

## 14. MERANIE POSUNOV A PRETVORENÍ STAVIEB A ZOSUNOV

Predovšetkým si objasníme pojmy posun, pretvorenie (deformácia) a zosun.

**Posun** je priestorová zmena polohy stavebného objektu, alebo jeho časti, oproti polohe v základnej alebo predchádzajúcej etape merania.

**Pretvorenie** (deformácia) je zmena tvaru stavebného objektu, alebo jeho časti oproti polohe v základnom alebo predchádzajúcom etapovom meraní.

**Zosun** je posun na zosuvnom území. K novej polohe pôdy došlo zmenou nerovnovážneho stavu zeminy na rovnovážny stav.

Pri voľbe metodiky merania posunov a pretvorení stavieb musíme rozlišovať, čo spôsobuje a akým spôsobom vznikajú priestorové zmeny objektu, či ide o javy, ktoré vznikajú ako prirodzený dôsledok konsolidácie postaveného objektu v daných geologických pomeroch, alebo či ide o meranie posunov a pretvorení, ktoré sú výsledkom určitého experimentu, akým môže byť napríklad zaťažovacia skúška. S meraním posunov a pretvorení sa stretávame tiež aj u funkčných objektov, medzi ktoré zahrňujeme vysoké násypy, priehradné telesá, obilné silá, televízne stožiare atď. Povrchová a hlbinná antropogénna činnosť súvisiaca s umelými stavbami (hlboké zárezy a výkopy) a ťažbou minerálov, podmieňuje vznik zosunov pôdy a pretvorení stavebných objektov. V záujme preventívnej ochrany vytvorených hodnôt sa vykonávajú dlhodobé etapovité merania, ktorých cieľom je objasňovať kinematiku zosuvných a poklesových procesov. Na podklade rozsiahlych meraní zvislých pohybov zemskej kôry, hlavne v zónach tektonických zlomov, môžeme predpovedať vznik zemetrasení. Meranie posunov a pretvorení sa uplatňuje aj v experimentálnom výskume, kde sa na zmenšenom modeli stavebného objektu vyhotoveného z ekvivalentného materiálu overuje funkčná schopnosť projektovaného diela.

Meranie posunov a pretvorení ako aj zosuvných procesov môžeme vykonávať geodetickými metódami, a to v relatívnych a absolútnych hodnotách. Meraním sa dá priestorovo v diskkrétnej forme postihnúť celý zložitý priebeh vývoja posunov a pretvorení pozorovaného objektu. Problematika sa zjednodušuje, ak sa meranie vodorovnej a zvislej zložky uskutočňuje oddelene. Voľbu metódy merania podmieňuje tvar a priebeh posunov, resp. pretvorení v závislosti na čase.

Celkovú problematiku tejto kapitoly zúžime na:

- geodetické merania posunov a pretvorení stavebných objektov a konštrukcií vplyvom statického a dynamického zaťaženia,
- geodetické meranie účinkov banskej činnosti na stavebné objekty,
- metódy merania zosuvných procesov,

v ktorých si vyznačíme zásady merania, vyhodnocovania a grafického znázorňovania polohových a zvislých posunov, resp. pretvorení bodového poľa, rozmiestneného na pozorovaných objektoch.

### 14.1 Meranie posunov a pretvorení stavebných objektov vplyvom statického a dynamického zaťaženia

V priebehu stavby a prevádzky vplývajú na stabilitu stavebných objektov a konštrukcií rôzne, často nepredvídané faktory, ktoré spôsobujú posuny a pretvorenia celej konštrukcie. Rozčleňujeme ich do troch skupín podľa vplyvu:

1. geologicko-hydrogeologických podmienok a fyzikálno-mechanického účinku,
2. hlavného (prevádzkového) zaťaženia,
3. vedľajšieho zaťaženia (sneh, námraza, vietor atď.).

Pred odovzdaním stavebných a iných objektov do prevádzky, (napr. mosty, haly, stožiare veľmi vysokého napätia atď.), podrobujú sa objekty predpísanej zaťažovacej skúške. Veľkosť zaťaženia často presahuje o niekoľko desiatok percent predpokladané prevádzkové zaťaženie kontrolovanej konštrukcie. Zaťažovanie sa uskutočňuje postupne a dbá sa pritom, aby nedošlo až k deštrukcii.

Dispozície pre zaťažovaciu skúšku pripravuje projektant. Kontrolným meraním v priebehu zaťažovacej skúšky sa zisťujú celkové priestorové posuny a pretvorenia konštrukcie, sadanie objektu (pilierov u mostov) vybočenie konštrukcie, prípadne naklonenie, či krútenie konštrukcie atď. Merania vykonávame pri rôznom statickom rozložení zaťažovacích síl, a to v etapách:

- pred zaťažovaním konštrukcie,
- pri postupnom zaťažení až po najväčšie povolené zaťaženie,
- stav po odstránení zaťaženia.

Dynamické účinky na stavebnú konštrukciu simulujeme vhodným spôsobom, napr. náhlým uvoľnením zaťažovacieho bremena. Geodetickým meraním ich prakticky nemôžeme postihnúť. Pri veľkej pozornosti merania sa dá určiť len krajná poloha kmitania konštrukcie (krajný rozkmit).

V záujme docielenia očakávaného efektu merania je potrebné pre geodetické metódy zaistiť niekoľko požiadaviek. Medzi ne patrí:

- stanovenie koncepcie zaťažovacej skúšky, jej časový priebeh a rozsah,
- návrh na rozmiestnenie vzťažných a pozorovaných bodov na zaťažovacom objekte,
- vymedzenie vyžadovanej presnosti merania podľa veľkosti očakávaných pretvorení,
- voľba metodiky merania a prístrojového vybavenia,
- spôsob číselného a grafického vyhodnotenia výsledkov merania.

#### **14.1.1 Určenie koncepcie zaťažovacej skúšky a voľba vzťažného a pozorovaného bodového poľa**

Pri určení koncepcie, rozsahu a časového priebehu zaťažovacej skúšky je potrebné z hľadiska geodetických meraní rozhodnúť, či sa budú vyhodnocovať relatívne alebo absolútne posuny pozorovaných bodov na objekte.

Relatívne posuny vymedzujú posun vzájomnej polohy jednotlivých častí stavebného objektu. Absolútnym posunom vyjadrujeme posun vzhľadom ku súboru vybraných bodov – vzťažnému systému (ktorými môžu byť tri body, úsečka, rovina, súradnicový systém atď.) nezávislému na pozorovanom objekte. Zvyčajne nevystačíme s meraním relatívnych posunov, ktoré vzťahujeme k základnému meraniu (východiskovému stavu pred zaťažovaním konštrukcie) alebo k susednému etapovému meraniu. K absolútnemu meraniu posunov a pretvorení pristupujeme vtedy, keď nemôžeme zaistiť relatívne meranie, alebo v prípadoch, ak ide o rozsiahle a dlhodobé meranie v rozsahu niekoľkých dní.

Vzťažný systém vytvárame pri meraní relatívnych i absolútnych posunov. Hlavný účel spĺňa pri meraní absolútnych posunov, keď od vzťažného systému pomocou odmeraných prvkov odvodzujeme absolútne posuny. Pri meraní relatívnych posunov, napr. pomocou zámier na trvalo stabilizované body si overujeme, či sa v priebehu zaťažovacej skúšky nezmenila priestorová poloha geodetického prístroja.

Vzťažný systém musí obsahovať určitý počet vzťažných bodov, ktoré sú nezávislé od zaťažovacieho objektu. Body vzťažného systému sa vhodne spájajú do geodetickej siete, akou môže byť napr. polygón, trojuholníkový reťazec, alebo iný vhodný obrazec. Počet bodov vzťažného systému nemôžeme univerzálne predpisovať, riadi sa podľa veľkosti pozorovaného objektu v daných terénnych podmienkach (obr. 14.1). V zásade na určovanie absolútnych posunov je potrebné mať k dispozícii najmenej dve nadbytočné merania.

Do vzťažného systému sú zaradené všetky body, i tie, ktoré v dobe merania, alebo v období medzi uvažovanými meraniami vykázali posuny. Hodnotenie stability vzťažných bodov robíme na podklade osobitného merania a podľa vyhodnotených výsledkov merania stanovujeme vzťažný systém.



### 14.1.2 Vyžadovaná presnosť merania

Neúmerne vysoké nároky na presnosť merania posunov zvyšujú náklady na meranie a predlžujú meračské výkony a spracovanie výsledkov merania. Zvyšovanie nákladov je v hlavne v stabilizácii a signalizácii vzťažných a pozorovaných bodov. Preto vyžadovaná presnosť merania sa kladie do relácie s očakávanými hodnotami posunov za určitú dobu, ktoré sa vyčísľujú na podklade druhu a rozmeru konštrukcie stavebného objektu a veľkosti zaťažovacích síl. Vyžadovaná presnosť merania je zvyčajne kompromisom dohovoru stavebných a geodetických odborníkov hlavne z dôvodov, že geodetické merania posunov nie sú jedinými metódami, ale sa kombinujú s inými metódami merania.

Ak nie je presnosť merania určená jednoznačne normou, má byť zvolená spravidla o jeden rád vyššie, než sú očakávané posuny stavebného objektu alebo konštrukcie. Vo všeobecnosti, pre vedecko-výskumné merania presnosť merania sa volí v hodnote 1 % z veľkosti očakávaných posunov a pretvorení. Pre praktické účely postačí, ak neistota výsledkov merania neprekročí 5 až 10 % veľkosti očakávaných posunov a pretvorení.

Presnosť a podmienky merania ovplyvňujú aj rozhodnutie, či sa budú merať relatívne alebo absolútne hodnoty posunov. Relatívne hodnoty posunov môžeme určiť s vyššou presnosťou ako absolútne posuny, a to v hodnotách 0,5 až 1 % predpokladaných posunov pozorovaného objektu. Presnosť merania absolútnych posunov závisí od vzdialenosti pozorovaných bodov od systému vzťažných bodov.

Takto vyznačené požiadavky na presnosť merania považujeme len za rámcové. Podľa významnosti merania je správne, ak sú projektantom vyznačené krajné medze, ktoré nesmú prekročiť maximálne chyby v určovaní posunov. Potom pre vybrané prístrojové vybavenie a metodiku merania sa vykoná analýza presnosti merania aplikovaním zákona hromadenia stredných chýb, či sa vlastným meraním neprekročí hodnota maximálnej povolenej chyby pri použití koeficienta konfidencie  $t_\alpha = 2,0$ .

Posuny a pretvorenie meraného objektu v miestach pozorovaných bodov vyhodnocujeme aplikáciou testu nulovej hypotézy o nezmenenej priestorovej polohe bodu. Presnosť výsledkov geodetických meraní posudzujeme podľa empirickej hodnoty úplnej strednej chyby  $m$ , ktorú určíme podľa vzťahu:

$$m = \sqrt{\eta^2 + \sum m_c^2}, \quad (14.1)$$

kde  $\eta$  je empirická stredná náhodná chyba posunu, vyjadruje strednú chybu rozdielu funkcií priamo meraných veličín medzi vyhodnocovanými etapovými meraniami – tzv. vnútorná presnosť merania,

$m_c$  sú empirické stredné systematické chyby posunu, zahrňujú vplyv vonkajších podmienok merania.

Hodnotu základnej strednej chyby odvodíme zo všetkých výsledkov merania a predstavuje ju stredná hodnota empirických stredných chýb, keď počet nadbytočných meraní  $n' > 25$ .

### 14.1.3 Metódy merania posunov a pretvorení

V zásade metódy merania rozdeľujeme na geodetické a negeodetické metódy (podľa niektorých autorov označované aj ako fyzikálne metódy merania, pričom je potrebné zdôrazniť, že geodetické metódy sú v podstate fyzikálne metódy merania).

Rozdiely medzi obidvoma skupinami metód sa postupne zmenšujú, pretože geodetické metódy zásluhou progresívneho rozvoja meračských prístrojov ešte viac zvyrazňujú svoj charakter fyzikálnych metód merania.

Medzi negeodetické metódy sa zaraďujú merania priehybomermi, indikátorovými hodinkami, tenzometrami atď. Uvedenými prístrojmi a pomôckami sa zisťujú predovšetkým relatívne zmeny jednej časti konštrukcie voči druhej, resp. priehyby, dĺžkové zmeny, posun konštrukcie, naklonenie konštrukcie atď.

Voľba optimálnej geodetickej metódy merania a jej zodpovedajúce prístrojové vybavenie podmieňuje vyžadovaná presnosť merania posunov a pretvorení.

Zvislé posuny meriame:

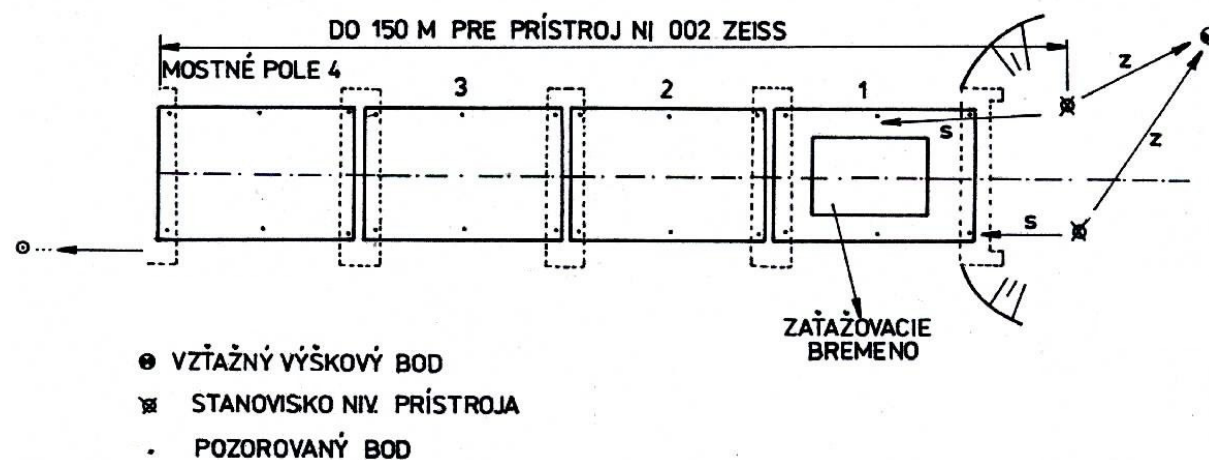
- geometrickou niveláciou, pričom technológia merania sa riadi vyžadovanou presnosťou,
- hydrostatickou niveláciou,
- trigonometrickým meraním prevýšení,
- fotogrametrickými metódami,
- inými metódami.

Meranie vodorovných zložiek posunov môžeme zaistiť:

- metódou zámernej priamky,
- trigonometrickou metódou pomocou uhlového alebo dĺžkového pretínania napred,
- fotogrametrickými metódami,
- inými metódami.

#### 14.1.3.1 Meranie zvislých posunov

**Geometrická nivelácia** je najbežnejšou metódou na meranie zvislej zložky posunov. Zhospodárnenie tejto metódy prinieslo zavedenie kompenzátorových nivelačných prístrojov do praxe, ktoré však nie je možné dobre použiť za veterného počasia a v prostredí s otrasmi, pretože uvedené účinky vyvolávajú kmitanie kompenzátora.

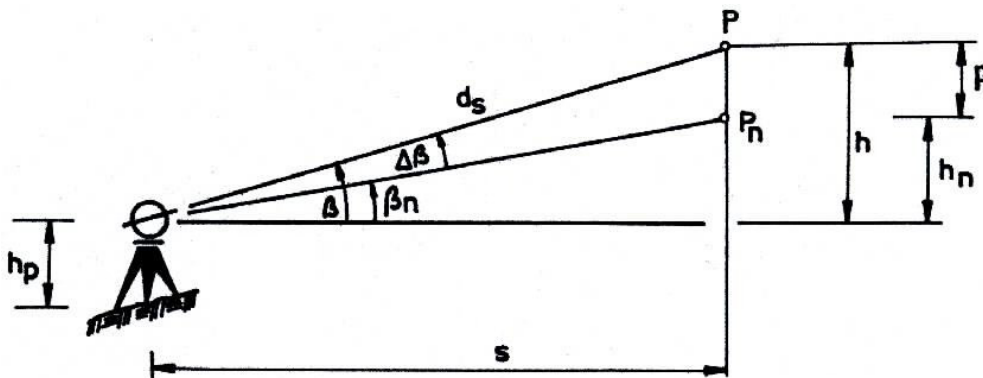


Obr. 14.3. Meranie zvislých posunov geometrickou niveláciou

Podrobnosti technologických postupov geometrickej nivelácie sú uvedené v kapitole 7.3.4. Zvislé posuny na moste (obr. 14.3), ak to ináč nie je možné, meriame dvoma prístrojmi zo zámerami vedľa zaťažovacích bremien na lavy s cm delením. Ak vyžadovaná presnosť zvislých posunov je asi 1 mm, maximálna dĺžka zámier u prístroja Ni 007 Zeiss je asi 60 m a u prístroja Ni 002 Zeiss 150 m. Pri dĺžkach zámier do 40 až 50 m s príslušnou technológiou merania môžeme spoľahlivo určiť výškové zmeny so strednou chybou 2 mm.

**Hydrostatická nivelácia** sa používa napr. na určovanie výškových zmien ťažko prístupných bodov, sadania základov podpôr atď. Má prednosti v tom, že meranie viacerých bodov sa dá vykonať z jedného stanoviska a merací proces automatizovať a sústrediť na kontinuálne meranie prevýšení medzi vzťažnými a pozorovanými bodmi. Postup merania je uvedený v kap. 7.4.1. Presnosť určenia prevýšenia je závislá od vzdialenosti medzi vzťažným a pozorovaným bodom a ďalších faktorov (kvapalinovej náplne, vzduchových bublín v hadici atď.). Môžeme doceliť presnosť merania 0,1 mm i vyššiu.

**Trigonometrické meranie prevýšení** je náhradnou metódou geometrickej nivelácie, keď ju z nejakých dôvodov nemôžeme použiť. Spravidla je to v prípadoch, keď pozorované body sú na ťažko prístupných a vzdialených miestach konštrukcie. Zmenu vo výške bodu  $P$  si odvodíme z obr. 15.4.



Obr. 15.4. Meranie zmeny výšky bodu

Výšku bodu  $P$  pri základnom meraní určíme podľa rovnice

$$h = s \operatorname{tg} \beta + \frac{(1-k)}{2r} s^2 + h_p. \quad (14.2)$$

Výšku bodu z  $n$ -tého etapového merania predstavuje rovnica

$$h_n = s_n \operatorname{tg} \beta_n + \frac{(1-k_n)}{2r} s_n^2 + h_{pn}. \quad (14.3)$$

Z rozdielu rovníc (14.2) a (14.3) vypočítame zmenu výšky bodu  $P$ . Pritom označme si všeobecne zmeny jednotlivých premenných:

$$s_n = s + \Delta s, \quad (\Delta s \text{ je zmena dĺžky účinkom zvislého posunu})$$

$$\beta_n = \beta + \Delta \beta, \quad k_n - k = \Delta k$$

$$h_{pn} - h_p = \Delta h_p, \text{ ktoré zohľadníme pre určenie zmeny výšky bodu:}$$

$$p = \Delta h = h_n - h = (s + \Delta s) \operatorname{tg}(\beta + \Delta \beta) - s \operatorname{tg} \beta + (s + \Delta s)^2 \frac{(1-k_n)}{2r} - s^2 \frac{(1-k)}{2r} + \Delta h_p. \quad (14.4)$$

V rovnici urobíme nasledovné úpravy:

$$s [\operatorname{tg}(\beta + \Delta \beta) - \operatorname{tg} \beta] = s \left( -\operatorname{tg} \beta + \frac{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \Delta \beta}{1 - \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \Delta \beta} \right) = s \operatorname{tg} \Delta \beta (\operatorname{tg}^2 \beta + 1),$$

keď pre malé  $\Delta \beta$  druhý člen v menovateli sa blíži k nule a môžeme ho zanedbať:

$$\Delta s \operatorname{tg}(\beta + \Delta \beta) = \Delta s \operatorname{tg} \beta,$$

keď súčin  $\Delta s \operatorname{tg} \Delta \beta$  sa blíži k nule:

$$(s + \Delta s)^2 \frac{1-k_n}{2r} - s^2 \frac{1-k}{2r} = -s^2 \frac{\Delta k}{2r},$$

keď súčin  $2 s \Delta s$  a  $\Delta s^2$  sa blíži k nule.

Rovnica (14.4) po označených úpravách prejde na tvar

$$p = s (\operatorname{tg}^2 \beta + 1) \frac{\Delta \beta^{\operatorname{cc}}}{\rho^{\operatorname{cc}}} + \Delta s \operatorname{tg} \beta - s^2 \frac{\Delta k}{2r} + \Delta h_p. \quad (14.5)$$

Pri tejto metóde merania si ukážeme, ako postupujeme pri analýze presnosti merania. Premennými veličinami sú  $\Delta\beta$ ,  $\Delta s$ ,  $\Delta k$ ,  $\Delta h_p$ , ktoré sú v lineárnom tvare a do rovnice (14.5) sa dosadzujú podľa príslušného znamienka (podľa obr. 14.4  $\Delta\beta$  je záporné). Podľa zákona hromadenia stredných chýb, strednú chybu v trigonometrickom meraní zvislého posunu vyjadruje rovnica

$$m_p = \sqrt{\left[ s \left( \operatorname{tg}^2 \beta + 1 \right) \frac{m_{\Delta\beta}^{\text{cc}}}{\rho^{\text{cc}}} \right]^2 + (\operatorname{tg} \beta m_{\Delta s})^2 + \left( -s^2 \frac{m_{\Delta k}}{2r} \right)^2 + m_{\Delta h_p}^2} . \quad (14.6)$$

Vstupnými hodnotami analýzy presnosti merania sú predpokladané vzdialenosti  $s$  a výškové uhly  $\beta$ . Podľa zvoleného prístrojového vybavenia a metodiky merania na základe empirických skúseností, alebo pre tento účel vykonaného experimentálneho merania, určíme, resp. zistíme ich presnosť. Keď časový rozdiel medzi skúmanými etapovými meraniami bude malý, potom môžeme predpokladať, že  $m_{\Delta k} \approx 0$  (v literatúre sa uvádzajú zmeny hodnoty koeficienta refrakcie v intervale  $m_{\Delta k} = 0,05$  až  $0,35$ ).

Keď napr.  $s = 75$  m,  $\beta = 30^\circ$ ,  $m_{\Delta s} = 1$  mm,  $m_\beta = 5''$ ,  $m_{\Delta h_p} = 0,3$  mm pri meraní z jedného stanoviska  $m_p = 0,9$  mm. Pri meraní z dvoch stanovísk to bude  $\frac{m_p}{\sqrt{2}} = 0,6$  mm. Za daných podmienok je možné očakávať, že maximálna hodnota neistoty určenia zvislého posunu trigonometrickou metódou neprekročí hodnotu  $t_\alpha \frac{m_p}{\sqrt{2}} = 2 \frac{m_p}{\sqrt{2}} = 1,2$  mm. Pri priaznivejších meračských podmienkach zvislý posun trigonometrickou metódou určíme s presnosťou 1 mm.

**Fotogrametrické metódy** môžeme použiť na meranie zvislých aj vodorovných posunov. S ohľadom na vysokú vyžadovanú presnosť určovania posunov využijeme z nich hlavne analytické metódy pozemnej fotogrametrie. Prednosťou fotogrametrických metód je, že k určitému časovému okamihu môžeme naraz zaregistrovať celú signalizovanú množinu pozorovaných bodov na objekte. Vlastnosťou fotogrametrických metód je skutočnosť, že vyhodnotenie snímok môžeme pre kontrolu kedykoľvek zopakovať. Z hľadiska zaťažovacích skúšok majú nevýhodu v tom, že výsledky meraní nie sú v dispozícii v priebehu skúšok, ale až po vyvolaní a vyhodnotení snímok. Fotogrametrické metódy sa odporúčajú používať ako kontrolné metódy v kombinácii s geodetickými a negeodetickými metódami. Pri 100 m vzdialenosti projekčného centra komory od pozorovaných bodov môžeme docieľiť presnosť v určení priestorových zmien pozorovaných bodov 3 až 5 mm. Na ŽU z analytických metód fotogrametrie používame metódu priamej lineárnej transformácie.

Na meranie **zvislých posunov** ako aj na meranie posunov v ľubovoľnom smere (napr. pri meraní pretvorení v tunelovej rúre atď.) sa používa **Distometer** ISETH Kern. Je to precízny prístroj na meranie zmeny dĺžok pomocou invarového drôtu. Merací rozsah prístroja je 100 mm pri voliteľnej dĺžke invarového drôtu 1 m až 50 m. Presnosť prístroja je 0,02 mm do dĺžky invarového drôtu 20 m. Pri väčších dĺžkach jeho presnosť je  $1 \cdot 10^{-6}$  vzdialenosti.

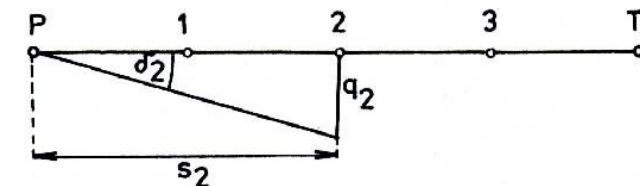
Prístroja sa skladá z troch častí. Silomer a zariadenia na meranie zmeny vzdialenosti sú začlenené do prístroja, ku ktorému sa pripája invarový drôt. Umiestnenie invarového drôtu ku skúmanému objektu a prístroja k vzťažnému bodu sa vykonáva pomocou svorníkov. V strede prístroja sú meracie hodinky na meranie zmeny dĺžky, na meracích hodinách pri okraji prístroja sa registruje sila, ktorá pôsobí na invarový drôt.

#### 14.1.3.2 Meranie posunov vo vodorovnom smere

**Metódu zámernej priamky** používame pri meraní vodorovných posunov v kolmom smere na priamku stabilizovanú dvoma vzťažnými bodmi. Pri zaťažovacej skúške mosta zámernú priamku vedieme okrajom konštrukcie alebo osou mosta. Meranie realizujeme buď pomocou posunu cieľovej značky po meradle, alebo pomocou merania paralaktických uhlov medzi pevnými smermi a smermi na pozorované body, ktoré sú stabilizované na objekte (obr. 14.5). Priame čítanie posunu na meradle

môžeme vykonať tiež pri využití aktívnych svetelných lúčov lasera. Pričný posun sa vypočíta podľa rovnice

$$q_i = s_i \operatorname{tg} \delta_i = \frac{s_i \delta_i^{\text{cc}}}{\rho^{\text{cc}}} . \quad (14.7)$$

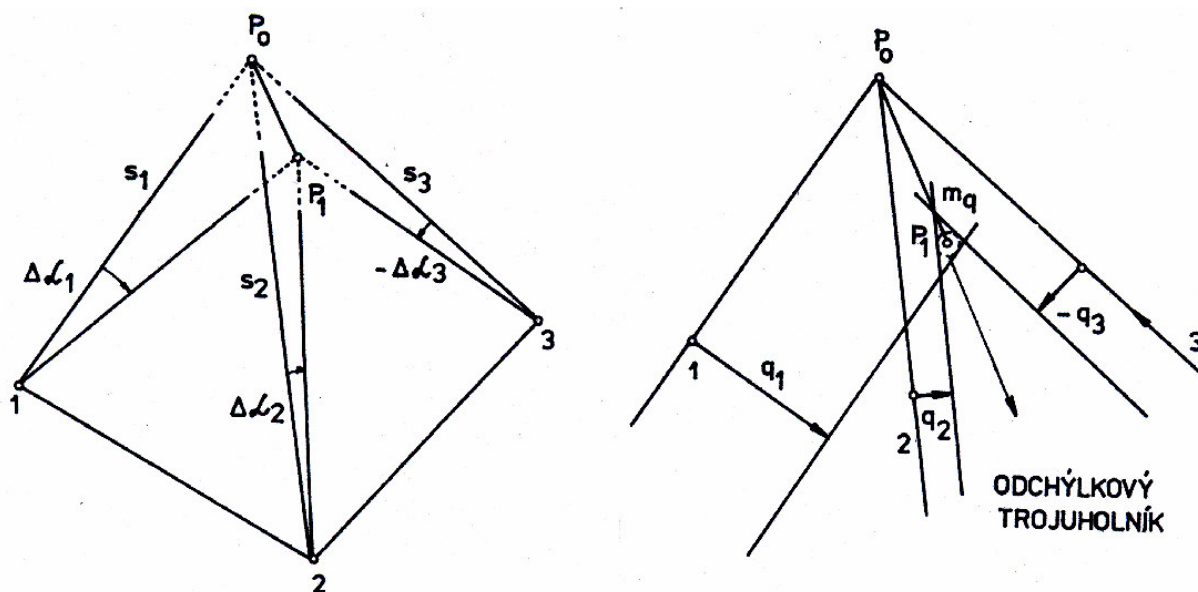


Obr. 14.5. Meranie vodorovných posunov metódou zámernej priamky

Presnosť metódy závisí od presnosti merania zmien paralaktických uhlov. Pri dĺžkach zámier  $s \approx 100$  m a presnosti merania uhlov  $m_\delta = 3''$  očakávame strednú chybu určenia priečných posunov

$$m_q = \frac{s m_\delta^{\text{cc}}}{\rho^{\text{cc}}} = 0,5 \text{ mm}. \quad (14.8)$$

**Trigonometrické metódy** umožňujú meranie vodorovných a zvislých posunov pozorovaných bodov v relatívnych i absolútnych hodnotách, na princípe pretínania napred uhlami alebo dĺžkami. Meranie sa uskutočňuje z dvoch až troch stanovísk prístroja. Posuny určíme na základe rozdielov vodorovných uhlov, resp. dĺžok pri základnom a etapovom meraní.



Obr. 14.6. Grafické určenie polohových posunov bodov

Pri uhlovom pretínaní napred zo známych dĺžok zámier a na základe uhlových zmien medzi dvoma etapovými meraniami určíme vodorovný posun pozorovaných bodov graficky z diagramu zostrojeného vo zväčšenej mierke, napr. 5:1, 10:1 a pod. (obr. 14.6). Pre každý smer určíme priečný posun  $q$  zo vzťahu

$$q_i = s_i \frac{\Delta \alpha_i^{\text{cc}}}{\rho^{\text{cc}}}, \quad (14.9)$$

ktorý vynesieme rovnobežne so smerom  $1P_0$ ,  $2P_0$  atď. Priesečníky smerov vymedzujú odchýlkový trojuholník. Presnosť určenia posunu vyjadrujeme polomerom vpísanej kružnice  $m_q$  do odchýlkového trojuholníka. Počet meraných skupín a voľba prístrojového vybavenia je závislá od vyžadovanej



presnosti určenia posunu. Trigonometrickou metódou môžeme doceliť presnosť určenia posunov v hodnotách do 0,5 mm, t.j. určiť posuny so spoľahlivosťou 1 mm.

So stupňovaním presnosti elektronických diaľkomerov sa otvárajú nové možnosti merania polohových posunov dĺžkovým pretínaním napred. Meranie sa dá zorganizovať tak, aby sme z rozdielov dĺžok v smere zámery určili priamo posuny pozorovaných bodov. Špičkovú presnosť merania dĺžok môžeme doceliť napr. elektronickým diaľkomerom Kern Mekometer ME 5000, a to v hodnote 0,5 – 1 mm. Na docielenie tejto presnosti stanovisko prístroja a cieľa sa musí vybudovať tak, aby umožňovalo nútenú centráciu.

Z iných metód na meranie vodorovných posunov sa používajú precízne optické prevažovače, napr. prístroj Zeiss PZL. Prístroj sa scentruje na vzťažnom bode a pri pozorovaní zdola nahor, na stupnici umiestnenej na pozorovanom bode sa priamo čítajú vodorovné posuny. Presnosť určenia polohových posunov je 1 mm/100 m prevýšenie.

#### 14.1.4 Interpretácia výsledkov merania

Ako sme si ukázali pri jednotlivých metódach merania zvislých i vodorovných posunov, geodetickými metódami môžeme spoľahlivo určiť posuny väčšie ako 1 mm. Je samozrejmé, že túto presnosť môžeme doceliť len pri určitých podmienkach merania a vhodným prístrojovým vybavením. Pri mimoriadne priaznivých podmienkach merania môžeme túto presnosť ešte zvýšiť.

Odmerané výsledky nemôžeme bez správnej interpretácie priamo považovať za odmerané posuny alebo pretvorenia. Interpretáciu výsledkov merania vykonáme na podklade testu nulovej hypotézy, ktorý pre účely merania posunov zjednodušenie znie:

Ak vypočítaná základná stredná chyba merania, zahrňujúca systematické a náhodné chyby merania s normálnym rozdelením ich pravdepodobnosti výskytu je  $\overline{m}_p$ , potom o zvislom posune  $p$  pozorovaného bodu môžeme s rizikom 5 až 32 % chybného rozhodnutia hovoriť vtedy, keď posun je v intervale

$$I \equiv (\overline{m}_p < |p| \leq 2 \overline{m}_p).$$

Keď  $|p| > 2 \overline{m}_p$ , potom s 95 %-nou pravdepodobnosťou môžeme predpokladať, že došlo k posunu bodu. Prípade  $|p| \leq 2 \overline{m}_p$  nemôžeme interpretovať tak, že skutočná hodnota posunu sa rovná nule, ale tak, že meraním nebol preukázaný posun v polohe bodu, lebo jeho zistená veľkosť je ešte v rámci presnosti danej metódy merania.

Výsledky merania vyhodnocujeme v číselnej a grafickej forme. Číselné hodnoty, hlavne v prípadoch väčšieho množstva pozorovaných bodov neposkytujú názorný pohľad na chovanie objektu pri zaťažovacej skúške a dopĺňajú sa vhodným grafickým vyhodnotením.

Grafické vyhodnotenie posunov pozorovaných bodov vykonáme vo forme izočiari vo vodorovnom alebo zvislom smere, axonometrickým zákresom posunov, vektormi, deformačnými čiarami, formou blokdiagramu atď. Grafické znázornenie vykonáme vo vhodnej, ale spravidla odlišnej mierke od mierky zobrazenia objektu.

#### 14.2 Meranie zosuvných procesov

Zosuvné procesy a ich dôsledky sú vážnym, negatívne pôsobiacim prírodným javom. Ohrozujú alebo priamo deformujú celé desiatky kilometrov štátnych ciest, železníc, technické a občianske objekty, devastujú pôdny a lesný fond, narušujú priebeh stavebných prác atď.

Aplikovanie geodetických metód na zisťovanie priestorových zmien železničného telesa a objektov, ktoré sa na ňom nachádzajú, vplyvom zosunov pôdy, je súčasťou komplexnej inžiniersko-geologickej analýzy takýchto území. Geodetické metódy okrem dokumentačných podkladov, majú za úlohu predovšetkým objasniť kinematiku pozorovaných zosuvných oblastí na základe zistených priestorových zmien pozorovaných bodov, vhodne situovaných a stabilizovaných na zosúvajúcom sa svahu. Pri rúťových pohyboch súvisiacich s odtrhnutím blokov hornín, geodetické metódy sa

sústredujú na dokumentáciu výslednej formy takýchto pohybov, ako napr. určenie kubatúry a rozsahu zrútených hmôt, rozsah odtrhovej oblasti atď.

Dosiahnutie efektívnych výsledkov s optimálne vynaloženými investíciami predpokladá spoluprácu medzi geológom, geodetom a stavebným inžinierom a adekvátne metodiku geodetických prác, ktorá zahŕňa:

- a) návrh a realizáciu bodového poľa (počet, dispozíciu, stabilizáciu bodov a pod.)
- b) primeranú metódu merania,
- c) racionálne zvolenú presnosť merania,
- d) optimálny počet meraní a ich časový rozstup a celkovú dĺžku geodetického monitorovania.

#### 14.2.1 Vyžadovaná presnosť merania zosuvných procesov

Predpokladom hospodárneho geodetického merania vývoja zosuvného procesu, je vymedzenie racionálneho pomeru medzi očakávanou veľkosťou posunov bodového poľa a intervalom spoľahlivosti merania, ktorú vymedzuje hodnota dvojnásobku základnej strednej chyby ( $2\bar{m}$ ). Ak polohové ( $q$ ), resp. výškové posuny ( $p$ ) bodov medzi etapovými meraniami prekračujú interval spoľahlivosti merania, môžeme s 5 % rizikom chybného rozhodnutia tvrdiť, že pozorované body vykazujú pohyb.

Pred meraním sa volí vhodný pomer medzi intervalom spoľahlivosti merania a očakávanými posunmi bodového poľa

- u posunov  $q$  rádovo v [mm] postačí pomer 1:2,
- u posunov  $q$  rádovo v [cm] 1:5 až 1:10,
- u posunov  $q$  rádovo v [dm] 1:10 až 1:20,
- u posunov  $q$  rádovo v [m] 1:20 a menej.

U zvislých posunov s  $p$  do 2 mm 1:2 až 1:3

- u posunov s  $p$  od 2 do 10 mm 1:2 až 1:3,
- u posunov s  $p$  rádovo v [cm] 1:5 až 1:10,
- u posunov s  $p$  rádovo v [dm] 1:10 až 1:50,
- u posunov s  $p$  rádovo v [m] 1:50 a menej.

Racionálnymi hranicami, ktorými je možné geodetickými metódami preukázať pohyb, sú  $q \geq 2,5$  mm a  $p \geq 1,0$  mm. Pre menšie hodnoty  $q$  a  $p$  je výhodnejšie použiť iné, napr. negeodetické metódy. Neprimerané požiadavky na výsledky meraní zvyšujú náročnosť na prístrojové vybavenie, meračské postupy a spracovanie výsledkov merania. Veľkosť  $q$  a  $p$  majú relatívny charakter, lebo sú závislé na dĺžke časového intervalu  $\Delta t$ , t.j. časového rozdielu medzi etapovými meraniami, ktorý sa vhodne prispôbuje typologickým skupinám zosunov.

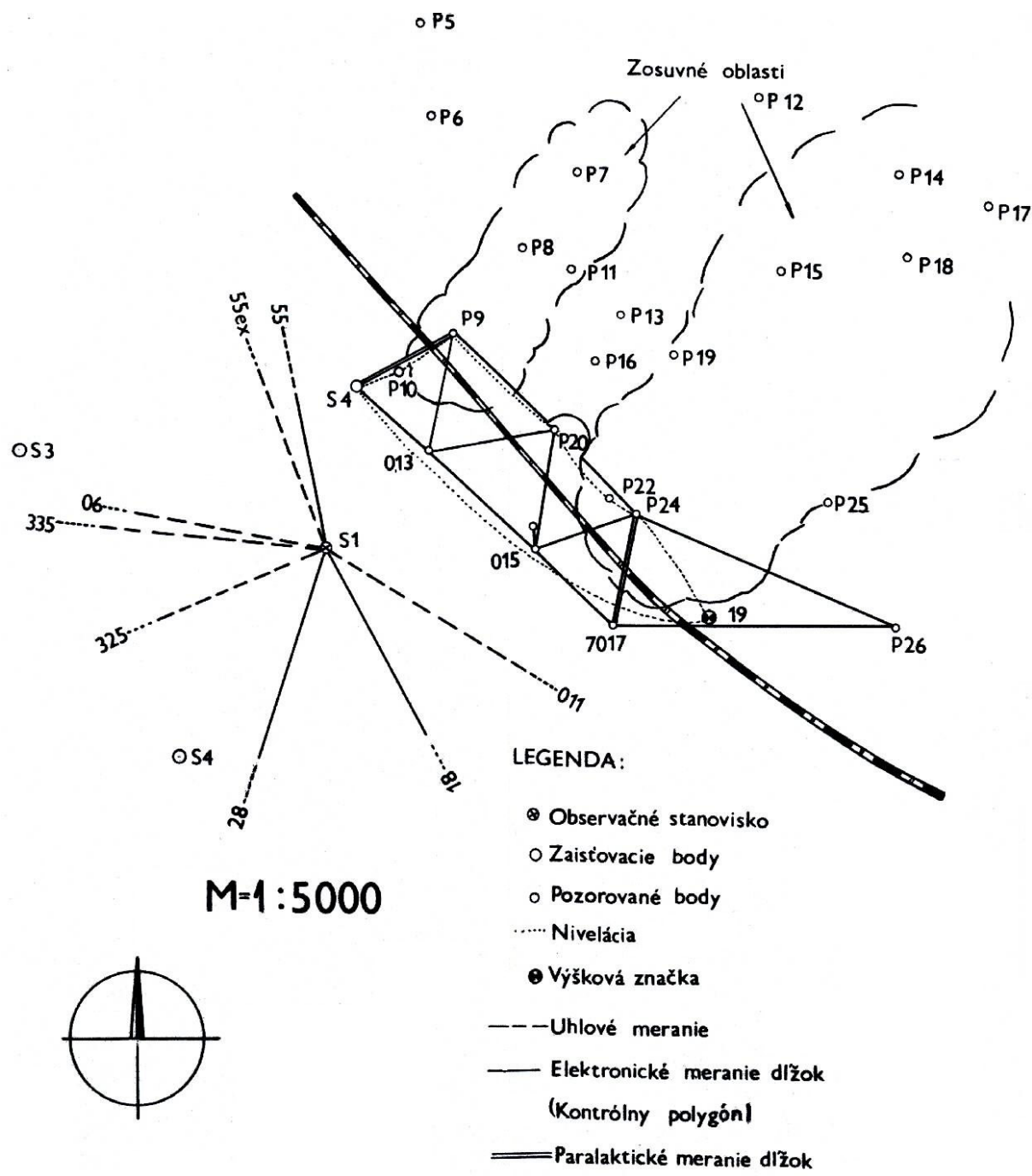
#### 14.2.2 Geodetické bodové pole

Geodetické bodové pole zahŕňa sústavu vzťahných bodov lokalizovaných na stabilnom teréne a sieť pozorovaných bodov na svahových poruchách, ktorými sa overuje kinematika porúch. Geodetickým meraním sa má preukázať, ako sa časovo mení poloha a výška pozorovaných bodov.

Rozsah poruchy, členitosť terénu, ktorým vedie napr. železničná trať, determinujú zvolenú metodiku geodetického merania, počet, dispozíciu a stabilizáciu vzťahných ako aj pozorovaných bodov.

**Vzťahné body** môžu byť usporiadané v lokálnej trigonometrickej sieti, alebo v trojuholníkovom reťazci, polygóne, ale aj ako jednotlivé body. Ak terénne pomery neumožňujú vybudovať optimálny

počet bodov, potrebné je na overenie ich stability vybudovať zaisťovacie a orientačné body v rámci vzťahných bodov (obr. 14.7).



Obr. 14.7. Náčrt polohy bodového poľa Okoličné - Háj

**Pozorované body.** Rozmiestňujú sa na svahovej poruche tak, aby sa výstižne charakterizovala kinematika jej jednotlivých častí a to nielen v zosuvne aktívnych ale aj v potenciálnych, resp. i v „mŕtvych“ zónach. Body sa situujú aj nad odľučnou oblasťou v miestach vyvíjajúcich sa trhlín, v predpolí vytlačovaných hmôt a pod. Ich počet a dispozícia sa prispôbuje aj aplikovanej metóde merania. Podmienkou je, aby bola na ne dobrá viditeľnosť zo vzťahných bodov, zámery neboli príliš dlhé a strmé a smery sa nepretínali pod nepriaznivými uhlami. Počet bodov je potrebné obmedziť na únosné maximum.

### 14.2.3 Stabilizácia bodového poľa

Geodetická stabilizácia bodového poľa má zodpovedať požiadavke presnosti merania. Dotýka sa dvoch otázok: hĺbky založenia a konštrukcie bodov.

Pri plytkej stabilizácii (v dosahu pôsobenia atmosferických činiteľov, sezónnych zmien a pod.) výsledky meraní môžu byť ovplyvnené objemovými zmenami podložia. Konštrukčné usporiadanie bodov oboch systémov má byť také, aby umožnilo nútenú centráciu prístroja cieľa (obr. 6.4). Táto požiadavka sa rešpektuje predovšetkým pri meraní zosuvných oblastí s vyššou vyžadovanou presnosťou merania a v prípadoch dlhodobu vykonávaných meraní.

Hĺbka stabilizácie vzťažných bodov má byť aspoň 4 m, pokiaľ nie je plytšie pevnejšie podložie. Pozorované body sa stabilizujú do takej hĺbky, aby sa vylúčil vplyv objemových zmien podložia, minimálne 1,5 m.

### 14.2.4 Metódy merania zosuvných procesov

Na meranie priestorových posunov pozorovaných bodov používame: trigonometrické metódy, metódu zámernej priamky, metódu polárnych súradníc, trigonometrickú a geometrickú niveláciu, hydrostatickú niveláciu, metódy pozemnej a leteckej fotogrametrie a družicové metódy určenia priestorovej polohy (GPS). Metódy sa vhodne kombinujú, hlavne v prípadoch, ak jednou technológiou merania nemôžeme obsiahnuť celé pozorované bodové pole.

#### **Zosuny s očakávanými polohovými zmenami $2,5 \text{ mm} < |q| \leq 10 \text{ mm}$**

Meranie takýchto zosunov vyžaduje kvalitnú stabilizáciu a signalizáciu bodov oboch systémov, ako aj vhodnú dispozíciu bodov vzťažného systému. Stabilizácia nesmie preberať účinky vplyvu podložia. Konštrukcia stabilizácie má zaistiť nútenú centráciu prístroja a cieľa. V závislosti na intervale spoľahlivosti merania sa aplikujú:

a) Metóda polárnych súradníc pri použití teodolitu Wild T3, resp. OT-02 a diaľkomera Mekometer ME 5000.

b) Trigonometrické metódy založené na princípe merania smerov (Wild T3, resp. OT02) z viacerých vzťažných bodov. Meraním zenitových uhlov s technológiou vylučujúcou vplyv refrakcie, môžeme trigonometrickou metódou presne merať aj zvislé posuny pozorovaného bodového poľa.

c) Metóda zámernej priamky sa aplikuje, ak očakávaný smer pohybu sa nebude výrazne meniť a kolmá zložka vektora pohybu na zámernú priamku je postačujúca k charakterizovaniu pohybu. Vytýčenie zámernej priamky okrem výkonných teodolitov môžeme vykonať laserovým teodolitom, napr. Kern DKM 2-AL.

d) Metódy GPS.

#### **Zosuny s polohovými zmenami $10 \text{ mm} < |q| \leq 100 \text{ mm}$**

Stabilizácia bodového poľa sa vykoná ako v prechádzajúcom prípade. Na meranie použijeme:

a) Metódu polárnych súradníc s využitím elektronického teodolitu.

b) Trigonometrickú metódu s použitím dvojsekundových teodolitov.

c) Z fotogrametrických metód použijeme analytické metódy pozemnej fotogrametrie.

#### **Zosuny s polohovými zmenami $|q| > 100 \text{ mm}$**

Pred začiatkom merania je potrebné sa rozhodnúť pre voľbu hĺbky a konštrukčného typu stabilizácie bodov. Použijeme metódy:

a) Trigonometrickú metódu s použitím teodolitov s možnosťou čítania uhlových hodnôt na  $\pm 10''$ .

b) Metódu polárnych súradníc s využitím elektronických teodolitov.

e) Z fotogrametrických metód numerické analógové vyhodnotenie apr. na Stereoautografe 1318 Zeiss.

Pre samostatné meranie **vertikálnych posunov** použijeme geometrickú niveláciu (TN, PN) prípadne hydrostatickú niveláciu.

Aplikácia analógovej pozemnej stereofotogrametrie má využitie pri registrácii pohybov a ich výsledných foriem, ktoré majú zosuvný a stekavý charakter. Diskrétno vykonávané snímkovanie umožňuje dokumentovať stav zosuvného územia v priebehu jeho pretvárania. Presnosť merania tejto fotogrametrickej metódy neumožňuje registrovať creepový pohyb. Dovoľuje však dokumentovať morfológiu takýchto pretvorení, napr. zdvojenie horských chrbátov a pod., ako aj rúťivé deformácie: ich rozsah, odtrhové oblasti, priebeh diskontinuit a pod.

#### **14.2.5 Numerické spracovanie odmeraných veličín a grafické znázornenie pretvorení**

Súčasný stav výpočtovej techniky umožňuje v rýchlom slede numericky spracovávať geodeticky odmerané veličiny. V úvodnej fáze výpočtu sa overí stabilita vzťahných bodov, ktorú môžeme vykonať v závislosti na vybudovanom vzťahnom bodovom poli, napr. vo vodorovnom smere pomocou rozdielov orientovaných smerov medzi príslušným etapovým a základným meraním, alebo transformáciou etapového merania na základe merania. Výšková stabilita vzťahných bodov sa vyhodnotí z rozdielov prevýšení v základnom a etapovom meraní.

Zo súradníc overených vzťahných bodov, tvoriacich vzťahný systém a vyrovnaných odmeraných veličín vypočítame súradnice pozorovaných bodov, ktoré porovnáme so súradnicami zo základného merania, resp. podľa potreby so súradnicami z predchádzajúceho etapového merania.

Interpretáciu priestorových posunov uskutočníme testom nulovej hypotézy.

Vyhodnotený posun graficky znázorníme napr. vektormi polohových, resp. priestorových zmien (obr. 14.8), izolínami rovnakých polohových zmien (obr. 14.9), izokatabázami a pod.

### **14.3 Meranie účinkov banskej činnosti na stavebné objekty**

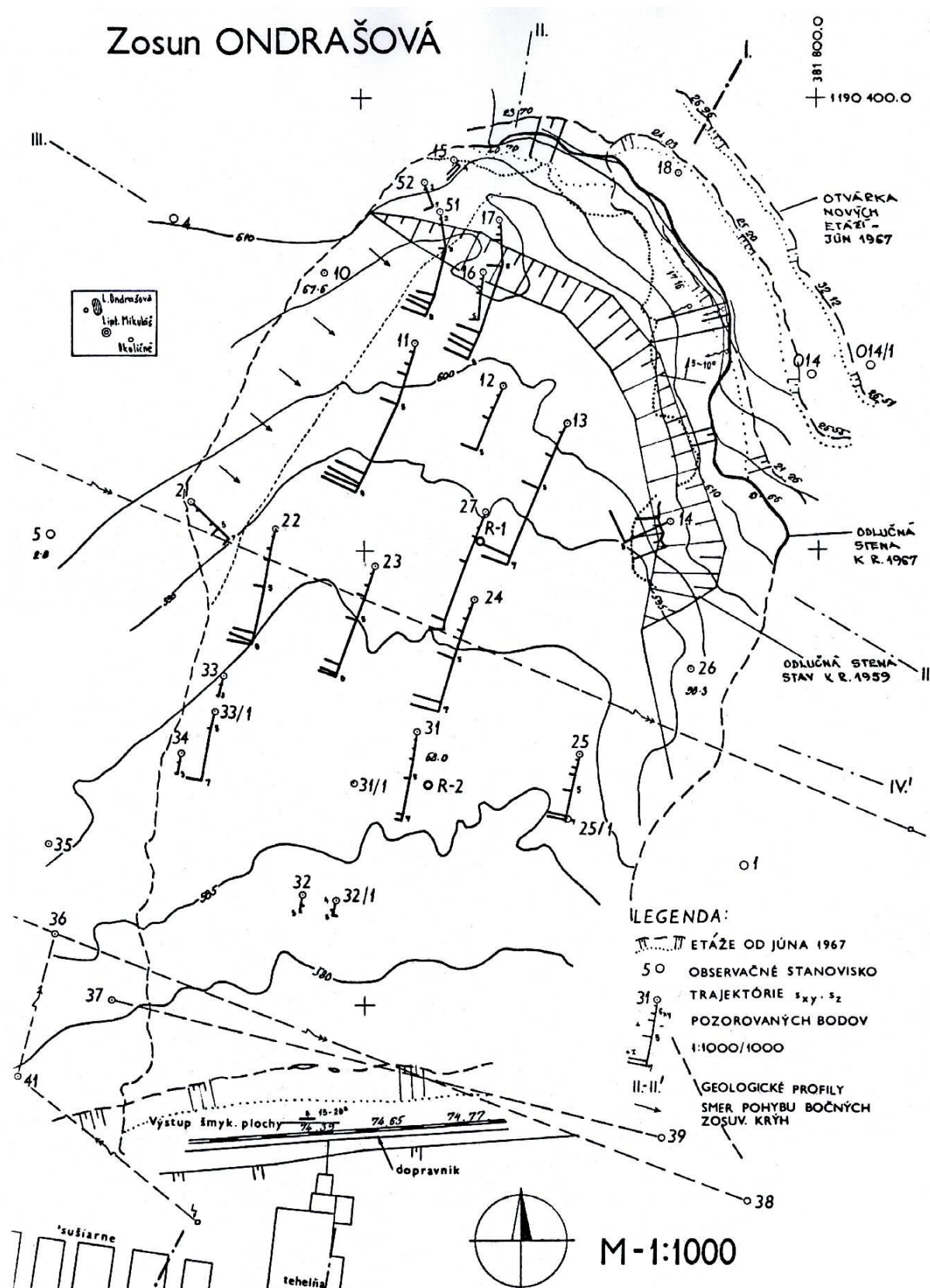
Pri vytvorení umelého priestoru v podzemí napr. tunela, banského diela, vzniká v jeho blízkosti pásmo zmenených napäťodeformačných stavov, ktoré sa ušľachťuje až v určitej vzdialenosti od vytunelovaného priestoru. Vzdialenosť je závislá od horniny, na hĺbke jej uloženia, na rozmere vytunelovaného priestoru a pod. Keď prijímame klenbovú teóriu, nad banským (tunelovým) dielom súvrstvie v rovnováhe vytvára prirodzenú horninovú klenbu, zatiaľ čo vo vnútri banského diela je oblasť uvoľneného napätia, kde dochádza k postupnému zavalovaniu tunelového ostenia, ak sa banské dielo nezaistuje. Za predpokladu, že je tento priestor dostatočne veľký, aby rozmer klenby dosiahol až k zemskému povrchu, dochádza k pohybu a tým aj k pretvoreniam zemského povrchu. Pretvorenia sa môžu prejavovať vytvorením nepravidelnej prepadliny, alebo plynulej, tzv. poklesovej kotliny. Tvar poklesovej kotliny pri vykopaní slojového ložiska je schematicky znázornený na obr. 14.10. Od okraja poklesovej kotliny pohyby objektov na zemskom povrchu smerujú do stredu poklesovej kotliny a môžeme ich rozdeliť na dve zložky, na posun a pokles.

S problematikou merania účinkov banskej činnosti na stavebné objekty sa stretávame v rozsiahlej miere v ostravsko-karvinskej priemyselnej aglomerácii. Vážnou úlohou v tejto oblasti je zaisťovanie plynulej železničnej prevádzky, pre ktorú je potrebné častejšie ako na iných tratiach kontrolovať smerové a výškové parametre koľaje a v kritických miestach – v priestoroch poklesových kotlín – pripravovať geodetické podklady pre projektovanie rekonštrukcie geometrie koľaje.

Vývoj poklesových kotlín nemusí mať pravidelný a prognózovaný postup. V dôsledku toho sa vykonávajú periodické geodetické merania posunov a poklesov v uzlových miestach železničnej dopravy, napr. na zoraďovacích staniciach a na podkopaných úsekoch trate I. hlavného ťahu, atď. Celkom nepravidelný účinok na stavebné objekty na zemskom povrchu je v zónach, kde sa prekrývajú ťažobné priestory susedných baní (obr. 14.11).

Priestorové pretvorenia stavebných objektov, vyvolané účinkami banskej činnosti, môžeme merať geodetickými a družicovými metódami (GPS). Vzhľadom na veľkosť posunov a poklesov, rádovo až v decimetroch, postačuje určovať posuny s presnosťou 20 mm a poklesy s presnosťou 10 mm.

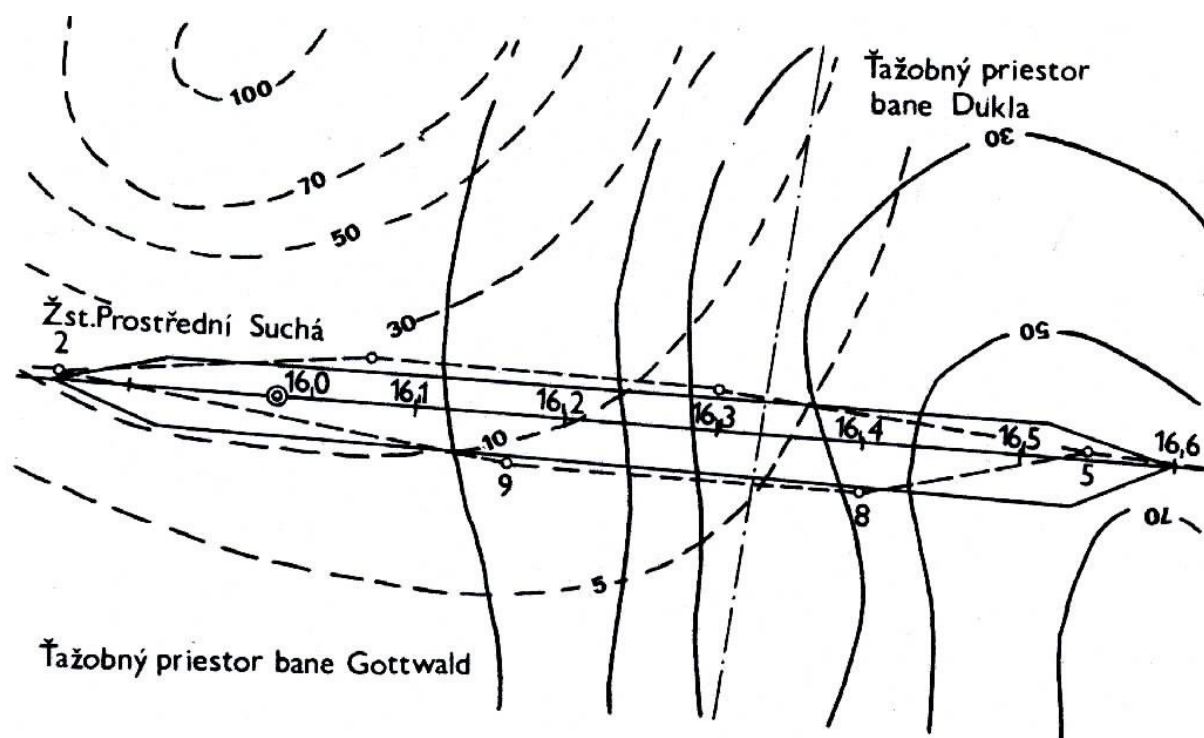
Podľa takto vyznačených požiadaviek na presnosť merania realizujeme primeranú stabilizáciu geodetického bodového poľa a volíme metódy merania.



Obr. 14.8. Vyhodnotenie zosuvného procesu polohovými a výškovými vektormi







Obr. 14.11. Prognózané poklesové zóny na žst. Prostřední Suchá v rokoch 1976-77

#### 14.3.1 Geodetické bodové pole na podkopanom území

Vzťažné body (body vzťažnej sústavy) situujeme mimo územia ovplyvneného podkopianím, alebo v priestoroch ochranných pilierov jednotlivých baní. Väčšie vzdialenosti medzi bodmi vzťažnej sústavy zvyšujú náklady na meranie a vyžadujú náročnejšie metódy merania na splnenie vyznačených presností merania. Vzťažné body stabilizujeme podľa zásad uvedených v kap. 14.2.3. Vhodné je ich tiež stabilizovať na banských objektoch (napr. na plochých strechách budov).

Body vzťažnej sústavy zapájame do trigonometrickej siete. Pre potreby vlastného merania ďalej zhŕňujeme polygónmi, alebo trojuholníkovými reťazcami. Stabilizáciu bodov polygónu a reťazca, považujeme za dočasnú stabilizáciu a postačí ju realizovať napr. zabetónovanou železnou rúrkou alebo tyčou s centračným znakom, zarazanou do hĺbky 1,0 m. Zavázaním poklesovej kotliny sa body zasypávajú a nie je možné s nimi počítať na využitie v dlhšom časovom období.

Pozorované body na podkopanom území rozmiestňujeme tak, aby výstižne charakterizovali vývoj účinkov banskej činnosti na merané objekty. Okrem toho voľbu pozorovaných bodov prispôbujeme požiadavke účelu, pre ktorý vykonáme meranie. Napr. body rozmiestňujeme na vhodných miestach železničného zhlavia a na železničnom telese (na začiatku a koncoch výhybiek, na trakčných stožiaroch, atď.), aby sme ich určením dostali geodetické podklady na projektovanie rekonštrukcie koľaje. Výhoda takejto voľby bodov je tiež v tom, že docielime prirodzenú stabilizáciu bodov.

#### 14.3.2 Meranie a vyhodnotenie účinkov banskej činnosti

Meranie účinkov banskej činnosti na stavebné objekty môžeme v podstate vykonávať všetkými geodetickými metódami, ktoré sú vhodné na meranie zosuvných procesov. Merania majú však veľký rozsah a nadobúdajú charakter podrobného merania. Aby sa zaistila aktuálnosť zameraného stavu, musíme doceliť primeranú rýchlosť merania a vyhodnocovania výsledkov merania. V súčasnom období sú k dispozícii geodetické prístroje (elektronické teodolity) a výpočtové zariadenia, ktoré zaistia požiadavku aktuálnosti výsledkov integrovaným spracovaním geodeticky odmeraných dát.

Pred každým výpočtom súradníc pozorovaných bodov z etapového merania, overujeme stabilitu vzťažných bodov a nový výpočet súradníc observačných stanovísk (polygónových bodov, resp. bodov reťazca), ktoré za týmto účelom pri každom etapovom meraní sa opätovne zameriavajú. Zo súradníc



Interpretáciu priestorových posunov pozorovaných bodov vykonáme testom nulovej hypotézy. Grafické znázornenie výsledkov merania uskutočňujeme napr. vektormi polohových posunov (obr. 14.12), izolíniami rovnakých polohových posunov, izokatabázami, vo forme blokdiagramu atď.

