

## Projekt deformačných šetrení

Janka Sabová<sup>1</sup> a Katarína Pukanská<sup>2</sup>

### Projekt der Deformationsuntersuchungen

*Vor der Eröffnung jedes Deformationsmonitorings ist notwendig einen passenden Projekt ausarbeiten. Die Fassung dieses Artikels sind die Angelegenheiten des Projektes nach verschiedenen Aspekten. Aus der Sicht von der Beschaffung der vertrauenswürdigen Ergebnissen sind die Schlüsselaufgaben der Deformationsuntersuchung ernannt, bildende die Zeitfolge bei der Gründung und Benutzung des 2-D-Lagedeformationsnetzes mit der Benutzung der TER-Technologie, bzw. bei der Gründung und Benutzung des 3-D-Deformationsnetzes mit der Ausnützung der SAT-Technologie. Wenn es sich um die Hochdeformationsnetze handelt, sind die Anträge für die Lösung und Realisierung allen nötigen Arbeiten und Zielen für die Bewältigung der Hochdeformationsuntersuchung entworfen.*

**Schlüsselworte:** Projekt der Deformationsuntersuchung, das Deformationsmonitoring, die Lagedeformationsnetze, die Hochdeformationsnetze, der Observationsplan.

### Úvod

Otázky projektov lokálnych sietí a ich spoľahlivých realizácií sú v príslušnej odbornej literatúre pre TER metódy všestranne a podrobne prejednávané a analyzované predovšetkým z optimalizačných hľadísk technickej a nákladovej stránky tvorby deformačnej siete, jej štruktúry, merania veličín v nej, spracovania a deformačnej analýzy. V tomto pojednaní sa preto uvedú len najzávažnejšie aspekty a zvláštnosti projektov pre deformačné šetrenia, a to z hľadiska optimalizácie 1. rádu (konfigurácia deformačnej siete) a 2. rádu (observačný plán).

Všetky deformačné monitorovania vyžadujú podľa ich teritoriálneho a časového rozmeru vhodný projekt, obsahujúci všetky potrebné úlohy (prípadne aj alternatívne) so zásadami a spôsobmi ich zvládnutia, počnúc realizáciou príslušných činností a úloh až do ich ukončenia a vyhodnotenia, aj s príslušnými závermi.

### Projekt deformačného šetrenia pri použití terestrickej technológie

Projekt deformačného šetrenia - DŠ vypracuje spravidla geodetická zložka zadávateľa deformačného šetrenia za spoluúčasti všetkých potrebných špecialistov. Projekt má obsahovať najmä: účel DŠ, jeho význam a očakávaný prínos, charakteristiku geologickej, hydrogeologickej a zástavbovej situácie priestoru, technické, meračské a spracovateľské aspekty plánovaného deformačného šetrenia, ako aj ďalšie dôležité zásady a úlohy realizácie deformačného šetrenia.

Z množstva konkrétnych úloh obsiahnutých v každom projekte treba v danom prípade zdôrazniť z hľadiska získania dôveryhodných výsledkov následovné kľúčové úlohy deformačného šetrenia, tvoriace časovú postupnosť pri založení a používaní 2D polohovej deformačnej siete:

- vhodná lokalizácia a štrukturalizáciu deformačnej siete, t.j. tvorbu základného prostriedku pre deformačné šetrenie, obsahujúceho všetky štandardné a zvláštne aspekty potrebných geodetických výkonov. Deformačná sieť v rámci svojej realizácie má mať taký rozsah a rozmiestnenie bodov bodového poľa, aby ním bolo možné zaznamenať všetky predpokladané, dôležité polohové (i výškové) zmeny sledovaného objektu. To vyžaduje premyslené, všetky hľadiská zohľadňujúce a v daných pomeroch možné stabilné rozmiestnenie objektových bodov - OB a referenčných bodov - RB v dostatočnom množstve, vytvárajúce po každej stránke vhodnú sieť.
- Vytvorenie projektu aj z hľadiska výsledkov kompatibilitej analýzy plánovaných referenčných bodov na použitie, t.j. bodov prevzatých z okolitých bodových polí (Sabová a Jakub 1999), potrebných parametrov pre presnosť meraní vyplývajúcich z aplikácie optimalizácie z viacerých hľadísk deformačnej siete a z hľadiska tvorby takej deformačnej siete, aby poskytovala maximálnu vnútornú a vonkajšiu spoľahlivosť (Carosio 1995 a iní).
- Realizovanie kvalitných meraní s využitím parametrov z optimalizácie deformačnej siete v každej epoche a s použitím presných a pre sledované účely hodiacich sa prístrojov, podľa ich návrhov v projekte (prístroje typu totálnych staníc s prijateľnými základnými štandardnými odchýlkami  $\sigma_d$ ,  $\sigma_\psi$  a  $\sigma_{\Delta C}$  a s rôznymi doplnkovými vybaveniami využitelnými v deformačnom meraní,

<sup>1</sup> doc.Dr.Ing. Janka Sabová, Katedra geodézie, Ústav geodézie a GIS, Fakulty BERG, Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 040 00 Košice, [janka.sabova@tuke.sk](mailto:janka.sabova@tuke.sk)

<sup>2</sup> Ing. Katarína Pukanská, Katedra geodézie, Ústav geodézie a GIS, Fakulty BERG, Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 040 00 Košice, [katarina.pukanska@tuke.sk](mailto:katarina.pukanska@tuke.sk)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 5. 5. 2007)

- rozpracovanie aj s potrebnými analýzami navrhovaných postupov spracovania deformačnej siete podľa vhodného Gauss-Markovovho modelu - GMM, spravidla podľa niektorej z nasledovných možností:
  - o model väzbového spracovania s použitím prijateľne minimálneho počtu referenčných bodov a s možnosťou použitia postupov:
    1. štandardného, väzbového vyrovnania priamo v systéme S-JTSK,
    2. štandardného, väzbového vyrovnania v systéme S-LOC s transformáciou súradníc bodov deformačnej siete do S-JTSK,
  - o model voľného spracovania s použitím minimálneho potrebného počtu referenčných bodov vhodne rozmiestnených v monitorovanej oblasti.
- Určenie indikátora polohových zmien bodov a postupy matematickej detekcie s interpretáciou zmien na objektoch, štatistické a iné testovacie posúdenia ich významnosti, vizualizácia zistených zmien, návrh ochranných a detekčných opatrení pre predpokladané pokračovanie a pre lokálne nové prejavy deformačného procesu, korekcie a úpravy projektu v ďalšom období jeho realizácie a iné dôležité aspekty pokračujúceho sledovania deformačných prejavov,
- návrhy možných alternatív, úprav a korekcií v realizácii projektu.

### Projekt deformačného šetrenia pri použití SAT technológie

Na monitorovanie a zisťovanie pohybových prejavov objektov je v súčasnosti okrem technológie TER k dispozícii aj družicová technológia SAT so systémami GPS a GLONASS. Potrebné veličiny a údaje do deformačnej analýzy sa získajú „meraním“ na družice systému GPS (Hoffmann-Wellenhof et al., 1994, 2001; Leick, 1995; Hefty a Husár, 2003) alebo systému GLONASS.<sup>3</sup>

Oba systémy GPS a GLONASS družicovej technológie na priestorové určovanie bodov majú podobné až identické princípy a realizačné formy.

Meranie družicovou technológiou predstavuje príjem príslušných potrebných signálov a údajov z družíc, ktorých vyhodnotením a spracovaním sa získajú potrebné geodetické veličiny na vyjadrenie polohy bodov, t.j. v prejednávanej tematike na posúdenie pohybu (stability) sledovaných bodov v deformačnej sieti.

TER a SAT technológie so svojimi rozdielnymi postupmi a riešeniami cieľov sa líšia predovšetkým v spôsoboch „zberu“ a spracovania potrebných údajov o stave bodového poľa pre DŠ (v použití TER sa získavajú 2D a 1D údaje, v SAT 3D údaje pre bod).

Pred realizáciou DŠ s použitím SAT technológie je tiež potrebné zostaviť projekt všetkých prác, v ktorom pre príslušnú lokalitu budú uvedené zásady, spôsoby a časové realizácie jednotlivých čiastkových činností, potrebných na získanie spoľahlivých výsledkov.

Projekt deformačného skúmania objektu SAT technológiou pozostáva spravidla z častí:

- lokalizácia a štrukturalizácia deformačnej siete na základe optimalizácie 1.rádu, t.j. určenie konfigurácie deformačnej siete (Hoffmann, Wellenhof 1994, 2001 a ďalší), ako aj plány SAT meraní, ktorých výsledky majú zabezpečiť všetky potrebné údaje pre ich vyhodnotenie v 3D súradnicovom systéme ETRS 89, v ktorom tiež môžu byť priestorové zmeny bodov deformačnej siete analyzované a hodnotené,
- deformačná analýza – matematickej interpretácie polohových a výškových posunov bodov medzi porovnávanými epochami.

Podľa obsahu 1. časti projektu vykonávajú sa konkrétne úlohy, najmä:

- zabezpečenie a preverenie potrebného počtu vhodných prijímačov,
- SAT zameranie deformačnej siete v projektovanej štruktúre a skupinách,
- vyhodnotenie prijatých SAT signálov do potrebných výstupov – geometrických údajov,
- 3D vyrovnanie deformačnej siete v ETRS 89 s použitím vhodného GMM a určenie veličín pre posúdenie kvality výsledkov.

Výsledné súradnice z 3D spracovania sa väčšinou transformujú na 2D súradnice a 1D súradnice (výšky) platného polohového a výškového systému toho - ktorého štátu podľa:

$$a) \quad \{\hat{X} \hat{Y} \hat{Z}\}E \rightarrow \{X Y Z\}B (tr) \rightarrow \{B L H\}B (tr),$$

t.j. vyrovnané ETRS 89 súradnice OB a RB na karteziánske súradnice na Besselovom referenčnom elipsoide (pričom pre transformáciu sa určujú aj lokálne transformačné parametre s použitím niektorých dátumových bodov ako referenčných) a tieto ďalej na odpovedajúce geodetické súradnice,

<sup>3</sup> Od r. 2008 sa očakáva plne funkčné prevádzkovanie družicového systému GALILEO s využitelnosťou aj pre geodetické účely

$$b) \quad \{B L H\} B (tr) \rightarrow \begin{cases} \{XY\} J(tr) \\ \{h\} B_{pv}(tr) \end{cases}$$

t.j.  $\{B L H\} B (tr)$  3D súradnice OB a RB s použitím známych transformačných vzťahov a parametrov Křovákovo kartografického systému S-JTSK, resp. na 1D súradnice – normálne výšky určených bodov v systéme B<sub>pv</sub>.

Podľa 2. časti projektu sa postupne vykonajú rozbery a hodnotenia v oblasti deformačnej analýzy (s použitím OB so súradnicami v S-JTSK, B<sub>pv</sub>) v dvojePOCHÁCH:  $t_0$ ,  $t$  ( $t_0$  je epocha základného merania):

- určenie indikátorov  $d\hat{x}$ ,  $d\hat{y}$ ,  $dx\hat{y}$ ,  $d\hat{H}$  deformačných prejavov – polohových a výškových zmien OB medzi epochami,
- štatistické posúdenie polohových a výškových identít RB (kontrola ich daných súradníc určenými súradnicami), ako aj 2D a 1D zmien OB v medziepochách, identifikácia stabilných a posunutých bodov,
- vizualizácia epochových a medziepochových deformačných zmien,
- hodnotenie stabilných zmien sledovaného priestoru a objektov, prognózy, opatrenia, zmeny v DŠ a pod.

### Projekt výškového deformačného šetrenia

Projekt pre určenie výškových zmien OB v DS bude do určitej miery korelovaný s projektom zisťovania polohových zmien pre OB. Každá terestrická deformačná sieť, ktorá sa vybuduje, bude, resp. môže mať bodové značky len polohové alebo len výškové, ale bude mať aj spoločné nosiče polohových aj výškových značiek determinujúcich príslušný druh bodu, pričom obe značky budú združované alebo samostatne umiestnené v nosiči.

Výškový projekt DŠ má obsahovať návrhy na riešenie a realizáciu všetkých potrebných prác a cieľov, ktoré sa musia zvládnuť v rámci výškového DŠ. Preto je potrebné, aby projekt zahŕňal najmä:

- charakteristiku oblasti deformačnej siete z geologické, tektonické, morfológické hľadisko, charakteru zástavby, atď.) s príslušnými mapovými a inými dokumentáciami,
- výškový systém, ktorý sa použije (B<sub>pv</sub> alebo lokálny),
- rozmiestnenie určených výškových bodov (samostatných aj spoločných s polohovými bodmi), t.j. situáciu výškovej siete s nivelačnými spojeniami výškových OB a ich spojenie na pripájacie – dátumové nivelačné body,
- spôsoby a časové relácie overenia vzájomnej výškovej kompatibility navrhovaných dátumových nivelačných bodov,
- hlavné ciele výškového DŠ v nadväznosti na polohové DŠ, konkretizácia cieľov výškového monitorovania, časové aspekty DŠ a pod.,
- štrukturalizácia navrhovanej nivelačnej siete (oddiely, zostavy, úseky, atď.). Nivelačné oddiely v deformačných sieťach sú väčšinou krátke (až na pripájacie ťahy siete), často v dĺžke jednej zostavy 60 – 80 m i kratšie, vhodnú štruktúru DS so spoločnými polohovými a výškovými bodmi a osobitnými výškovými bodmi je potrebné vytvoriť už v rámci projektu deformačnej siete tak, aby vyhovovala odborným, legislatívnym požiadavkám i skúsenostiam,
- navrhované nivelačné prístroje s doplnkami pre realizácie nivelačných meraní a časový harmonogram ich overovania počas DŠ (skúšky prístrojov, komparácie nivelačných lát a pod.),
- spôsob riešenia prípadných zmien výškového dátumu na parametre výškových prejavov,
- použité postupy spracovania výškových deformačných sietí z hľadiska odhadovacích (vyrovnávacích) modelov,
- analýzy výškových výsledkov z epoch a ich grafické vizualizácie,
- ako aj ďalšie špecifické požiadavky a ich riešenia.

Pri jednoduchých deformačných šetreniach (z hľadiska rozsahu lokality, významu a pod.) je možné úmerne tomu aj zjednodušiť projektové požiadavky na DŠ a jeho zložky.

Z optimalizačných riešení nivelačného merania je treba zrejme realizovať optimalizáciu 2. rádu (observačný plán) so zohľadnením použitej technológie výškového merania a prijatých limitných presností pre určované výšky, resp. výškové indikátory na OB. K tejto problematike sú rozpracované postupy a rozsiahle skúsenosti z ich realizácií.

### Záver

Súhrn činností v deformačnom šetrení podľa naznačeného obsahu v dostatočnej hĺbke a rozsahu má zabezpečiť optimálne riešenie všetkých hlavných úloh DŠ, z geometrického hľadiska najmä:

- určiť súradnice bodov DS a ich presnostné charakteristiky s potrebnou presnosťou v jednotlivých epochách,
- odvodzovať vektory a iné charakteristiky ich zmien pre jednotlivé časové úseky (medziepochy) z odhadov súradníc bodov deformačnej siete,
- prijímať závery o pohybe resp. stabilite bodov a tým aj sledovaného objektu na základe vhodných štatistických analýz a posúdení vektorov zmien.

K hlavným úlohám DŠ patrí aj analýza pohybov bodov z fyzikálneho hľadiska, keď za spoluúčasti špecialistov z oblasti materiálov, geológie, stavebníctva a ďalších oblastí sa určujú príčiny (sily) vyvolávajúce fyzické zmeny sledovaného objektu.

Každé DŠ má však aj ďalšie zvláštne potreby a požiadavky (ekonomické, časové, atď.), ktoré musia byť príslušnými odborníkmi, spracúvajúcimi projekt, vhodne a v primeranom rozsahu v projekte deformačnej siete zohľadnené.

*Táto práca bola realizovaná v rámci riešenia grantovej úlohy „Implementácia geografických informačných systémov do monitoringu a analýzy prejavov banskej činnosti v lokalite Solivar a následné modelovanie a hodnotenie kinematickej aktivity horninového masívu nástrojmi GIS z hľadiska perspektívy ďalšieho využitia územia pre urbanistickú výstavbu”, grant 1/3351/06 agentúry VEGA.*

#### Literatúra -

- [1] Carosio A: Ausgleichung geodätischer Netze mit Verfahren der robusten Statistik. *Vermessung, Photogrammetrie & Kulturtechnik*, 4, 1995.
- [2] Hofmann, Wellenhof, B. et al.: GPS in der Praxis. *Springer, Wien 1994.*
- [3] Hofmann, Wellenhof, B. et al.: GPS.Theory and Practice.5<sup>th</sup> Ed.,*Springer, Wien 2001.*
- [4] Hefty,J. et al: Družicová geodézia. Globálny polohový systém. *STU Bratislava, 2003.*
- [5] Leick, A.: GPS Satellite Surveying, second edition, *J. Wiley New York 1995.*
- [6] Sabová,J., Jakub,V.: Analýza polohovej stability geodetických bodov. *Acta Montanistica Slovaca 4 (1999).*