

Meranie svahových pohybov geodetickými metódami

JOZEF FEKEČ

IGHP, n. p., 010 51 Žilina

Doručené 11. 7. 1984

Измерения движений склонов геодезическими методами

Одним из прямых методов определения активности движений склонов является определение пространственных изменений геодезического точечного поля. Самыми распространёнными методами являются методы тригонометрические и нивеляционные, которые применительны на большинстве склоновых движений. При соблюдении технологии измерений и соответствующего подбора аппаратуры можно получить достаточно точные результаты.

Measurement of the slope movements by geodetical methods

One of the direct methods to detect the activity of slope movements is determination of the spacial changes of a geodetical point field. Most commonly used are trigonometric and levelling methods, applicable to most slope movements. By adhering to the correct technology of measurement and adequate choice of the equipment it gives sufficiently precise results.

Svahové pohyby svojimi deformačnými účinkami nepriaznivo pôsobia na investičnú činnosť spoločnosti, pretože ohrozujú, resp. ničia líniové stavby, investičnú a bytovú výstavbu, vodné toky, lesný a pôdny fond.

V súčasnosti je na Slovensku zaregistrovaných cca 10 000 svahových porúch, ktoré predstavujú 3 ‰ jeho celkovej plochy. Priamo ohrozujú 800 úsekov štátnych ciest v celkovej dĺžke 270 km, 127 úsekov železničných tratí v dĺžke 46 km, devastujú pôdu a les na ploche 1483 km² (Nemčok, 1982).

Predpokladom zamedzenia svahových pohybov a ich účinkov je predovšetkým poznanie ich príčin. V oblasti ich skúmania je dôležité poznať mechanizmus a rýchlosť pohybu, jeho veľkosť a smer napr. v závislosti od časového intervalu, poveternostných podmienok a pod.

Prednosťou geodetických metód zisťova-

nia priestorových zmien svahových pohybov je ich pohotovosť, hodnovernosť výsledkov a zistenie skutočných hodnôt pohybu svahovej poruchy za časový interval.

Geodetické metódy sa v súčasnej etape komplexného inžinierskogeologického prieskumu a výskumu svahových porúch stali jeho organickou a nepostrádateľnou súčasťou. V zúženom pohľade je spolupráca geodeta a inžinierskeho geológa v priamej závislosti od efektívnosti celkového výsledku skúmania svahovej poruchy.

Metodický postup geodetických prác vyplýva z komplexného programu výskumných a prieskumných prác a zahŕňa rad činností.

Prípravné práce sa skladajú z podrobnej prehliadky svahovej poruchy, s geológom sa pri nich konzultuje otázka jej rozsahu, tendencie jej rozširovania a pravdepodobná veľkosť pohybov. Po získaní základných charakteristík svahovej poruchy sa prerokúva rozvrh geodetického systému bodov, jeho stabilizácia, časový interval medzi dvoma susednými meraniami v najbližšom období, ako aj pravdepodobný celkový čas geodetických meraní.

Z hľadiska efektívnosti geodetických prác je dôležité podrobne sa zaoberať otázkou rozlišovacej presnosti ich výsledkov. V tejto etape prác geodet na základe poznatkov o svahovej poruche rozhoduje o aplikácii niektorej geodetickej metódy alebo o kombinácii metód, čo býva častejšie.

Etapa prípravných prác sa končí zabezpečením vhodných mapových podkladov, preštudovaním a zhodnotením všetkých prípadných predchádzajúcich meraní, zhodnotením existujúcej trigonometrickej a nivelačnej siete a jej využitím pri vlastných prácach. Pre geodeta je veľmi výhodné, keď sa v etape prípravných prác aspoň v koncepcii vyhotoví inžinierskogeologická mapa.

Prípravné obdobie zahŕňa závažné prá-

ce, od ktorých zvládnutia do značnej miery závisí efektívnosť geodetických prác, ako aj ich využiteľnosť a interpretácia.

V projekčných prácach sa ideové zámeru spracúvajú do konkrétnej podoby a je povinnosť vychádzať pri nich z faktorov uvedených v časti o prípravných prácach a brať ich do ohľadu. V projekte geodetických prác sa veľmi podrobne rozpracúva rozvrh geodetického systému, jeho stabilizácia a signalizácia, metodika určovania priestorových zmien bodov, rozbor presnosti určujúcich prvkov geodetických metód, stupeň matematického spracovania nameraných hodnôt, výber prístrojov a ekonomické náklady na merania. Projekt geodetických prác sa dopĺňa údajmi o termínoch odovzdávania výsledkov a spolupráci s inými odbornými skupinami zainteresovanými na probléme skúmania svahovej poruchy.

Pod pojmom rozvrh bodového systému a jeho stabilizácie sa rozumie jeho vytýčenie v teréne a stabilizácia. Vytýčovanie sa vykonáva jednoduchými alebo presnými meračskými metódami, a to vždy v závislosti od zložitosti terénu a požiadaviek geológa. Bodové pole pozostáva z pevných a pozorovacích bodov. Pevné body tvoria referenčnú sústavu a na jej vybudovanie sa kladú veľmi vysoké odborné nároky. Podľa funkčnosti sa pevné body rozdeľujú na observačné, orientačné a zaisťovacie. Body sú často polyfunkčné, napr. observačný bod býva pre iné body orientačným bodom a pod. Ich skladba závisí od zložitosti reliéfu terénu a od aplikovanej meračskej metódy. Podľa našich skúseností 4—6 pevných bodov predstavuje minimum.

Pozorovacie body sa na svahovej poruche budujú tak, aby sa mohol maximálne vyjadriť pohyb celej svahovej poruchy a jej jednotlivých foriem (bloky, plošné, prúdové zosuny a pod.). Niekedy treba pozorovacie body do širšieho okolia umiest-

niť tak, aby sa odlišila pohybujúca sa časť svahovej poruchy od pevnej.

Stabilizácia bodového poľa môže byť v zásade trvalá alebo dočasná. Voľba závisí od vyžadovanej rozlišovacej presnosti výsledkov geodetických meraní, od predpokladanej celkovej dĺžky merania, spoločenskej závažnosti problému a prístupnosti dopravných prostriedkov k vytýčenému miestu. V našej praxi sa veľmi dobre osvedčila stabilizácia trvalého charakteru zabudovaním výpažnice s priemerom od 230 do 300 mm (na doterajších 20-ich lokalitách svahových porúch bolo zabudovaných viac ako 130 pevných bodov a viac než 600 pozorovacích bodov). Do ústia výpažnice zabudujeme dostreďovacie zariadenie, ktoré umožňuje aplikovať nútenú centralizáciu, upevniť na bod uhlomero-vý prístroj, diaľkomer, signálny terč alebo odrazový hranol.

Bodové pole iného ako trvalého charakteru sa stabilizuje všade tam, kde sa dĺžka sledovania obmedzuje na krátke obdobie, kde treba začať merať a získať prvé informácie o svahovej poruche okamžite. Tu je vcelku pestrý výber stabilizačného materiálu, a to od najjednoduchších po zložitejšie spôsoby (od dreveného či železného kolíka po zabetónovaný polygónový kameň a pod.).

Podľa všeobecného pravidla stačí zapustiť výpažnicu 0,5 m do pevného podlažia. Výnimky sú možné a závisia od geologickej stavby v mieste budovania bodov. Pozorovacie body sa zvyčajne stabilizujú do hĺbky 1,6–2,0 m. Výška pevných bodov pod terénom je vždy 1,3 m a výška pozorovacích bodov závisí od aplikovanej geodetickej metódy. Takto vybudovaný bod sa ešte dopĺňa o výškovú značku na zisťovanie vertikálnej zložky priestorovej zmeny.

Výber geodetickej metódy alebo metód zisťovania priestorových zmien bodového poľa závisí od svahovej poruchy, vyžado-

vanej rozlišovacej presnosti, celkového času merania, prístrojového vybavenia a ekonomických možností. Aplikovaná geodetická metóda — častejšie metódy — musí zaručovať splnenie vyžadovanej presnosti výsledkov meraní, umožniť stanoviť určujúce prvky metódy a aplikáciu vyrovnávacieho počtu pri matematickom spracúvaní nameraných hodnôt.

V našej praxi sme použili nasledujúce aplikované geodetické metódy: metóda zámernej priamky (Liptovská Mara, Lubietová), trigonometrická metóda (Bánovce n/Bebravou, Bytča, Liptovská Mara, Podhradie, L. Potok), mikrotiangulačná metóda (Handlová, Harvelka, Homôľka, Lubietová, Nitrianske Rudno, Okoličné, Liptovský Potok, Turany, Veľká Čausa, Veľká Lehôtka, Liptovský Mikuláš, Lisková), polárna metóda (Oravský Podzámok, Liptovský Potok), geometrická nivelácia (Dudince, Liptovská Mara, Turany, Okoličné, Nitrianske Rudno, Oravský Podzámok, Podhradie), trigonometrická nivelácia (Bánovce n/Bebravou, Bytča, Harvelka, Homôľka, Lubietová, Oravský Podzámok, Veľká Čausa, Veľká Lehôtka, Liptovský Potok, Liptovský Mikuláš, Lisková).

Metóda zámernej priamky sa používa tam, kde je smer pohybu známy, v priebehu meraní sa výrazne nemení a kolmý priemet vektora je na charakterizovanie pohybu svahovej poruchy postačujúci. Ďalšou podmienkou aplikácie tejto metódy je možnosť stabilizovať dva pevné — observačné, 4–6 pevných — orientačných alebo zaistovacích bodov a zoradenie pozorovacích bodov do priamky medzi pevné observačné body. Priamka sa orientuje kolmo na predpokladaný pohyb.

Pri metóde zámernej priamky sa poloha pozorovacích bodov určuje, pokiaľ je to možné, z oboch strán priamky tak, aby sa získali dve nezávislé merania, cenná kontrola výsledkov, ako aj skutočná presnosť merania.

Princíp trigonometrickej metódy spočíva v určovaní horizontálnych (vertikálnych) uhlov v sieti pevných a pozorovacích bodov. Trigonometrická metóda sa aplikuje na svahových poruchách, ktorých terénny tvar umožňuje rozvrhnúť sieť pevných bodov so vzájomnou viditeľnosťou, alebo vytvárajú trojuholníkový refazec, príp. iný geometrický tvar. Ďalšou podmienkou aplikácie trigonometrickej metódy je dobrá viditeľnosť pozorovaných bodov, ako aj to, aby sa zámery na ne pretínali pod priaznivým uhlom (60° — 120°). Sieť pevných bodov sa rozvrhuje tak, aby sa každý pozorovaný bod určoval najmenej z dvoch, ešte lepšie z troch pevných bodov.

Polohové (výškové) zmeny bodov sa určujú z rozdielov vodorovných (výškových) smerov medzi dvoma susednými meraniami analytickým alebo analyticko-grafickým spôsobom. Veľkosť a smer polohovej zmeny sa určuje zostrojením chybového trojuholníka. Pri tejto metóde sa v sieti pevných bodov určujú všetky prvky (uhly, dĺžky), v sieti pozorovacích bodov iba vodorovné alebo aj vertikálne uhly. Medzi najpoužívanejšie uhlomerné prístroje patrí Wild T3, T2, OT-02, Theo 010 a Theo 020. Z dĺžkomerov si možno vybrať niektorý z typov AGA 700, Eldi 2, resp. EOT 2000. Možnosti využitia trigonometrickej metódy sú veľmi široké a dajú sa ňou dosiahnuť veľmi dobré výsledky.

Modifikáciou trigonometrickej metódy je mikrotriangulácia. Bodové pole pevných a pozorovacích bodov sa rozvrhne tak, aby vytvárali trojuholníkové refazce. Rozmer siete určujú merané vzdialenosti základní na začiatku a na konci refazca. Táto metóda pri dodržaní stanovených technologických postupov poskytuje dobré výsledky. Jej výhodou je možnosť sledovať členité zosuvné územia veľkej rozlohy.

Pri polárnej metóde sú určujúcimi prvkami horizontálne uhly a dĺžky. V pra-

xi sa využíva zriedkavo a aplikuje sa tam, kde konfigurácia terénu nedovoľuje vybudovať dostatočný počet pevných — observačných bodov. Pri tejto metóde treba mať k dispozícii vhodné prístrojové vybavenie na uhlové a dĺžkové meranie.

Predpokladom dobrých výsledkov je dostatočný počet (4—6) orientačných bodov na získanie orientačnej osnovy pre každý pevný — observačný bod. V opačnom prípade nemožno dostať hodnoverné výsledky. Je výhodné, keď sa pre každý pozorovací bod získajú dve nezávislé merania.

Výšková zložka priestorovej zmeny bodového poľa sa zisťuje nivelačnými meraniami. Jestvuje niekoľko spôsobov a treba z nich vybrať ten, ktorý spĺňa požiadavky na výsledky merania. Často sa nivelačnými meraniami určujú deformácie stavebného objektu.

Všeobecne, ale aj podľa našich skúseností je najrozšírenejšou metódou geometrická a trigonometrická nivelácia. Výber prístrojov a pomôcok je vcelku veľmi ľahký, pretože sú v širokom sortimente. Pri nivelačných meraniach by sa nemalo zabúdať na to, aby prístroje boli správne zrekifikované a pred každým meraním skontrolované. To isté platí aj o nivelačných latách, pri ktorých treba poznať ich rozmer.

Analytické výpočty sa pri každej aplikovanej meračskej metóde zisťovania priestorových zmien bodového systému riadia podľa svojho matematického modelu.

Všeobecne už pri praktickom meraní treba posudzovať, či skutočné odchýlky sú v súlade s teoretickým predpokladom (napr. pri uhlovom meraní uzávery skupín a odchýlky jednotlivých smerov v skupinách). Pri nivelačných meraniach prevýšenia sa a späť nesmú prekročiť istú maximálnu hranicu. Vždy záleží na tom, aké merania sa vykonávajú. Ďalej sa pokračuje vo vyrovnávaní podľa niektorej me-

tódy a vo výpočte súradníc bodového poľa alebo priamo vo výpočte rovinných pravouhlých súradníc, ak nároky na presnosť výsledkov nie sú veľké, resp. v prípade veľkých polohových či výškových zmien za sledovaný časový interval. Analytické výpočty treba ukončiť testovaním zistených polohových a výškových zmien bodového poľa. Testovaním sa zisťuje, či polohová alebo výšková zmena bodu je výsledkom skutočného pohybu svahovej poruchy alebo dôsledkom nepresností použitej geodetickej metódy.

Výsledky meraní sa posudzujú podľa testu nulovej hypotézy, ktorá má takúto zjednodušenú formu:

Ak vypočítaná základná stredná chyba výsledku zahŕňajúca systematické a náhodné chyby merania s normálnym rozdelením ich pravdepodobnosti výskytu je $m_{\Delta p}$, možno s rizikom 5 % a s 33 % chybným rozhodnutím hovoriť vtedy, keď polohová zmena bodu Δ_p je v intervale

$$I = (m_{\Delta p} \leq |\Delta_p| \leq 2 m_{\Delta p})$$

Keď $\Delta_p \leq m_{\Delta p}$, hypotéza sa prijíma a interpretuje tak, že sa meraním pohyb bodu nepreukázal.

Keď $m_{\Delta p} \leq \Delta_p \leq 2 m_{\Delta p}$, možno o platnosti nulovej hypotézy, že $\Delta_p = 0$, pochybovať.

Keď $\Delta_p > 2 m_{\Delta p}$, možno pochybovať o platnosti nulovej hypotézy a s 5 % rizikom nesprávneho zamietnutia hypotézy možno prijať, že pohyb bodu nastal.

Záverom možno konštatovať:

— Geodetické metódy merania priestorových zmien bodového poľa sa stali samozrejmosťou a nepostrádateľnou súčasťou komplexného inžinierskogeologického prieskumu.

— Používanie geodetických metód si

vyžaduje úzku spoluprácu geodeta s geológom.

— Efektívna práca geodeta predpokladá využitie existujúcich mapových podkladov, základného a podrobného bodového poľa, správnu voľbu prístrojov a pomôcok.

— Voľbu geodetickej metódy ovplyvňuje najmä vyžadovaná presnosť výsledkov meraní, s čím je spätá stabilizácia a signalizácia bodov a ich počet, konfigurácia terénu a ekonomické hľadisko.

— Z praktických skúseností vychodí, že geodetické práce, ich projektovanie a vykonávanie si vyžadujú kvalifikovaných špecialistov s vedomosťami z geológie, geotechniky, s citom pre precízne meranie, ako aj zmyslom pre logickú interpretáciu výsledkov meraní.

Recenzoval T. Mahr

LITERATÚRA

- Bitterer, L. — Fekeč, J. — Slivovský, M. 1975 Aplikácia geodetických metód pri sledovaní deformácií horninových masívov. [Záverečná správa VÚ II-8-7/9.] Manuskript — VŠD Žilina.
- Fekeč, J. — Malgót, J. 1975: Geodetické merania svahových pohybov v Handlovskej kotline. [Výskumná úloha II-8-7/9. Etapová úloha č. 6.] Manuskript — VŠD Žilina, s. 17—34.
- Ingr, M. — Fekeč, J. 1973: Geodetické merania na zosuve v Liptovskej Mare. [Etapová úloha č. 4 základného výskumu II-8-7/9.] Manuskript — VŠD Žilina, s. 13—16.
- Matula, M. et al. 1979: Inžinierskogeologické štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov. Bratislava, VSAV. 336 s.
- Nemček, A. 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. 1. vyd. Bratislava, Veda, VSAV, 320 s.

Measurement of the slope movements by geodetical methods

JOZEF FEKEČ

Slope failures (movements) are a serious adversely acting factor. Deformation effects of slope failures devastate forest and agricultural land resources, endanger and ruin line constructions, housing and public construction.

In the field of their investigation it is important to know the mechanism of movement, velocity of movement, its size and direction as dependent on time interval, weather conditions and the like. At the present time the geodetic methods and their application have become an indispensable part of the complex of engineering-geological investigation and research. The efficiency of investigation and research activities in a narrow point of view is to a great extent influenced by the level of cooperation between individual professions, from our viewpoint between geodesist and geologist. The necessity of cooperation is the more urgent the higher are the demands on the resolution accuracy of measurement, which is corroborated also by our practical experiences. Mutual complementation of knowledge is particularly important in geodetical and geological interpretation of results of measurement.

The methodic procedure of geodetic activities is a logic sequence of individual kinds of activities (preparatory, designing activities, plan of point system, its stabilization and signalling, graphic representation of results of measurement and interpretation of results), the adherence to which is an unconditional imperative.

Ranging among the most important deserving particular attention are preparatory activities, plan of point system and its stabilization, analysis of accuracy and interpretation of results.

The stage of preparatory activities involves those in which we acquaint ourselves with the problem, collect archival and existing materials, determine the range of geodetic activities, consider the probable size of movement during a time unit, and the required accuracy of measurement results.

Elaborated into concrete form within the designing activities are all the knowledge acquired in the stage of preparatory activities and the technical and economic parts are elaborated in more details.

Within practical part individual kinds of activities are already realized in a way they were designed, namely, there begins the activity on the point field tracing (fixed and observed points) and supervision of its stability because of adherence to technology and necessary visibility.

Practical measurements are carried out in keeping with the project or they may be accommodated to actual conditions on the slope failure. It occurs frequently that in the course of measurement — namely when measurements last for a long time (more than five years), it might be necessary to alter the specified interval of measurement, resolution accuracy and also the method of measurement.

In the section of analytical calculations it is important the most economic mathematical model for the calculation of positional rectangular coordinates and elevations be specified, and/or for the calculation of positional and elevation changes and values of mean errors. Advantageous in the multiple repetition of measurements is to elaborate a program and the computations be carried out on a computer.

In conclusion it can be stated that the graphical part is worked out in which the detected positional and elevation changes in point field in the given stage are represented in a suitable manner (vector, contour lines, profile, isolines).

In conclusion it can be stated that the application of geodetic methods in complex engineering-geological investigation of slope failures has proved useful, provides very good results, the interpretation of which assists in revealing the causes of slides, as dependent on needs, precise values of positional and vertical changes in point field.

Preložil O. Simr