami v DS v epoche t_i .

Po konštrukcii potrebných matíc, určia sa vyrovnané súradnice RB a OB z oboch epoch t_i, t_j podľa známeho estimátora (Caspary, 1988; Pelzer, 1988)

$$\hat{C} = \begin{bmatrix} \hat{C}_i^{RB} \\ \hat{C}_i^{OB} \\ \hat{C}_j^{RB} \\ \hat{C}_j^{OB} \end{bmatrix} = C^0 + (A^T Q_L^{-1} A)^+ A^T Q_L^{-1} (L - L^0) \quad (6)$$

a $2k \times 2k$ matrica kofaktorov

$$Q_{\hat{C}} = \begin{bmatrix} Q_{\hat{C}_i} & Q_{\hat{C}_{ij}} \\ Q_{\hat{C}_{ji}} & Q_{\hat{C}_j} \end{bmatrix} \quad (7)$$

vektora \hat{C} , charakterizujúca jeho presnosť. Z nich sa ďalej určí odchýlkový vektor

$$\delta\hat{C} = \begin{bmatrix} \delta\hat{C}^R \\ \delta\hat{C}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{C}_j^R - \hat{C}_i^R \\ \hat{C}_j^0 - \hat{C}_i^0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

so subvektormi osobitne pre RB a OB, ako aj jeho kofaktorová matica

$$Q_{\delta\hat{C}} = Q_{\hat{C}_i} + Q_{\hat{C}_j} - Q_{\hat{C}_{ij}} - Q_{\hat{C}_{ji}} = \begin{bmatrix} Q_{\delta\hat{C}}^R & Q_{\delta\hat{C}}^{R0} \\ Q_{\delta\hat{C}}^{0R} & Q_{\delta\hat{C}}^0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

ktorej submatice prislúchajú subvektorm $\delta\hat{C}^R, \delta\hat{C}^0$.

Vektor odchýlok (8) obsahuje pre každý RB aj OB (všeobecne len bod B_m) rozdiely vyrovnaných súradníc v epochách t_i, t_j

$$\delta\hat{C}_m = \begin{bmatrix} \delta\hat{X} \\ \delta\hat{Y} \\ \delta\hat{Z} \end{bmatrix}_m = \begin{bmatrix} \hat{X}_j - \hat{X}_i \\ \hat{Y}_j - \hat{Y}_i \\ \hat{Z}_j - \hat{Z}_i \end{bmatrix}_m, \quad (10)$$

ktoré sú primárnymi informáciami o prípadných priestorových zmenách RB medzi epochami t_i, t_j a o deformačnom správaní sa svahovej poruchy (body OB) v tomto časovom úseku. Hodnoty zložiek vektorov $\delta\hat{C}_m$, resp. $\delta\hat{C}$ majú rôznu veľkosť a na základe nich je potrebné pomocou objektívnych kritérií- vhodných matematických aparátov (teória rozhodovania, teória testovania hypotéz) rozhodnúť o tom, ktoré zložky vektorov $\delta\hat{C}_m$, resp. $\delta\hat{C}$ je možné považovať s určitou pravdepodobnosťou za významne veľké, teda príslušný RB či OB za reálne posunutý v období $\Delta t_{ij} = t_j - t_i$.

Testovanie vektora odchýlok

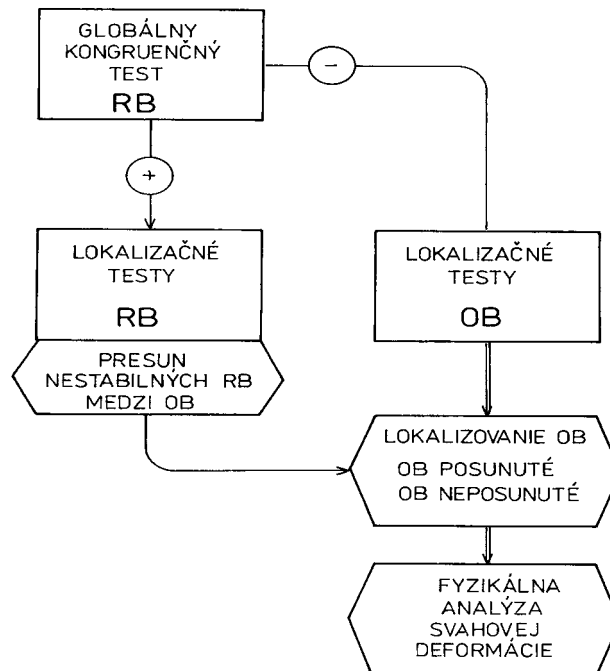
Pre testovanie vektora $\delta\hat{C}$ je možné zvoliť rôzne testovacie stratégie (Caspary, 1988; Niemeier, 1985; Pelzer, 1984, 1988). Pre svahové deformácie, vzhľadom na špecifickosti tohoto deformačného javu, za optimálnu je možné považovať testovaciu procedúru, schématicky znázornenú na obr.4.

V zmysle nej (so zjednodušeným výkladom), najprv sa preveria RB z hľadiska svojej stability medzi epochami, keďže podľa zvoleného DM všetky zmeny OB sa budú vzťahovať k RB a teda tieto majú byť v celom období deformačného prešetrenia svahového objektu stabilné. Stabilita všetkých RB, t.j. v celom bodovom poli RB, sa preverí globálnym kongruenčným testom (Caspary, 1988; Niemeier, 1978, 1985), pre ktorý sa formuluje nulová hypotéza: $H_0: E(\delta\hat{C}_i^R) - E(\delta\hat{C}_j^R) = 0$, vyjadrujúca predpoklad, že RB zostávajú v čase Δt_{ij} stabilné. Táto H_0 sa konfrontuje so skutočnosťou a na určitej zvolenej pravdepodobnostnej hladine sa alebo pripúšťa (ako vyhovujúca realite) alebo zamietá. Tieto možné stanoviská k stabilite RB sa akceptujú na základe porovnania testovacej štatistiky pre kongruenčné testy

$$T = \frac{\Omega_{\delta\hat{C}^R}}{s_0^2 \nu_2} \sim F(\nu_1, \nu_2) \quad (11)$$

(kde $\Omega_{\delta\hat{C}^R} = \delta\hat{C}^{R T} Q_{\delta\hat{C}^R}^+ \delta\hat{C}^R$ je kvadratická forma súradnicových odchýlok u RB, s_0^2 je z vyrovnania získaný aposteriórny variančný faktor a $\nu_1 = n - k + d$, $\nu_2 = k - d$ sú stupne voľnosti F- rozdelenia náhodnej premennej T) a jej kritickej hodnoty pre hladinu významnosti $1 - \alpha$: $F_{\alpha}(1 - \alpha; \nu_1, \nu_2)$. Ak $T \leq F_{\alpha}$,

pripúšťame stabilitu RB a pristúpime k testovaniu OB, ak $T > F_{\alpha}$, H_0 sa zamieta, čo signalizuje, že aspoň jeden z RB bol signifikantne priestorove posunutý a nie je možné ho ďalej používať ako referenčný základ na popis reálnej kinematiky OB v priestore deformačného úkazu.



Obr. 4. Schéma testovacej procedúry.

Po preukázaní nestability RB je potrebné identifikačnými (lokalizačnými) testami vyšetriť, ktorý, resp. ktoré RB je treba považovať za nestabilné a tieto (najmä môžu byť v okrajových pásmach deformačnej zóny) preradiť medzi OB. Identifikačné testy sa realizujú rôznymi procedúrami, ako napr. metódou dekompozície implicitne formulovanej H_0 , Choleského dekompozíciou $\Omega_{\delta C^R}$, sukcesívnym rozkladom $\Omega_{\delta C^R}$, metódou maximálnej zložky v $\Omega_{\delta C^R}$, S-transformáciou a ďalšími postupmi (Caspary, 1988; Chrzanovski, 1990; Niemeier, 1985). Po preradení všetkých nestabilných RB medzi OB (resp. po ich vyradení z bodového poľa vôbec), pristúpi sa k identifikačným testom OB (tiež uvedenými metódami), výsledkom ktorých je zistenie, ktoré konkrétne OB je možné považovať za posunuté (smerove aj veľkostne) a ktorých OB sa pohyby v deformačnej zóne svahovej poruchy nedotkli v čase Δt_j . Takto získané numerické výsledky o veľkosti pohybu OB a ich kategorizácia na posunuté a neposunuté OB sa dopĺňajú aj vhodnými grafickými zobrazeniami a popismi pohybu jednotlivých OB.

Záver

Z geodetických meraní a ich spracovaní na báze prijatého DM sa získa matematicko-štatisticky formalizovaný objektívny obraz o pohybe OB, teda budú k dispozícii reálne, časovo diskkrétne snímky o geometrických zmenách OB voči RB resp. o celkovej kinematike svahového deformačného procesu. Aby sa mohli prijať opatrenia na jeho dezaktivizáciu resp. prognózovať jeho ďalší vývoj, je potrebné vykonať aj fyzikálnu analýzu celého deformačného javu na základe jeho kinematického obrazu, ktorá je zrejme odlišná od prípadu k prípadu podľa príslušných geologických, hydrogeologických, geotechnických, geomorfologických, pôdnych a iných podmienok. Získať geodetickou metódou dobré epochové (časové) obrazy z priebehu celej svahovej deformácie, ako to vyplýva teda z uvedenej metodiky, vyžaduje:

- poruchové oblasti (objekty, plochy) vhodne diskretizovať pomocou OB,
- vo vhodných epochách určiť ich priestorové zmeny vzhľadom k overeným RB,
- testovať výsledky najmä pre plazivé, pomalé pohyby, resp. na okrajoch priestoru, kde sa očakáva, resp. sa už realizuje zosuv, či iný druh svahovej poruchy.

Pre geometrickú analýzu priebehu poruchy v celom observačnom období, t.j. od začiatkovej (nultej) epochy až po poslednú, je z mnohých hľadísk výhodné použiť aj analýzu výsledkov zo všetkých epoch súčasne, t.j. vykonať ju na multivariátnom modeli (simultánne) (Illner, 1983; Sütti, 1991).

Literatúra

- Bartha, G. et al.: Kinematical analysis of vertical movements above working pits. *Acta Geod., Mont. Hung.*, Vol. 19, 1984, 3-4, pp 189-196.
- Boljen, J.: Statische, kinematische und dynamische Deformationsmodelle. *Zeitsch. f. Verm. Wesen*, 109, 1984, 9, 461-468.
- Boljen, J.: Dynamische Netzbetrachtung. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung I., Wittwer, Stuttgart 1980.
- Caspary, W. et al.: Robust estimation in deformation models. *Survey Review* 29.223 (Jan. 1987), 29-45.
- Caspary, W. F.: Concepts of Network and Deformation Analysis. *School of Surv. Univ. of N.S.W., Kensington* 1988.
- Chrzanowski, A. et al.: Deformation Monitoring, Analysis and Prediction. In: *Proceed. XIX FIG Congress, 604.1/1 Helsinki 1990*, 84-97.
- Illner, I.: Multivariate Deformationsanalyse. In: Joó, J. et al. (Eds.): *Deformation Measurements, Akadémiai kiadó, Budapest* 1983.
- Klotz, J. et al.: Grossräumige GPS-Netze zur Bestimmung der rezenten Kinematik der Erde. *Zeitsch. f. Verm. Wesen*, 1995, 9, 449-459.
- Koch, K. R.: Modelle für die Parameterschätzung bei der Deformationsanalyse. *Zeitsch. f. Verm. Wesen*, 1980, 4, 198-195.
- Leica, VGS: Erdrutschung beim Schloss Chillon. *Verm. Photogr. Kulturt.* 192, 1994, 8, 358-386.
- Michalčák, O. et al.: Inžinierska geodézia. *Vybrané inž.-geodet. úlohy*, STU Bratislava 1991.
- Milev, G., et al.: Methoden zur Untersuchung der Rutschungserscheinungen an der Schwarzmeerküste. In: *Beitr. V. Int. Symp. f. Markscheidewesen, Varna* 1982a.
- Milev, G., et al.: Einige Probleme bei der geodätischen Untersuchung von Rutschungserscheinungen. In: *Beitr. III. Int. Symp. Deformationsmessungen mit geod. Methoden, Budapest* 1982b.
- Nemčok, A.: Zosuvy v slovenských Karpatoch. *Veda, Bratislava* 1982.
- Niemeier, W.: Zur Kongruenz mehrfach beobachteter geodätischer Netze. *Wiss. Arb. Fachr. Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 88, Hannover* 1978.
- Niemeier, W.: Deformationsanalyse. In: Pelzer, H. (Hrsg.): *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II.*, Wittwer, Stuttgart 1985.
- Niemeier, W.: Anlage von Überwachungsnetzen. In: Pelzer, H. (Hrsg.): *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung I.*, Wittwer, Stuttgart 1980.
- Papo, H. et al.: Kinematic analysis of deformations. In: *Proceed. XVI FIG Symp., Montreaux 1981, Vol. II.*, pp 6-11.
- Pelzer, H.: Allgemeine Modelle zur Erfassung von Bewegungen insbesondere von Rutschungserscheinungen. In: *Beitr. Geodät. Method. z. Bestimm. v. Veränderungen der Erdoberfläche, Sofia* 1984.
- Pelzer, H.: Statische, kinematische und dynamische Punktfelder. In: Pelzer, H. (Hrsg.): *Geodät. Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II.*, Wittwer, Stuttgart 1985.
- Pelzer, H.: Deformationsuntersuchungen auf der Basis kinematischer Bewegungsmodelle. *Allg. Verm. Nachr.* 94 (1987), 2, 49-62.
- Pelzer, H.: Ingenieurvermessung. Deformationsmessungen. *Wittwer, Stuttgart* 1988.
- Reinking, J. et al.: Zur Analyse und Beobachtung grossräumiger GPS-Netze für geodynamische Untersuchungen. *Allg. Verm. Nachr.* 1995, 6, 221-231.
- Sabová, J.: Polohové polárne siete a polárne pretínania. *Geod. a kart. obzor*, 38/80 (1992), 12, 245-250.
- Sabová, J.: Lokálne geodetické siete s polárnou štruktúrou. *Dokt. diz. práca, TU Košice* 1996.
- Shi Yimin et al.: Eine Zwei-Phasen Lösung für Überwachungsnetze nach der L_1 -Norm. *Allg. Verm. Nachr.* 1987, 8-9, 299-308.
- Slivovský, M., Bitterer, L.: Sledovanie a kontrola zosuvu v Liptovskej Ondrášovej geodetickým meraním. In: *Zb. "Inž. geol. prieskum stability svahov-metódy jej zabezpečovania"*, SVTS-DT Košice 1973.
- Sütti, J.: Multivariátna analýza deformačného modelu. *Geod. a kart. obzor*, 37/79 (1991), 6, 114-118.
- Sütti, J.: Deformačné merania s voľnými stanoviskami. *Geod. a kart. obzor*, 39/81 (1993), 3, 49-55.
- Sütti, J. et al.: Geodetické siete s koncentrovanými meraniami. *Geod. a kart. obzor*, 39/81 (1993), 12.
- Sütti, J.: Lokálne siete merané z prechodných stanovísk. *Geod. a kart. obzor*, 40/82 (1994), 3, 48-53.
- Sütti, J.: Transformácia meraných veličín do výpočtových priestorov. *Rukopis, TU Košice* 1996.
- Weiss, G. et al.: Lokálne geodetické siete I. *Rukopis, TU Košice*.

Torge, W.: Geodätisches Datum und Datumstransformation. *In: Pelzer, H. (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung I., Wittwer, Stuttgart 1985.*

Záruba, O. et al.: Landslides and their Control. *Academia, Praha 1982.*