

Transformačná analýza polohovej stability geodetických bodov

Juraj Sütti¹ a Juraj Gašinec²

Transformation analysis of the horizontal stability for geodetic points

Application of transformation methods is a useful means in deformation investigation. Philosophy of the transformation investigation of geodetic network point stability is based on applying appropriate transformation tools for this goal. Its procedure realisation and interpretation can be described by following item :

- by measuring the geodetic networks and processing the results (adjustment) in the epoch t , there is defined the network realisation S and it can be obtained point coordinates C ,
- by the same processes in the epoch t' , there will be defined another network realisation S' with point coordinated C' calculated,
- coordinates C' have to be changed using a convenient transformation model to coordinates C_t , that will be valid for epoch t .

From the non identical coordinates C and C_t , there is computed the coordinate discrepancies $dC = C_t - C$ at the netpoints, that are generated by measuring errors, blunders of measurements and models and by the point horizontal movements. If the first two causes can be eliminated by suitable ways, the dC values can be held for indicators of horizontal point displacements only. Using appropriate statistical tests, one may identifies points with statistical significant movements during the time $t' - t$.

There are presented two transformations using translation and rigid body model of point displacements.

The testing procedures was applied for the horizontal geodetic network in the area of the Nuclear Power Plant in Jaslovské Bohunice. Dislocation of the point movements derived from: measuring, translation model, rigid body model with the corresponding dh - contour lines are shown in the Fig. 1, 2, 3 and their values in the Tab. 1, 2. It can be seen, the dh values as regard their lengths and orientations are considerable similar. But this can't exclude the fact, that from the theoretical point of view, the transformed dh are the more exact values for evaluation of the point displacements.

Key words: transformation stability analysis, deformation models, point displacements, translation and similarity transformation models.

Princíp transformačnej analýzy stability bodov

Transformačný princíp skúmania stability množiny bodov, sporej do vhodnej geodetickej sieťovej štruktúry, t.j. aj nimi vymedzených územných celkov, spočíva na logickom chápaní a využití transformačných nástrojov pre tieto účely, ktorých zmysel a použitie je možné popísať v nasledovných bodoch (Boljen, 1986; Fotiou, 1993; Reinking, 1993; Teunissen, 1986):

- v epoche t sa na základe meraní v bodovom poli a po určení vyrovnaných (na báze vyrovnania voľnej siete) súradníc $C = [X \ Y]^T$, definuje týmito konzistentnými súradnicami epochová realizácia S použitého súradnicového systému $S(XY)$,
- v epoche t' sa na základe opakovaných meraní v tom istom bodovom poli a po analogickom zistení súradníc $C' = [X' \ Y']^T$ určí sa týmito súradnicami epochová realizácia S' použitého súradnicového systému $S'(XY)$. V oboch epochách sa pre vyrovnanie použijú tie isté približné súradnice dátumových bodov,
- súradnice C' množiny bodov (z celej siete alebo len z jej častí) sa vhodnou transformáciou pretvorí na súradnice C_t platné v realizácii S súradnicového systému v epoche t ,
- zo súradníc C , C_t , ktoré nebudú identické, predstavujú vytvorené súradnicové diferencie (rozpory) $dC = C_t - C$ rozdiely na skúmaných bodoch vzniknuté za obdobie $t' - t$ z rôznych dôvodov (meračské chyby, hrubé chyby z meraní a tvorby modelu, polohové posuny a pod.). Ak sa z procesov meraní vylúčia hrubé chyby a konštrukcia modelov bude správna, veľkosť rozporov bude indikátorom polohových zmien bodov. Vhodným testovaním dC_t na ich štatistickú signifikantnosť sa môžu identifikovať tie body, ktoré sa za skúmané obdobie reálne posunuli, resp. sú podozrivé z toho, že zmenili svoje pôvodné polohy.

Ak sa nezmení priestorový stav bodového poľa za obdobie $t' - t$ voči svojmu východiskovému stavu v epoche t v dôsledku pôsobenia a účinkov endogénnych a antropogénnych síl (resp. zmení sa len nevýrazne) a hrubé chyby nebudú meranie a spracovanie zťažovať, súradnicové rozpory dC_t , ktoré vznikli transformáciou súradníc C' na C_t , budú mať stochastický charakter so strednou hodnotou $E(dC_t) = 0$ a varianciou $V(dC_t) = \sigma_{dC_t}^2$, ktorá bude charakterizovať projekciu meračských chýb do tvaru dC_t . V tomto prípade aj transformačné parametre v transformačných rovniciach budú blízke k svojim teoretickým hodnotám (napr. pre Helmertovu

¹ Prof. Ing. Juraj Sütti, Dr.Sc., Katedra geotechniky a dopravného staviteľstva Stavebnej fakulty Technickej univerzity v Košiciach, Vysokoškolská 4, 04200 Košice,

² Ing. Juraj Gašinec, Katedra geodézie a geofyziky Fakulty BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 04384 Košice (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 30.3.2001)

transformáciu sú tieto hodnoty: dve translácie = 0, rotácia = 0) a teda aj tieto veličiny môžu indikovať relatívnu polohovú stabilitu bodového poľa.

Ak sa priestorový stav bodového poľa alebo jeho častí v období $t'-t$ v dôsledku naznačených vplyvov zmení, transformáciou súradníc C' na C_t dostávame súradnicové rozpory $dC_t = C_t - C'$, ktoré nebudú mať prevažne stochastický charakter. Testovaním dC na ich významnosť je možné určiť tie rozpory, ktoré sú štatisticky signifikantné, teda identifikovať tie body, ktoré za obdobie $t' - t$ reálne zmenili svoju polohu. V takom prípade budú mať spravidla aj príslušné transformačné parametre výrazne odlišné hodnoty od ich teoretických hodnôt, ktoré tiež indikujú polohovú nestabilitu bodového poľa.

Transformačné modely

Pre transformáciu súradníc C' na súradnice C_t je možné použiť rôzne druhy transformácií, napr. translačnú, podobnostnú, "päťparametrovú", afinnú a iné (Helble, 1979; Wolf, 1989). Každá z nich určuje C_t s navzájom odlišnými hodnotami podľa toho, aké transformačné parametre príslušná transformácia obsahuje a aké zložky deformácie v transformácii sú týmito parametrami charakterizované. Je známe, že celková deformácia povrchu územia s príslušným bodovým poľom, t.j. plošná 2D deformácia pozostáva z rôznych druhov deformácií - komponentov celkovej deformácie, ktorými sú (Pelzer, 1982; Welsch, 1982):

- translácie t_x, t_y v smere súradnicových osí X, Y,
- rotácia ω_{xy} ,
- maximálne pomerné ťahové (normálové) e_1, e_2 a pomerné strižné γ pretvorenia,

ktoré sa môžu vzťahovať na jednotlivé body a ich blízke okolia, resp. na ťažisko určitej čiastkovej plochy alebo plochy s celým bodovým poľom.

Všetky tieto zložky - deformačné parametre (DP) je možné vyšetriť na základe súradnicových rozporov dC získaných z opakovaných geodetických meraní a voľby vhodného transformačného modelu medzi dC a DP pre danú množinu sledovaných bodov. Medzi súradnicami C a C' platí všeobecný lineárny (zjednodušený) transformačný vzťah (Welsch, 1982)

$$C' = FC + t = (I + dF)C + t, \quad (1)$$

kde: F je matica deformácií, $t = [t_x \ t_y]^T$ sú translačné zložky premiestnenia bodu, I je jednotková matica a dF je tenzor deformácií. Po rozpísaní príslušných matíc a po úprave (1) dostávame deformačné rovnice (pre jeden bod) v tvare

$$C' - C = dC = \begin{bmatrix} dX \\ dY \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega_{xy} \\ -\omega_{xy} & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

kde: e_{xx}, e_{xy}, e_{yy} sú prvky tenzora deformácií (pretvorenia) a ω_{xy} je pootočením okolia bodu. Úpravou vzťahu (2) sa ďalej získajú (pre n bodov) vzťahy medzi posunmi bodov dC a deformačnými parametrami Θ

$$dC = H\Theta, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X' & X & Y' & 0 \\ 0 & 1 & -Y' & 0 & X' & Y' \\ \vdots & & & & & \\ 1 & 0 & X' & X & Y' & 0 \\ 0 & 1 & -Y' & 0 & X' & Y' \end{bmatrix}, \quad \Theta = [t_x \ t_y \ \omega_{xy} \ e_{xx} \ e_{xy} \ e_{yy}]^T. \quad (3)$$

Ak sa z vektora deformačných parametrov Θ použijú len translačné prvky t_x, t_y , vzniknú z rovnice (3) vzťahy pre translačnú transformáciu

$$dC = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ \vdots & \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} = H_t \Theta_t, \quad (4)$$

z ktorých sa určia vyrovnané hodnoty translačných parametrov $\hat{\Theta}_t$ a pomocou nich transformované súradnice C_{tt}

$$C_{tt} = -H_t \hat{\Theta}_t + C'. \quad (5)$$

S ich použitím sa dajú odvodiť vzťahy

$$dC_t \therefore v_{ct} = C_{tt} - C = -H_t \hat{\Theta}_t + C' - C \quad (6)$$

t.j. súradnicové diferencie (rozpory) medzi súradnicami C' a transformovanými súradnicami C_{tt} , ktoré sú identické s rozpormi, získanými podľa štandardného translačného modelu

$$C_{tt} = C' + \Theta_t \quad (7)$$

Hodnoty $dC_t \therefore v_{ct}$ sú vlastne opravy súradníc C z prvej epochy, potrebné na získanie súradníc C_{tt} v zmysle $C + dC_t = C_{tt}$, pričom dC_t vyplývajú z transformácie súradníc druhej epochy C' na hodnoty C_{tt} .

Podobne, ak sa z vektora Θ použijú deformačné parametre t_x , t_y , ω_{xy} , vytvára sa deformačný model "tuhého telesa" (iná forma podobnostnej, Helmertovej transformácie) v tvare

$$dC = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X' \\ 0 & 1 & -Y' \\ \vdots & & \\ 1 & 0 & X' \\ 0 & 1 & -Y' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ \omega_{xy} \end{bmatrix} = H_H \Theta_H \quad (8)$$

odkiaľ sa na základe vyrovnania určí vektor $\hat{\Theta}_H$ a pomocou neho transformované súradnice

$$C_{tH} = -H_H \hat{\Theta}_H + C' \quad (9)$$

Na základe nich je možné určiť

$$dC_{tH} \equiv v_{ct} = C_{tH} - C = -H_H \hat{\Theta}_H + C' - C \quad (10)$$

t.j. súradnicové rozpory medzi súradnicami C' a transformovanými súradnicami C_{tH} , ktoré sú identické s rozpormi získanými podľa štandardného modelu Helmertovej transformácie

$$C_{tH} = \begin{bmatrix} X_{tH} \\ Y_{tH} \end{bmatrix} = H_H \hat{\Theta}_H \quad (11)$$

kde

$$H_H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X' & -Y' \\ 0 & 1 & Y' & X' \end{bmatrix}, \hat{\Theta}_H = [t_x \ t_y \ \cos\omega_{xy} \ \sin\omega_{xy}]^T$$

Hodnoty $dC_{tH} \therefore v_{ct}$ sú vlastne opravy súradníc C z prvej epochy pre získanie súradníc C_{tH} v zmysle $C + dC_t = C_{tH}$, pričom dC_{tH} vyplývajú z transformácie súradníc druhej epochy C' na C_{tH} .

Z uvedeného vyplýva, že na základe transformačného princípu (1), pre rôzne apriori predpokladateľné, resp. prijaté deformačné modely, sa dajú získať transformačné súradnicové rozpory (diferencie) dX_t , dY_t a z nich transformačné horizontálne posuny

$$dh_t = \sqrt{dX_t^2 + dY_t^2} \quad (12)$$

Hodnoty rozporov $dC = C' - C$, $dC_{tt} = C_{tt} - C$, $dC_{tH} = C_{tH} - C$ v určitom bodovom poli budú prirodzene rozdielne, pretože diferencie dC , dC_{tt} , dC_{tH} sa generujú na základe rôznych princípov vzniku príslušných druhov rozporov. Tak napr. diferencie medzi dC a dC_{tt} vznikajú v podstate tým, že posuny z dC sú hodnoty získané pre každý bod individuálne na základe meraní a vyrovnaní a dC_{tt} predstavujú posuny (translácie)

bodov, pri určení ktorých sa použili spoločné transformačné parametre $\hat{\Theta}_t$, platné pre celé bodové pole.

Diferencie medzi dC_{tt} a dC_{tH} , t.j. medzi modelmi translačným a tuhého telesa, vznikajú v podstate tým, že v translačnom modeli sa na tvorbe hodnôt dC_{tt} podieľajú ako ich deformačné zložky len translácie, ale v modeli tuhého telesa na tvorbe hodnôt dC_{tH} participujú nielen translačné ale aj rotačné deformačné zložky. Teda dC_{tH} vzniká v tomto prípade kompozíciou deformačných zložiek v zmysle $dC_{tH} = dC_{tH(dX)} + dC_{tH(dY)} + dC_{tH(\square_{xy})}$. Čím viac deformačných parametrov (druhových deformácií) určitá transformácia zohľadňuje, tým sú spravidla väčšie diferencie medzi transformačnými rozpormi navzájom a na druhej strane medzi nimi a rozpormi dC z meraní.

Keďže transformačné rozpory $dC_t = C_t - C$ sú v transformačných procedúrach vyšetrené na základe súčasného zohľadnenia všetkých bodov siete (ako identických, homologických bodov), sú tieto postupy vhodnejšie pre vyšetovanie kinematiky bodov, ako je určenie rozporov $dC = C' - C$ priamo z meraní a vyrovnaní súradníc bodov v jednotlivých epochách.

Aplikácia transformačnej analýzy v lokalite Jaslovské Bohunice

Polohová geodetická sieť v lokalite Jaslovské Bohunice je realizovaná s hĺbkovou stabilizáciou bodov (pilieri s meračskou konštrukciou) a so špeciálnymi stabilizačnými systémami s vnútornou centráciou. Sieť má 15 bodov, s číslovaním podľa obrázkov č.1-3, ktoré sú rozmiestnené na území cca 22 x 25 km okolo objektov jadrovej elektrárne. Dislokácia bodov bola riešená vzhľadom na geologické, hydrogeologické a ďalšie vnútorné dispozície územia, ako aj vzhľadom na uplatnenie terestrických meračských technológií pri prvých meraniach siete. Meranie v r.1989 sa pokladá za meranie v epoche základnej t a meranie v r. 1998 za meranie v epoche následnej t' , ktoré vykonal Geodetický a kartografický ústav v Bratislave.

Na transformačnú analýzu bola použitá translačná a podobnostná (Helmertova) transformácia. Z transformovaných súradníc C_{tt} , C_{tH} boli podľa (12) odvodené príslušné transformačné posuny bodov dh_{tt} , dh_{tH} a porovnané s posunmi dh odvodenými priamo z vyrovnaných súradníc C , C' z oboch epôch. Dĺžky vektorov jednotlivých posunov sú v tab.1 a plošné rozloženia ich hodnôt (posunových skalárov) v podobe izočiari rovnakých posunov vo všetkých troch prípadoch (meranie, translačná a podobnostná transformácia). Výsledné zobrazenie izočiari je na obr.č.1 až 3. Z porovnania hodnôt v tab.1, resp. z priebehu izočiari pre jednotlivé druhy posunov vyplýva:

- veľkosti posunov bodov, zistené uvedenými tromi postupmi, sú navzájom síce rozdielne, ale rádovo v podstate zhodné,
- orientácia posunov na bodoch je v podstate tiež zhodná, až na tri body (č.7, 8, 13), kde sú najmenšie posuny v celej sieti, ale s najväčším orientačným rozptylom (v rozsahu $\pi/2$),
- priebeh izočiari rovnakých posunov je u všetkých troch druhov posunov v zásadných, dominujúcich tendenciách tiež stochasticky podobný až identický.

Približne zhodné veľkosti jednotlivých druhov posunov na bodoch, predovšetkým medzi ich transformačnými hodnotami, je možné v danom prípade vysvetliť tým, že deformačná zložka z rotácie (okolía bodov siete) prakticky nepôsobila a body siete so svojimi okoliami sa za sledované obdobie $t' - t = 9$ rokov v podstate len posunuli. Translačný charakter polohového pohybu bodov územia v rozptýlených smeroch (posuny síce naznačujú dva rotačné prúdy pohybov, ich opodstatnenie musí byť však podopreté geologickými analýzami) je teda týmito analýzami dostatočne preukázaný.

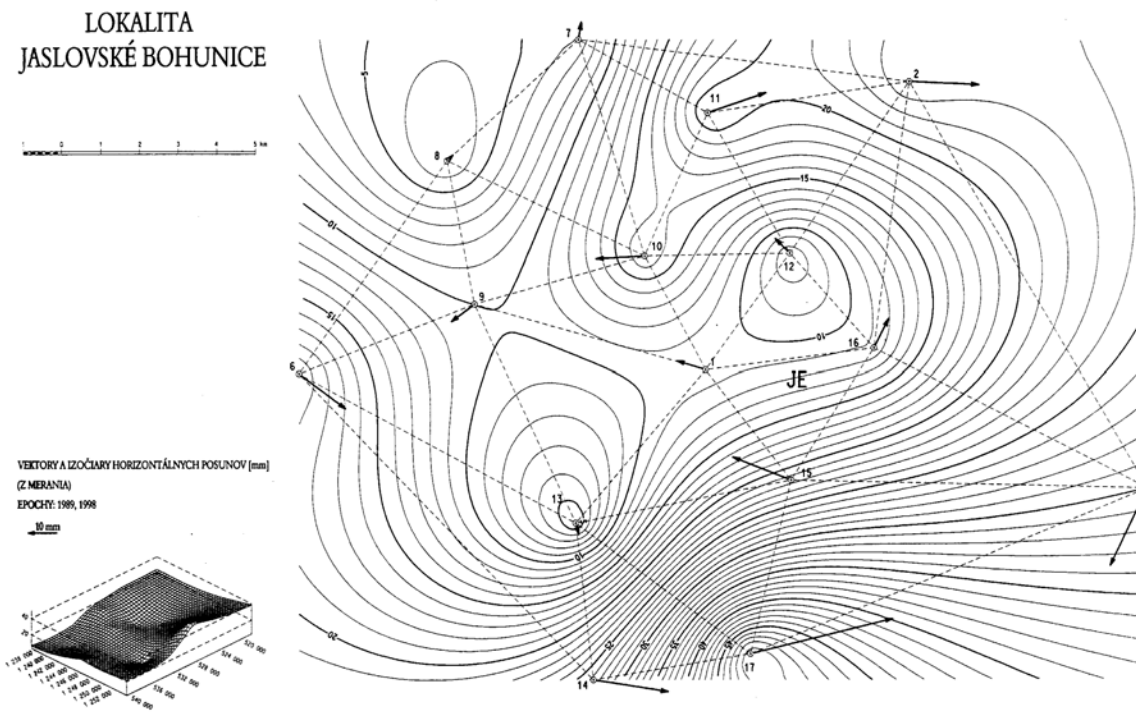
Tab.1. Hodnoty horizontálnych posunov bodov z meraní, translačnej a Helmertovej transformácie
Tab.1. Horizontal displacement values from measuring, translation transformation and Helmert's one.

Body	Horizontálne posuny bodov [mm]		
	dh	dh_{tt}	dh_{tH}
1	10,4	15,1	15,2
2	24,0	19,3	21,2
3	30,0	32,2	35,3
6	20,0	16,4	14,4
7	6,1	7,2	7,1
8	2,8	3,5	4,0
9	10,0	14,0	13,3
10	17,0	21,8	21,2
11	21,2	16,9	18,2
12	7,1	11,0	10,2
13	4,1	5,4	5,9
14	26,3	21,6	19,3
15	21,5	26,0	26,7
16	11,2	10,1	8,9
17	50,4	45,9	43,8

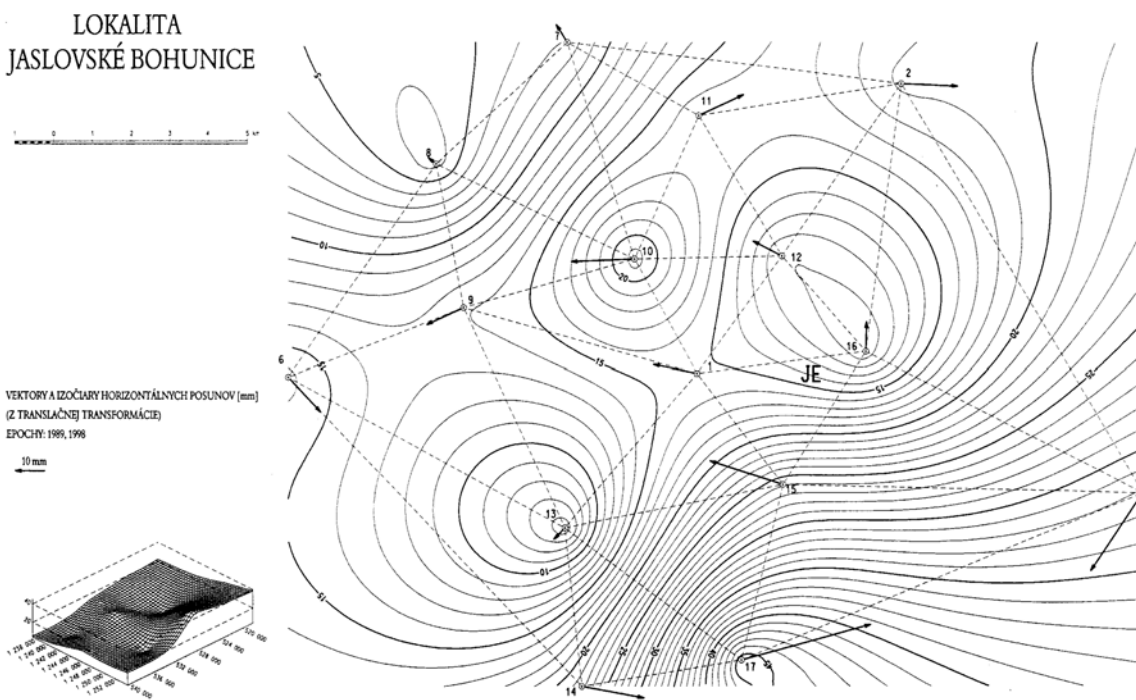
Testovanie súradnicových rozporov a ich funkcií

Polohovú zmenu bodov za obdobie $t' - t = 9$ rokov, predovšetkým v dôsledku translačných a rotačných deformačných komponentov v ich celkovom premiestnení, popisujú transformačné rozpory dX_t , dY_t , resp. transformačné posuny dh_t , ich veľkosť a orientácia. Aby sa na základe veľkosti dh_t mohli posúdiť, či sa bod reálne posunul, je potrebné o tom objektívne rozhodnúť pomocou vhodných matematicko-štatistických nástrojov, ktorými sú najčastejšie testovania nulových hypotéz. Pre tieto účely sa hodí väčšina testovacích postupov pre vychýlené (vybočujúce) hodnoty (Bening, 1985; Heck, 1985; Lenzmann, 1984), ktoré v danom prípade (za predpokladu, že nebudú pôsobiť hrubé meračské chyby, modelové chyby, omyly a pod.) budú predstavovať štatisticky významné horizontálne zmeny bodov. Používajú sa testy jednak z podskupiny špeciálnych testovacích postupov (napr. Boljen, 1986; Fotiou, 1993), zohľadňujúce rôzne typy stochastických a odhadovacích modelov, rôzne druhy transformácií a iné okolnosti, jednak štandardné testovacie procedúry

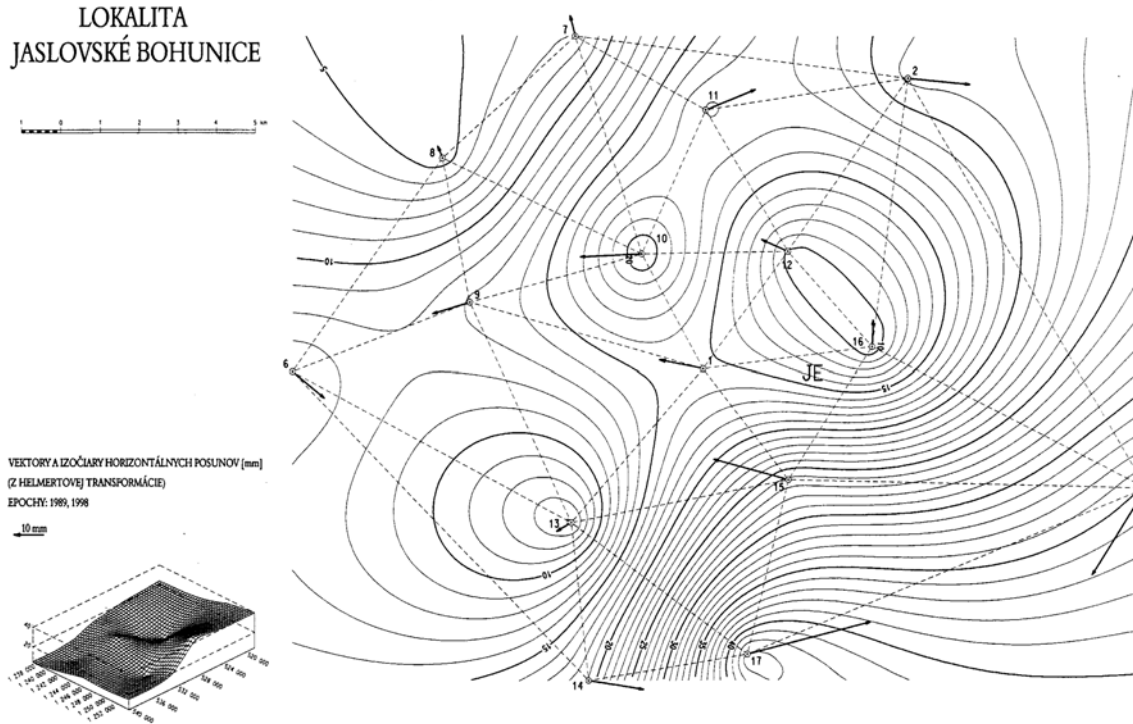
na významnosť vychýlenia dh_t (Bening, 1985; Heck; 1985; Lenzmann, 1984). Niektoré z testov sa používajú len pre 1D veličiny (rozpory dX_t , dY_t), niektoré priamo pre horizontálne posuny dh_t , t.j. 2D veličiny.



Obr.1. Horizontálne posuny na bodoch a izoćiary posunov z meranı.
Fig.1. Horizontal displacements at points and dh contour lines derived from measurements.



Obr.2. Horizontálne posuny na bodoch a izoćiary posunov z transformácie translaćného modelu.
Fig.2. Horizontal displacements at points and dh contour lines calculated from transformation of a translation model.



Obr.3. Horizontálne posuny na bodoch a izočiare posunov z transformácie modelu tuhého telesa.

Fig.3. Horizontal displacements at points and dh contour lines calculated from transformation of a rigid body model.

Z naznačených testov sa na posúdenie štatistickej signifikantnosti dC_i , resp. dh_i v prípade lokality Jaslovských Bohuníc už použilo niekoľko postupov (Geometra, 1999). Teraz sú v príspevku prezentované ďalšie testy (Lenzmann, 1984; Fotiou, 1993), označené v ďalšom ako L – test a Fo – test, ktoré sa použijú na hladine významnosti $\alpha = 0,05$.

L – test

Testovacou štatistikou na posúdenie významnosti transformačných posunov dh_{ti} na bode P_i je náhodná premenná

$$T_i = \frac{n-k-d}{d} \frac{R_i}{v^T v - R_i} \sim F(f_1, f_2), \quad (13)$$

kde: je: p - počet testovaných bodov, t.j. $p=15$,

n - počet "meraní" (súradníc), t.j. $n=2p=30$,

k - počet transformačných parametrov,

d - rozmer testovanej premennej, t.j. $d=2$,

v - $n \times 1$ vektor opráv,

$R_i = v^T H_i (H_i^T Q_v H_i)^{-1} H_i^T v = v_i^T Q_{vi}^{-1} v$ - kvadratická forma súradnicových rozporov pre bod P_i ,

$f_1 = d$, stupeň voľnosti F-rozdelenia (Fischerovo-Snedecorovo rozdelenie),

$f_2 = n-k-d$, stupeň voľnosti F-rozdelenia,

H_i - projektor opráv v_{xi}, v_{yi} z vektora v do matice R ,

$Q_v = I - AN^{-1}A^T$ - kofaktorová matica opráv.

Kritické hodnoty F-rozdelenia sa určia podľa

$$T_{kr} = F(1-\alpha; f_1, f_2). \quad (14)$$

Fo - test

Testovacou štatistikou na testovanie významnosti súradnicových rozporov $dC \equiv v$, t.j. $v_{xi} = dX_i, v_{yi} = dY_i$ pre bod B_i je premenná

$$T_i = r_i \sqrt{\frac{2n - k - 1}{2n - k - r_i^2}} \sim F(f_1, f_2) = t(f), \quad (15)$$

kde:

$$r_i = \frac{v_{xi} \cup v_{yi}}{s_o \sqrt{q_i}},$$

$$s_o = \sqrt{\frac{(1 + m^2) v^T v}{2n - k}},$$

$$q_i = \frac{n - 1}{n(1 + m^2)} - \frac{v_{xi}^2 + v_{yi}^2}{(1 + m^2) \sum (v_{xi}^2 + v_{yi}^2)},$$

m je mierkový modul (v danom prípade m=1) a stupne voľnosti sú : $f_1 = 1, f_2 = 2n - k - 1, f = f_2$. Kritická hodnota F – rozdelenia, resp. t – rozdelenia pre testovanie súradnicových rozporov – opráv je

$$T_{ikr} = F(1 - \alpha; f_1, f_2), \quad (16)$$

resp.

$$T_{ikr} = t(1 - \alpha / 2; f).$$

Na testovanie horizontálnych posunov, t.j. dh_{ti} bodu B_i sa použije náhodná premenná

$$T = r_i^2 \frac{2n - k - 2}{2n - k - 2r_i^2} \sim F(2, 2n - k - 2) \quad (17)$$

s kritickou hodnotou

$$T_{kr} = F(1 - \alpha; 2, 2n - k - 2). \quad (18)$$

Ak pre realizáciu T_i (resp. T) platí $T_i > T_{kr}$ nulovú hypotézu H_0 na zvolenej hladine významnosti nemožno prijať, príslušné dX_i, dY_i (resp. dh_i) predstavujú významné hodnoty, t.j. vznik príslušnej hodnoty testovanej premennej sa môže vysvetliť jej významnou zmenou, t.j. horizontálnym (polohovým) posunom bodu P_i .

Ak $T_i \leq T_{kr}, H_0$ sa na zvolenej hladine α , príslušné dh_i (alebo dX_i, dY_i) na základe vykonaných meraní a na hladine významnosti α sa nemôžu považovať za významné hodnoty, t.j. vznik dh_i sa môže vysvetliť len stochastickými vplyvmi, spravidla pôsobením a kumuláciou meračských chýb.

Výsledky testovania sú uvedené v tab.2. Ako vyplýva z porovnania realizácií testovacích štatistík pre jednotlivé body s kritickými hodnotami, testy poskytujú nasledujúce poznatky o stabilite bodového poľa v období t' - t.

L – test indikuje jednoznačný reálny posun bodu č.17 a naznačuje podozrenie z pohybu pre dva ďalšie body, z ktorých bod č.3 je významne podozrivý, u bodu č.15 je podozrenie menej výrazné. Ostatné body poľa je možné považovať za relatívne stabilné.

Tab.2. Výsledky testovania L a Fo testom. Bod č.17 je posunutý významne, bod č.13 pravdepodobne a bod č.15 je podozrivý z posunu.

Tab.2. Results given by L and Fo tests. The point No.17 is moved significantly, point No.13 probably and point No.15 is suspicious of displacement.

Bod	Realizácie testovacích štatistík a kritické hodnoty			
	L	F		
	dh_t	dX_t	dY_t	$dZ_t \therefore dH_t$
1	0.5112	0.2065	0.9878	0.4919
2	0.8597	0.0564	1.2928	0.8064
3	2.7160	1.7573	1.1242	2.2467
6	0.6076	0.7880	0.7473	0.5805
7	0.1127	0.4111	0.2497	0.1118
8	0.0261	0.1431	0.1833	0.0261
9	0.4406	0.3885	0.8520	0.4261
10	1.1135	0.0560	1.4583	1.0256
11	0.6462	0.4696	1.0201	0.6156
12	0.2679	0.3418	0.6517	0.2625
13	0.0629	0.2592	0.2502	0.0626
14	1.0985	0.2502	1.4253	1.0129
15	1.6570	0.5199	1.6506	1.4697
16	0.2267	0.6800	0.0177	0.2228
17	7.0413	0.7068	2.9346	4.5674
T_{krit}	3.3690	2.0518	2.0518	3.3690

Fo – test pre súradnicové rozpory (opravy) preukazuje podľa X-ových transformačných rozporov podozrenie z pohybu bodu č.3 v smere osi X, podľa Y-ových rozporov jednoznačný horizontálny posun bodu č. 17 a menej výrazné podozrenie z posunu na bode č. 15. Testovanie vektorov posunov ukázalo, že bod č. 17 sa jednoznačne posunul a u bodu č.3 platí opodstatnené podozrenie z posunu.

Obe testovacie procedúry poskytli teda prakticky zhodné informácie o stabilite, resp. polohových zmenách bodov v skúmanej lokalite: **bod č.17** – reálny posun bodu, potvrdený 3 testami, **bod č.3** – výrazné podozrenie z posunu, preukázané 3 testami, **bod č.15** – menej významné podozrenie z horizontálnej zmeny (naznačené z dvoch testov).

Tieto závery sú v podstate identické aj s výsledkami ďalších testov (Geometra, 1999), ktoré sa pre analýzu stability daného územia použili. Identické závery boli získané aj použitím testov kongruentnosti polohovej siete.

Záver

Ako vyplýva z uvedených testovacích procedúr, založených na transformačných princípoch, získané hodnoty dC_t sú značne podobné hodnotám dC získaným z meraní. Vyplýva to zo skutočnosti, že v danom prípade obsahujú horizontálne deformačné premiestnenia geodetických bodov za obdobie $t' - t$ prevážne translačné deformácie, ktoré sa prejavujú jednak v horizontálnych posunoch z meraní dh a jednak aj v transformačných posunoch dh_t , dh_H (vyšetrených podľa modelu translačného a tuhého telesa), približne rovnakými hodnotami. V prípadoch, keď môžeme tieto modely pre popis správania sa určitého územia a príslušnej bodovej množiny predpokladať, je vhodné použiť transformačné postupy a z nich určiť príslušné hodnoty dC_t , dC_H , ktoré popisujú premiestnenie každého bodu objektívnejšie, vzhľadom na to, že pritom zohľadňujú celý priestor a všetky body.

Získané výsledky sú však aj v takom prípade len geometrické interpretácie pohybových aktivít, keďže primárne informácie dC sú získané geodeticky. Pre objektívnejšiu, dôveryhodnejšiu analýzu a interpretáciu aj týchto výsledkov sú potrebné geologické, geofyzikálne, resp. geomechanické údaje a poznatky.

Autori ďakujú firme Geometra Košice za poskytnutie údajov z meraní v skúmanej lokalite.

Literatúra

- BENNING, W.: Test von Ausreissern bei der Helmerttransformation. Zeitschr.f. Vermessungswesen 110 (1985), 5, 207 – 209.
- BOLJEN, J.: Identitätsanalyse Helmert-transformierter Punkthaufen. Zeitschr.f. Vermessungswesen 111 (1986), 11, 490 – 500.
- FOTIOU, A. et al.: Adjustment, variance components estimation and testing with the affine and similarity transformations. Zeitschr.f. Vermessungswesen 118 (1993), 10, 494 – 503.
- Geometra: Analýza horizontálnej stability bodov polohovej siete v lokalite Jaslovské Bohunice, správa, Košice, 1999, 34 str.
- HECK, B.: Ein- und zweidimensionale Ausreissertests bei der ebenen Helmert-Transformation. Zeitschr.f. Vermessungswesen 110 (1985), 10, 461 – 471.
- HELBLE, W.: Mathematische Grundlagen der 5-Parameter Transformation. In: Deutsch. Verein f. Vermessung, 1979, 1, 40 – 53.
- KOCH, K. R.: Test von Ausreissern in Beobachtungspaaren. Zeitschr.f. Vermessungswesen 110 (1985), 1, 34 – 45.
- LENZMANN, L.: Zur Aufdeckung von Ausreissern bei überbestimmten Koordinatentransformationen. Zeitschr.f. Vermessungswesen 109 (1984), 9, 474 – 479.
- PELZER, H.: Allgemeine Modelle zur Erfassung von Bewegungen insbesondere von Rutschungserscheinungen. In: Sammelb. V. Int. Symp. Markscheidewesen, Varna 1982, 5 – 17.
- REINKING, J.: Geodätische Analyse inhomogener Deformationen mit nichtlinearen Transformationsfunktionen. Veröff.d.Deutschen Geodät. Komm. R. C, H.413, München 1993.
- TEUNISSEN, P. J.: Adjusting and Testing with the models of the affine and similarity transformations. Manuscripta Geodaetica 11 (1986), 214 – 225.
- WELSCH, W. M.: Description of homogeneous horizontal strains and some remarks to their analysis. In: Veröff.d.Deutschen Geodät. Komm. R. B, H.258/V, München 1982, 188 – 205.
- WOLF, H.: Deformierte Ähnlichkeitstransformation. Allgem. Verm. Nachrichten 96 (1989), 10, 361 – 365.