

Poruchy v deformačnom šetrení a ich zvládnutie

Vincent Jakub¹ a Gabriel Weiss²

Breakdowns in the deformation monitoring and their control

The deformation analysis from the point of view of its subject and methodology is an extensive part of geodetic and other methods for watching objects' stabilities and for the determination of their changes using suitable quantities from deformation measurements performed in more epochs. In the monitoring of the object deformations, their characteristic points – object points (OB) are measured and their stabilities or movements are registered relating to a convenient number of robust reference points (RB) in the surroundings. It often happens in the monitoring that some RBs are lost (damage, destruction, etc.), resulting in datum changes of the deformation net and making a reliable stability evaluation of the OBs impossible.

In this contribution to the problems of right datum determination for the whole net, three methods are introduced to reduce various datums to one of them for the whole deformation net, when the original (1st) datum can not be used in all epochs.

Key words: loss of RB in the deformation network, changes of the original net datum, new datums of new net structures, three approaches to obtain right results

Úvod

Sú všeobecne známe a používané princípy a postupy zisťovania priestorových zmien objektov vzhľadom k ich okoliu (Chranowski a Chen, 1991; Detreköi, 1988; Koch, 1988; Pelzer, 1980, 1985; Welsch 2003, aj iní). Podľa nich, objekty a ich zmeny je potrebné zisťovať v primeraných časových intervaloch zo stabilných miest v ich okolí. Vzhľadom k tomu, že pri každej geometrickej zmene objektov vytvárajú sa ich rôzne porušené stavy – vznikajú na nich rôzne deformácie, celý proces sledovania takýchto javov vyžaduje vhodné postupy a pravidlá, ktoré závisia na použitej technológii zisťovania objektových zmien. Zmeny na objektoch sa zisťujú rôznymi postupmi a metódami geodetickými, geotechnickými, fotogrammetrickými, strojárskou metrológiou, družicovými i ďalšími (Bartoš, 2000; Chranowski a Chen, 1986; Kahmen, 1998; Niemeier, 1987; Pelzer, 1971 a ďalší) v určitých vhodných časových intervaloch.

Deformačné monitorovanie objektov (v ďalšom pôjde len o geodetické), ako je známe, vykonáva sa vzhľadom k zvoleným (založeným) referenčným bodom (RB) so známymi súradnicami v príslušnom súradnicovom systéme. Tieto RB musia vyhovovať najmä dvom požiadavkám:

1. vzájomnej a priestorovej stabilit v celom deformačnom sledovaní, keďže len v takom prípade je možné reálne zisťovať geometrické zmeny objektových bodov (OB_i , $i=1,2,\dots,n$), založených na sledovaných objektoch,
2. vzájomnej vyhovujúcej kompatibility.

Požiadavka zisťovateľnosti geometrických zmien OB vzhľadom k RB stabilným a k RB kompatibilným v celom deformačnom procese, je základnou požiadavkou a predpokladom dôveryhodného vyšetrenia geometrických zmien sledovaného objektu.

Stabilita a kompatibilita RB (Jakub, 2001; van Mierlo, 1977; Sabová, 1999; Stichler, 1985; Sütti, 1996) v deformačnom procese však často môže byť porušená nielen z rôznych nepredvídateľných príčin, ale aj z nedodržania niektorých zásad a pravidiel deformačného šetrenia, najmä.:

- ako RB v deformačnej sieti (DS) sa nezaložia a určia nové body ale vyberú sa niektoré body z okolitého bodového poľa s príslušnými súradnicami, pričom sa kompatibilita týchto bodov neoveruje (napr. niektorý bod použitý ako RB môže byť posunutý zo svojej pôvodnej polohy, ku ktorej sa vzťahujú súradnice bodu a pod.),
- niektorý RB určený pre DS málo kvalitným meraním má neadekvátne súradnice vzhľadom k značke bodu,
- počas monitoringu sa miesto niektorého RB (napr. z dôvodov zmien jeho observovateľnosti) použije nový RB, ktorý nie je z hľadiska svojej kompatibility overený,

¹ host' prof. Ing. Vincent Jakub, PhD, Geometra, Pražská 4, 04011 Košice

² prof. Ing. Gabriel Weiss, PhD, Ústav geodézie a geoinformačných systémov, TU, F BERG, Park Komenského 19, 043 84 Košice (Recenzovaná e revidovaná verzia dodaná 17. 4. 2007)

- po určitej epoche sa niektorý RB poškodí (zničí) a deformačné šetrenie (DŠ) sa ďalej vykonáva vzhľadom k novej štruktúre RB, t.j. s iným geodetickým dátumom pre zostávajúce RB,
- sa od určitej epochy použije nová, odlišná technológia zamerania OB (napr. odlišná terestrická, družicová, kombinovaná, atď.) s neoverenými vlastnosťami pre DŠ,
- sa od určitej epochy použijú v observačnom procese nové, nie dostatočne vyskúšané prístroje a pomôcky,
- sa nevykonáva v rámci DŠ pravidelné (napr. po každej alebo po niekoľkých epochách) overovanie kompatibility RB,
- pri zanechaní DŠ pôvodným vykonávateľom a jeho pokračovaní novým vykonávateľom, s inou metodikou a technológiou a s inými prístupmi k získaniu deformačnej situácie, nastáva nehomogenita výsledkov, ktorá by mala byť identická z oboch DŠ, ale tiež z ďalších príčin a vplyvov.

Ak v priebehu DŠ nastane niektorá z naznačených možných, ako aj iných porúch, najmä vo funkciách RB, od začiatku ich aplikácie určované OB_i vo všeobecnosti nebudú správne súradnicovo determinované (vzhľadom k ich predchádzajúcemu určeniu) a pri ich použití vzniknú skreslené údaje, t.j. celkový nereálny obraz o pôsobení deformačných síl na OB_i a príslušné objekty.

Preto je nutné stabilnú situáciu RB pravidelne počas DŠ overovať, najvhodnejšie v každej epoche, aby sa zisťovali zmeny OB_i s použitím všetkých, vzájomne kompatibilných RB.

Získanie 2D polohových geometrických zmien OB_i v každej epoche sa zabezpečuje príslušným MNS vyrovnaním DS, pričom použité spracovanie môže byť :

- väzbové (viazané):
 - o so zmeneným stavom RB (porucha väzby DS-dátumu) a úpravou matíc v spracovaní DS vyvolaných zmenou väzby DS,
 - o určenie súradníc OB_i v novom stave DS s použitím Helmertovej transformácie.
- voľné: s použitím S – transformácie, ktoré postupy môžu na základe príslušných riešení v spracovaní výsledkov zabezpečiť obsahovo homogenné, kompatibilné hodnoty \hat{C} bodov OB_i v celom časovom rozsahu DŠ.

Vplyv nekompatibility referenčných bodov na výsledky deformačných šetrení

Ako už bolo naznačené, pre realizáciu DŠ je potrebné použiť primeraný počet RB (podľa objektov, ich prostredia, atď.) stabilných a vzájomne kompatibilných, vzhľadom ku ktorým sa budú priestorové zmeny objektu zmenami OB_i vyjadrovať a hodnotiť. V kompatibilnej sieťovej štruktúre RB, napr. s bodmi RB1, RB2, RB3, vytvárajúcimi dátum D(123)³ (väzbu, fixáciu DS na body RB), po prípadnom vyradení (strate) napr. bodu RB3, ostatné RB vytvoria nový dátum (väzbu) D(12), ktorý bude prakticky rovnako pôsobiť na OB_i ako D(123), v dôsledku vzájomnej kompatibility všetkých troch RB. V takýchto prípadoch nevzniká problém rôzneho hodnotenia a vyjadrovania zmien OB_i s použitím D(123) alebo D(12). To sa prejaví napr. aj tak, že u stabilných OB_i (bez epochových zmien v D(123) ako aj v D(13)), ich súradnicové odhady \hat{C}_{OB_i} , ako aj ich rozdiely v epochách: $t_1, \dots, t_{j-1}, t_j, t_{j+1}, \dots, t_k$: $d\hat{C}_{OB_i} = d\hat{C}_{OB_{i,j}} - d\hat{C}_{OB_{i,j}}$ sa budú navzájom líšiť len vplyvom náhodných faktorov v rámci príslušných meraní. Body OB_i budú teda aj pri použití rôzneho počtu RB v podstate identické.

Ak však napr. medzi bodmi RB1, RB2, RB3 tvoriacimi dátum D(123) je porušená alebo nevyhovujúca vzájomná kompatibilita a jeden RB (napr. RB3) je v priebehu monitorovania od epochy deformačných observácií t_{j-1} vyradený z použitia (poškodený, zničený, posunutý), vznikajú od príslušnej epochy pre určované OB_i významné diferencie medzi \hat{C}_{OB_i} z epoch t_1, t_2, \dots, t_{j-1} (dátum siete D(123)) a \hat{C}_{OB_i} z epoch t_j, t_{j+1}, \dots, t_k (dátum siete D(12)). Nový dátum D(12) nebude kompatibilný s pôvodným dátumom D(123), čo znamená, že určované OB_i s D(13) budú mať dátumovo skreslené, chybné súradnice, ktoré pre DŠ daného priestoru nebude možné bezprostredne použiť.

Kľúčovým problémom správneho postupu v DŠ ako aj správnej interpretácie celkového deformačného javu v takejto situácii je: uviesť hodnoty súradníc OB_i z rôznych dátumov do jedného spoločného dátumu, aby z neho určené ukazovatele deformácie boli reálne.

³ Dátum deformačnej siete (DS), geometricky predstavujúci väzbu (fixáciu) DS napr. s RB : RB1, RB2, RB3 v 2D súradnicovom systéme S-JTSK (alebo v inom), je realizovaný súradnicami použitých RB, ktoré súradnice definujú umiestnenie lokálneho, reálneho súradnicového rámca S-JTSK deformačnej siete vytvoreného bodmi RB1, RB2, RB3 v teoretickom súradnicovom rámci S – JTSK.

Najvhodnejšie riešenie v takýchto situáciach predstavuje transformácia $\hat{C}_{OB_i}D(123)$ z ich pôvodného dátumu $D(123)$ na súradnice $\hat{C}_{t_{OB_i}}(D12)$ vyjadrené v novom dátume $D(12)$ na základe vhodnej transformačnej procedúry. V takom prípade porovnateľnosť súradníc \hat{C}_{OB_i} zo sledovacieho obdobia t_1, \dots, t_{j-1} s dátumom $D(123)$ a súradníc $\hat{C}_{t_{OB_i}}$ z obdobia t_j, \dots, t_k bude korektná predovšetkým z hľadiska reálneho posúdenia pohybu OB_i v celom deformačnom šetrení.

Riešenie porúch v DŠ (vyvolaných zmenami dátumov)

Ako už bolo naznačené, najčastejšie poruchy v deformačnej monitorovacej realizácii vznikajú "stratou" jednak OB_i , ale najmä stratou RB z rozmanitých, vopred nezohľadniteľných vplyvov a príčin. Aj v takýchto reálnych situáciach je prioritne dôležité, aby vykonané observácie a ich výsledky z jednej situácie bodového poľa mohli byť kompatibilizované s výsledkami z inej deformačnej situácie bodového poľa, najmä v prípadoch zníženia, resp. zvýšenia počtu a rozloženia bodov RB a OB_i .

Z rôznych konkrétnych možností zmien deformačného bodového poľa uvádzame sa na ukážku riešenie pre typickú situáciu "stráť" RB z ich pôvodného rozloženia v deformačnom priestore. Je to situácia, keď v priebehu DŠ po určitej epoche t_{j-1} (z množstva epoch $t_1, t_2, \dots, t_{j-1}, t_j, t_{j+1}, \dots, t_k$) dôjde z rôznych príčin k "strate" niektorého RB. Táto strata RB a ňou vyvolaná nová štruktúra poľa RB, zmení od epochy t_j pôvodným stavom bodov RB vytvorený dátum DS. Tým sa mení aj určenie \hat{C}_{OB_i} a od epochy t_j vytvorené parametre polohových zmien $d\hat{C}_{OB_i}$, t.j. vzniká skreslený, nereálny obraz o deformovanom stave objektu. V ďalšej časti je uvedené, akými možnými postupmi a spracovaním výsledkov DŠ v takých prípadoch je možné dosiahnuť korektné hodnoty súradnicových odhadov OB_i aj pri poruche poľa RB. Kvôli jednoduchosť budeme uvažovať stratu (zničenie) len jedného RB z pôvodného ("štartovacieho") množstva.

Dátumová homogenizácia deformačnej siete zmenou matíc pri jej spracovaní

DS s RB1, RB2, RB3 a s počtom n OB_i sa observuje v epochách $t_1, \dots, t_{j-1}, t_j, \dots, t_k$. Po epoche t_{j-1} sa RB3 zničí, teda ďalšie observácie v epochách t_j, \dots, t_k sa budú vzťahovať iba na RB1, RB2, t.j. dochádza k zmene pôvodného dátumu $D(123)$ na $D(12)$. Je zrejmé, že v období $t_1 - t_{j-1}$ určené $\hat{C}_{OB}D(123)$ nebudú kompatibilné s hodnotami $\hat{C}_{OB}D(12)$ zistenými v období $t_j - t_k$. Je preto nutné prijať vhodné riešenie na vytvorenie kompatibility hodnôt $\hat{C}_{OB}D(123)$ a $\hat{C}_{OB}D(12)$, t.j. ich vzájomnej porovnateľnosti, aby na základe týchto výsledkov bolo možné posúdiť zmeny OB v celom deformačnom časovom rozpätí $t_1 - t_k$.

Najjednoduchšie riešenie v uvedenom zmysle predstavuje (najmä pre situácie, v ktorých časť DS viazaná na nepoužiteľný RB tvorí menšiu časť z celkového rozsahu DS) eliminácia meraných veličín L z bodu RB3 a príslušné úpravy matíc A, Q_L, L^0 ³⁾. Redukcie týchto matíc platných v $D(123)$ sa vykonajú v príslušných spracovateľských programoch pre jednotlivé epochy t_1, \dots, t_{j-1} na štruktúry A_r, L_r, Q_{Lr}, L^0 platné len v $D(12)$. Tak sa potom miesto epochových súradníc

$$\hat{C}_{OB}(t_1, \dots, t_{j-1}) = C^0 + (A^T Q_L^{-1} A)^{-1} A^T Q_L^{-1} (L - L^0) \quad (1)$$

s dátumom $D(123)$ určujú súradnice

$$\hat{C}_{OB_r}(t_1, \dots, t_{j-1}) = C^0 + (A_r^T Q_{Lr}^{-1} A_r)^{-1} A_r^T Q_{Lr}^{-1} (L_r - L^0) \quad (2)$$

s dátumom $D12$, kde $C^0 = [X^0 \ Y^0]$ sú približné hodnoty súradníc bodov OB .

Súhrnne platné výsledky súradnicových odhadov $\hat{C}_{OB_r}, \hat{C}_{OB}$ potom v celom časovom rozpätí DŠ ($t_1 - t_k$) budú

$$\hat{C}_{OB} = \begin{bmatrix} \hat{C}_{OB_r} & (t_1, \dots, t_{j-1}) \\ \hat{C}_{OB} & (t_j, \dots, t_k) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

s ktorými je možné vykonať analýzu sledovaného deformačného prejavu bez skresľujúcich metodických a výpočtových vplyvov v dôsledku zmeneného dátumu DS v období monitorovania pohybov OB , t.j. v epochách $t_1 - t_k$.

Dátumová homogenizácia deformačnej siete s použitím podobnostnej transformácie

Majme situáciu DS, ktorá v epochách $t_1 - t_{j-1}$ bola meraná vzhľadom k bodom RB1, RB2, RB3 ako dátumovým, t.j. majme odhady \hat{C}_{OB} určené v dátume $D(123)$. Po strate bodu RB3, t.j. po epoche t_{j-1} , odhady

\hat{C}_{OB} v epochách $t_j - t_k$ budú môcť byť určené len v inom dátume D(12). Dátumovo homogénne určenie \hat{C}_{OB} je však potrebné pre celé časové rozpätie observácií v jedinom dátume, t.j. pre všetky epochy $t_1 - t_k$ (čo je nutnou podmienkou interpretačnej reálnosti výsledkov DŠ). To je možné dosiahnuť tým, že \hat{C}_{OB} určené v $t_1 - t_{j-1}$ v dátume D(123) sa Helmertovou transformáciou prevedú na transformované súradnice $\hat{C}_{t_{OB}}$ v dátume D(12) a v tomto dátume sa budú vyjadrovať \hat{C}_{OB} všetkých OB_i v celom časovom rozpätí $t_1 - t_k$ deformačného šetrenia.

Potrebné transformačné parametre (TP) pre prevod \hat{C}_{OB} z $t_1 - t_{j-1}$ na odpovedajúce hodnoty v $t_j - t_k$ sa najčastejšie určia zo súradníc \hat{C}_{OB} , ktoré vznikli len v epoche t_{j-1} (pôvodný dátum D(123)) a súradníc \hat{C}_{OB} z epochy t_j (nový dátum D(12)). Pre spoľahlivé určenie TP sa však odporúča výpočet TP z hodnôt \hat{C}_{OB} získaných vo viacerých epochách s dátumami D(123) a D(12).

Ďalší postup určenia TP uvažuje len s výsledkami epoch t_{j-1} a t_j a s príslušnými prevodmi súradníc.

V epoche t_{j-1} sú určené odhady súradníc $\hat{C}_{OB_i, D(123)}$, $i=1, 2, \dots, n$ bodov OB_i a z príslušných hodnôt pre t_{j-1} sa vytvorí prenosová matica⁴ súradníc do epochy t_j

$$(2n,4) A_{D(123), t_{j-1}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \hat{X}_1 & -\hat{Y}_1 \\ 0 & 1 & \hat{Y}_1 & \hat{X}_1 \\ \vdots & & & \\ 1 & 0 & \hat{X}_i & -\hat{Y}_i \\ 0 & 1 & \hat{Y}_i & \hat{X}_i \\ \vdots & & & \\ 1 & 0 & \hat{X}_n & -\hat{Y}_n \\ 0 & 1 & \hat{Y}_n & \hat{X}_n \end{bmatrix}_{(t_{j-1})}, \quad (4)$$

ktorá spolu s transformačnými parametrami (5) určí transformované súradnice OB_i z dátumu D(123) do dátumu D(12) pre epochu t_j .

Transformačné parametre pre dátumový prevod súradníc z D(123) do D(12) sa určia podľa (4,1)

$$TP_{(j)} = \{(4,2n) A_{D(123), t_{j-1}}^T \cdot (2n,4) A_{D(123), t_{j-1}}\}^{-1} \cdot (4,2n) A_{D(123), t_{j-1}}^T \cdot (2n,1) \hat{C}_{OB, D(12), t_j} \quad (5)$$

kde

$$(2n,1) \hat{C}_{OB, D(12), t_j} = [\hat{X}_1 \hat{Y}_1 \dots \hat{X}_i \hat{Y}_i \dots \hat{X}_n \hat{Y}_n]^T \quad (6)$$

sú na základe príslušných observácií v epoche t_j určené súradnice \hat{C}_{OB_i} s dátumom D(12), t.j. v prvej observačnej epoche po poruche – zmene dátumu D(123) na D(12).

Dátumovo kompatibilné, transformované z epochy t_{j-1} do epochy t_j súradnice pre OB $\hat{C}_{tr_{OB}, D(12), t_j}$ teda budú

$$\begin{aligned} (2n,1) \hat{C}_{OB, D(12), t_j} &= [\hat{X}_{tr_1} \hat{Y}_{tr_1} \dots \hat{X}_{tr_i} \hat{Y}_{tr_i} \dots \hat{X}_{tr_n} \hat{Y}_{tr_n}]^T = \\ &= (2n,4) A_{D(123), t_{j-1}} \cdot (4,1) TP_{(j)} \end{aligned} \quad (7)$$

Zo vzťahu (5) vyplýva kofaktorová matica transformačných parametrov

$$(4,4) Q_{TP} = (A_{D(123), t_{j-1}}^T \cdot A_{D(123), t_{j-1}})^{-1} \quad (8)$$

a pre diferencie V medzi súradnicami OB_i z transformácie (7) a priamo získanými (meraním a spracovaním) súradnicami OB_i z epochy t_j (6) dostávame na bode OB_i

⁴ Značenia matic, ako obvykle, predstavujú : A – konfiguračná matica DS, L – vektor meraných veličín v DS, Q_L – kofaktorová matica vektora L , L° – vektor približných hodnôt meraných veličín

$$d\hat{C}_{OB_i} \equiv V_{i,j} = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}_{i,j} = \hat{C}_{tr_{OB_i,D(12)}} - \hat{C}_{OB_i,D(12)} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{tr} \\ \hat{Y}_{tr} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \end{bmatrix} = \quad (9)$$

$$(2n,4) A_{D(123),t_j-1} \cdot (4,1) TP_{(j)} - \hat{C}_{OB_i,D(12)} \cdot$$

Aposteriórny variančný faktor máme

$$s_0^2 = V^T V / (2n - 4) \quad (10)$$

a kovariančná matica TP s maticami (8) a (10)

$$\Sigma_{TP} = s_0^2 Q_{TP} \quad (11)$$

Kovariančná matica $\Sigma d\hat{C}_{OB_i}$ súradnicových diferencií V_{ij} vyjadrujúca ich presnosť ako i závislostné vzťahy súradníc,

$$(2n,2n) \Sigma d\hat{C}_{OB_i} = s_0^2 Q d\hat{C}_{OB_i}, \quad (12)$$

kde kofaktorová matica je

$$(2n,2n) Q_{d\hat{C}_{OB_i}} = (2n,4) A_{D(123),t_j-1} \cdot (4,4) Q_{TP} \cdot (4,2n) A_{D(123),t_j-1}. \quad (13)$$

Ak teda body OB_i v epoche $t_j - 1$ budú so svojimi súradnicami a kovariančnou maticou transformované do dátumu $D(12)$ na príslušné hodnoty týchto charakteristík, napr. pre OB_i na hodnoty

$$\hat{C}_{t_{OB_i,j-1}} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{t_i} & \hat{Y}_{t_i} \end{bmatrix}^T, \quad (14)$$

$$\Sigma_{OB_i,j-1} = \begin{bmatrix} s_{\hat{x}t_i} & s_{\hat{x}\hat{y}t_i} \\ s_{\hat{y}\hat{x}t_i} & s_{\hat{y}t_i} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

a keď analogické údaje budú k dispozícii (bez transformácií) pre body OB_i v epoche t_j , posunové zmeny $d\hat{C}_{OB_i}$ bodov OB_i medzi epochami t_{j-1} a t_j budú

$$d\hat{C}_{OB_i} = \hat{C}_{OB_i,j} - \hat{C}_{OB_i,j-1} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{i,j-1} \\ \hat{Y}_{i,j-1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{X}_{i,j} \\ \hat{Y}_{i,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d\hat{X}_{j-1,j} \\ d\hat{Y}_{j-1,j} \end{bmatrix} \quad (16)$$

s kovariančnou maticou súradníc jedného bodu OB_i

$$\Sigma_{d\hat{C}_{OB_i}} = \begin{bmatrix} s_{d\hat{X}}^2 & s_{d\hat{X}d\hat{Y}} \\ s_{d\hat{X}d\hat{Y}} & s_{d\hat{Y}}^2 \end{bmatrix} = \Sigma_{OB_i,j-1, D(12)} + \Sigma_{OB_i,j, D(12)}, \quad (17)$$

ktorá je príslušnou submaticou kovariančnej matice Σ_{OB} všetkých bodov OB z deformačnej siete.

Dátumová homogenizácia deformačnej siete S – transformáciou

Keďže správne odhady súradníc \hat{C} a ich $\Sigma_{\hat{C}}$ v jednotlivých epochách sú závislé na použitom dátume DS, homogénnom počas celého DŠ, aj súradnicové diferenciencie $d\hat{C}$ a ich $\Sigma_{d\hat{C}}$ (podľa ktorých sa posudzuje stabilita, resp. zmeny OB v DS) medzi jednotlivými epochami závisia na použitom dátume, ktorý z tohoto hľadiska má byť v celom šetrení konštantný. V deformačných procesoch, v ktorých dôjde k rôznym zmenám pôvodného dátumu DS, je potrebné výsledky celého DŠ uviesť v jedinom dátume, t.j. použité dátumy v rôznych časových úsekoch DŠ je potrebné pretransformovať do jedného dátumu. K tomu je možné použiť, keď vyrovnanie DS v epochách je realizované voľným vyrovnávaním, tzv. S – transformáciou (van Mierlo,

1980; Gründig, 1985; Koch, 1982; Illner, 1983; a ďalší), ktorá jednoducho rieši prevody výsledkov $d\hat{C}$ a ich $\Sigma_{d\hat{C}}$ medzi rôznymi dátumami.

Majme DS zameranú ako trilaterálnu sieť, ktorej dátum $d = 3$, (resp. 4) (Caspary, 1987; Pelzer, 1985; Illner, 1983). S – transformácia medzi súradnicovým systémom S-JTSK s dátumom D(123) a S-JTSK s dátumom D(12) sa realizuje postupmi:

- odhady súradnicových diferencií $d\hat{C}_{OB,D(123)}$ bodov OB_i , $i = 1, 2, \dots, n$ medzi epochami $t_1 - t_2, \dots, t_{j-2} - t_{j-1}$ s dátumom D(123) sa pretransformujú na odpovedajúce súradnicové diferenciencie $d\hat{C}_{OB,D(12)}$ v tých istých medziepochách $t_1 - t_2, \dots, t_{j-2} - t_{j-1}$ podľa vzťahu

$$(2n,1) d\hat{C}_{OB,D(12)} = (2n,2n) S \cdot (2n,1) d\hat{C}_{OB,D(123)} \quad (18)$$

- kovariančná matica $(2n,2n) \Sigma_{d\hat{C}_{OB,D(123)}}$ súradnicových diferencií $d\hat{C}_{OB,D(123)}$ sa pre-transformuje na odpovedajúcu $(2n,2n) \Sigma_{d\hat{C}_{OB,D(12)}}$ kovariančnú maticu súradnicových diferencií $d\hat{C}_{OB,D(12)}$ podľa

$$(2n,2n) \Sigma_{d\hat{C}_{OB,D(12)}} = (2n,2n) S (2n,2n) \Sigma_{d\hat{C}_{OB,D(123)}} \quad (19)$$

kde

$$(2n,2n) S = (2n,2n) I - (2n,d) G \cdot ((d,2n) G^T (2n,d) G)^{-1} (d,2n) G^T \quad (20)$$

alebo

$$(2n,2n) S = (2n,2n) I - (2n,d) G \cdot \{(d,2n) G^T (2n,2n) E_i (2n,d) G\}^{-1} \cdot (d,2n) G^T \cdot (2n,2n) E_i \quad (21)$$

je transformačná matica dátumového prevodu príslušných veličín.

Matica G je maticou fixácie DS v súradnicovom systéme (je to matica vlastných vektorov matice $N = A^T Q_L^{-1} A$ vo voľnom vyrovnaní), ktorá v danom prípade, ak použijeme pre tvorbu dátumu, t.j. na fixáciu DS všetky RB a OB, má štruktúru

$$(d,2n) G^T = \left[\begin{array}{cc|cc|cc|cc} 1 & 0 & \dots & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & & 0 & 1 & 0 & 1 & & 0 & 1 \\ \hline -Y & X & & -Y & X & -Y & X & & -Y & X \\ \text{RB} & \dots & & & & \text{OB} & \dots & & & \end{array} \right] \quad (22)$$

Matica E_i je redukovaná jednotková matica (identity) so štruktúrou

$$E_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

t.j. súčinom $G^T E_i$ určuje štruktúru a obsah G^T tak, aby v tvorbe dátumu DS matica G obsahovala len pôsobenie tých RB prípadne aj OB, ktoré sa v danom prípade používajú na tvorbu dátumu.

Záver

DŠ je dôležitou a tematicky i metodicky rozsiahlou časťou geodetických a iných technológií sledovania stabilit objektov, resp. určovania ich zmien s reálne odhadnuteľnou veľkosťou na báze ich empirického a pravdepodobnostného posúdenia. Procesy vyšetrovania tvarových a objemových zmien určitého objektu na základe jeho bodového ohraničenia a definície (množinou bodov OB) vyžaduje ich spoľahlivé, reálne určovanie. Pri deformačnom šetrení dochádza často k stratám RB čo treba zohľadniť pri vyhodnotení DŠ zmenami dátumu DS už v priebehu DŠ a tiež pri ukončení deformačného monitorovania. Nezohľadnenie zmien dátumu DS v priebehu šetrenia skreslí a znehodnotí vplyvy z pôsobenia deformačných síl. Preto prioritnou podmienkou získania správnych výsledkov deformačného pôsobenia je zabezpečenie dátumovej homogenity deformačných meraní vzhľadom k RB v celom príslušnom priestore.

Literatúra - References

- Bartoš, P.: Fotogrametrické metódy merania posunov na vodohospodárskych dielach. *Sbor.: Mer. Monit. Vyhodn. posunov na vodohosp. dielach, 2000, 95-100.*
- Caspary, W.: Concepts of network and deformation analysis. *Monograph No.11, School of Surveying, U.N.S.W., Kensington, 1987.*
- Detrekői, Á.: Deformationsmessungen und Deformationsanalyse. *Österr. Zeitsch.Verm. Photogramm. 3, 76/1988, 330-341.*
- Gründig, L. et al.: Deformationsanalyse und S – Transformation. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 4, 1987, 491-499.*
- Heck, B.: Zur geometrischen Analyse von Deformationen in Lagenetzen. *Allgem. Verm. Nachr. 10, 91/ 1984, 3579- 364.*
- Heck, B.: Ein und zweidimensionalen Ausreistests bei der ebenen Helmerttransformation. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 10, 1985, 110, 461-471.*
- Chrzanowski, A., Chen Y. Q.: Problems and solutions in the integrated deformation monitoring. *CISM Journal 45, 4, 1991, 547-560.*
- Chrzanowski, A., Chen, Y.Q.: Geometrical analysis of deformation surveys. *Mass.Inst. Techn., Cambridge, 1986, 56 p.*
- Illner, I.: Freie Netze und S – Transformation. *Allgem. Verm. Nachricht., 5, 90/1983, 157-170.*
- Jakub, V., Sütti, J.: Skúmanie identity geodetických bodov. *Acta Montanistica Slovaca 2, 4/1999, 64-69.*
- Jakub, V.: Posudzovanie stability geodetických bodov. *DDP práca F BERG TU Košice, 2001, 1-138.*
- Kahmen, H. et al.(Eds.): Geodesy for geotechnical and structural engineering. *Forum, Eisenstadt, 1998, 118p.*
- Koch, K.R.: Durch Hypothesentests aufzudeckende Deformationen. *Allgem. Verm. Nachr. 7, 1984, 269 –276.*
- Koch, K.R.: Modelle für die Parameterschätzung bei der Deformationsanalyse. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 4, 1988, 105, 189-195.*
- Koch, K.R.: S – transformations and projections for obtaining estimable parameters. In: "40 years of thought (Anivers. vol. Prof. Baardas' 65 th Birthday)", Vol. I., 136-144, 1982, Delft TU Geod. Comp. Centre
- Lenzmann, L.: Zur Aufdeckung von Ausreissern bei überbestimmte Koordinatentransformation. *Zeitschr. f. Vermessungsw., 9, 1984, 474-479.*
- Mierlo, van J.: Systematic investigation of the stability of control popints. In: "Proceed.XV. FIG Congr.", Stock-holm, 1977, paper Nr. 606.2.
- Mierlo, van J.: Free network adjustment and S – Transformation. *Veröff. Deutsche Geodät. Komm. B, 252, Mün-chen 1980, 41-45 p.*
- Niemeier, W.: Statistical tests for detecting movements in repeatedly measured geodetic networks. *Tectonophysics, 9, 71/1981, 335-351.*
- Pelzer, H.(Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung I., II. *Wittwer, Stuttgart, 1980, 1985, 964 s.*
- Pelzer, H.: Zur Analyse geodätischer Deformationsmessungen. *Veröff. Deutsche Geodät. Komm. 19, C, 164, München 1977, 73s.*
- Sabová, J., Jakub, V.: Analýza polohovej stability geodetických bodov. *Acta Mont. Slov., 4, 4/1999, 325 –327.*
- Sabová, J., Jakub, V.: Geodetické deformačné šetrenie. F BERG TU Košice, 2007, 142s.
- Stichler, S.: Untersuchung von Methoden der Identifizierung stabiler Punkte als Bestandteil der geodätischen Deformationsanalyse. *Vermessungstechnik, č. 11, roč. 33/1985, 203-205.*
- Sütti, J.: O kompatibilite geodetických sietí. In: *Zbor."Aktuálne problémy inžinierskej geodézie", STU Bratislava, 1996, 24-31.*
- Weiss, G., Sütti, J.: Analýza identity bodov v polohových sieťach. *Acta Mont. Slov. 2, 3/1998, 159-166.*
- Weiss, G., Jakub, V., Weiss, E.: Kompatibilita geodetických bodov a jej overovanie. F BERG TU Košice, 2006.