

## Deformačné šetrenie referenčných bodov PVE Čierny Váh pomocou GPS meraní

Slavomír Labant<sup>1</sup> a Lucia Kalatovičová

### *Deformation monitoring reference points of PVE Čierny Váh with GPS measurements*

*This contribution describes standard survey procedure and separate deformation analyses of deformation network measured by GPS technology. Structure of values put into GPS vectors adjustment based on the Gauss- Markov model through least squares method and estimation of parameters of net structures are described. The weights of individual measurement are estimate using Minque methods. Statistic verification of stability ratios of relative points is performed by the congruent test of deformation networks.*

**Key words:** GPS surveying deformation monitoring, test-statistics.

### Úvod

Svahové deformácie sú procesy, pri ktorých sa z rôznych dôvodov narúša stabilita hornín na svahu a dochádza k pohybu horninových mäs, často s katastrofickými následkami. Predstavujú nebezpečenstvo pre všetky plánované a realizované stavby, či sa jedná o ľudské obydliá alebo stavby, ktoré uľahčujú život na tejto planéte. Tieto územia sú málo odolné proti pôsobeniu prírodných a antropogénnych faktorov. Náchylnosť svahu k zosúvaniu je daná geologickou štruktúrou, vlastnosťami hornín, hydrogeologickými pomermi, stavom morfológického vývoja územia a atď. Presná diagnóza stavu územia umožňuje poznať stupeň nebezpečenstva a navrhnúť účelné zabezpečenie svahu. (Sedlák, 2003; Štubňa, 2003)

Posudzovanie stability sa robí geodetickými, fotogrametrickými, fyzikálnymi a inými metódami merania posunov. Medzi geodetické metódy patrí čoraz viac využívané meranie prostredníctvom satelitných meracích techník, ktoré v poslednom desaťročí výrazne zvýšili svoju presnosť, čo dáva predpoklad pre ich použitie i v oblasti inžinierskej geodézie na určovanie posunov stavebných objektov. Výhoda použitia GPS technológií spočíva najmä v nezávislosti od priamej viditeľnosti medzi bodmi, čo poskytuje možnosť realizácie presného merania aj v oblastiach zvýšenej ochrany prírody, pretože nie je potrebné vykonávať prieseky cez porast. Článok obsahuje závery z experimentálneho merania metódou GPS na overenie stability prečerpávacej vodnej elektrárne (PVE) Čierny Váh. Spracovanie meraných veličín je vykonané v geocentrickom súradnicovom systéme WGS-84.

### Deformačná lokalita

Záujmové územie sa nachádza v okrese Liptovský Mikuláš, asi 20 km od mesta Liptovský Hrádok. Horná nádrž zasahuje do štátnej prírodnej rezervácie Turková (z plochy 137 ha zaberá asi 14 ha). Celý komplex leží v oblasti Nízkotatranského národného parku, čo prináša špecifickú problematiku začlenenia diela do krajiny.

PVE Čierny Váh slúži najmä na hydraulickú akumuláciu energie v čase zníženia zaťaženia elektrizačnej sústavy, čím sa zamedzuje nehospodárne odstavovanie tepelných elektrární, alebo znižovanie ich výkonu na prevádzkové minimum. Horná nádrž je bez prítoku v nadmorskej výške 1130 - 1160 m n. m., kde vyše 130 dní v roku klesá teplota pod 0 °C (ročný priemer 4,1 °C). Priemerný ročný úhm zrážok je 990 mm. ([www.aquamedia.at](http://www.aquamedia.at))

### Zameranie siete a vyhodnotenie signálov

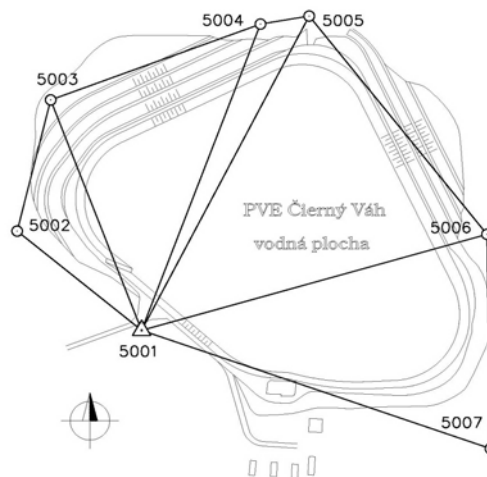
Na príjem GPS signálov sa v záujmovom priestore použili prijímače Stratus firmy Sokkia, ktoré majú vhodné vlastnosti pre lokálne deformačné merania s vektormi do 10 – 12 km, pričom výrobcom deklarovaná presnosť je 5mm + 1ppm v horizontálnom smere a 10 mm + 1 ppm vo vertikálnom smere. Realizácia merania prebiehala v dvoch nezávislých epochách, v epoche t (október 2003 – 2 dni) a epoche t' (júl 2008 – 1 deň) v naznačenej deformačnej sieti obr. 1. Meranie sa vykonalo statickou metódou na princípe relatívneho určovania polohy a vyhodnotenie výsledkov sa vykonalo v postprocessing režime. Na jeho zameranie sa použili v prvej epoche 2 GPS prijímače Stratus Sokkia, a v druhej epoche 4 GPS prijímače

<sup>1</sup> Ing. Slavomír Labant, Ing. Lucia Kalatovičová, Ústav Geodézie, Kartografie a Gis, Fakulta BERF, Technická Univerzita v Košiciach, 043 84 Košice, Park Komenského 19. [slavomir.labant@tuke.sk](mailto:slavomir.labant@tuke.sk), [lucia.kalatovicova@tuke.sk](mailto:lucia.kalatovicova@tuke.sk)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 3. 11. 2009)

Stratus Sokkia. V každej epoche bolo zameranie GPS siete (observačná kampaň) realizované 11 vektormi. Poradie a dĺžky observácií na jednotlivých stanoviskách uvádza tab. 1, pre obe epochy merania.

Tab. 1. Poradie a doba observácií október 2003 a júl 2008.  
Tab. 1. Sequence and observation time Oct. 2003 and July 2008.

DDeň	číslo stanoviska	doba observácie [h:m:s]	DDeň	číslo stanoviska	doba observácie [h:m:s]
23.10.2003	5001	6:54:40	25.07.2008	5001	7:03:20
	5002	0:52:29		5002	2:15:50
	5003	0:40:35		5003	2:43:50
	5004	1:08:47		5004	1:44:20
	5005	1:08:47		5005	2:40:00
24.10.2003	5001	2:58:55		5006	2:04:00
	5006	1:00:54		5007	1:09:40
	5007	2:20:37			
	5006	2:18:24			
	5005	2:15:49			
	5004	2:43:27			
	5003	2:29:53			
	5002	0:42:22			



Doba príjmu signálov bola od 31 min až 7 hodín (u referenčného bodu č. 5001 spoločného pre obe epochy), so záznamovým intervalom 10 sekúnd. Počet zachytených satelitov: 4 až 10.

Obr. 1. Štruktúra 3D siete v lokalite PVE Čierny Váh v M 1:10 000.  
Fig. 1. 3D net structure in location PVE Čierny Váh in scale 1:10 000.

### Voľba spracovateľského priestoru

Keďže pre 3D GPS sieťové štruktúry k jednoznačnému polohovaniu v určitom 3D súradnicovom systéme stačí z množiny dátumových bodov, ktoré sú k dispozícii, vybrať len 1 bod pre väzbové vyrovnanie pričom by mal byť mimo predpokladaného priestoru deformácie bol použitý ako referenčný bod 5001. Prednosťou takéhoto pripojenia je, že sa sieť nebude vplyvom ďalších referenčných bodov deformovať a v prípade, že tento bod bude sám nekompatibilný v každej z epoch dôjde ku rovnakým skresleniam súradníc objektových bodov, čo sa v epochových rozdieloch súradníc neprejaví.

Za súradnicový systém bol zvolený geocentrický súradnicový systém WGS-84. Výhodou takéhoto spracovateľského priestoru je, že:

- všetci výrobcovia gps prístrojov poskytujú v prvotnom spracovaní výstupné hodnoty práve vo WGS-84 zo základného programového balíka prislúchajúceho danému prístroju,
- transformácia do iného súradnicového systému je možná v ďalšom spracovaní zvoleného softwaru prípadne iného dostupného softwaru,
- nevznikajú skreslenia, ku ktorým dochádza pri transformácii, ktoré často znehodnocujú odhady súradníc používané pre vyšetrenie deformácie.

Najčastejším spôsobom spracovania geodetických sietí v geodézii je odhad parametrov sieťových štruktúr na báze Gaussovho-Markovho modelu (GMM), ktorého štatistická formulácia je:

$$v = A(\hat{C} - C^{\circ}) - (L - L^{\circ}) = Ad\hat{C} - dL, \quad (1)$$

$$\Sigma_L = \sigma_0^2 Q_L,$$

kde  $C^{\circ} = [X^{\circ}, Y^{\circ}, Z^{\circ}]$ ,  $d\hat{C} = [d\hat{X}, d\hat{Y}, d\hat{Z}]$ ,  $\hat{C} = [\hat{X}, \hat{Y}, \hat{Z}]$

$A_{(n,k)}$  - matica parciálnych derivácií funkcií  $L^0 = f(C^0)$  podľa vektora  $C^0_{(k,l)}$ . Prvky matice  $A$  sú derivácie sprostredkujúcich veličín podľa jednotlivých konfiguračných veličín. Jej štruktúra bude:

$$A_{(n,k)} = \left[ \frac{\partial f(C^0)}{\partial C^0} \right] \quad (2)$$

Pre vyrovnanie siete sa použila sa metóda vyrovnaní sprostredkujúcich veličín. Spracovanie deformačnej siete môže byť realizované viacerými spôsobmi, či už separátne, bivariátne alebo multivariátne. Pre lokalitu PVE Čierny Váh bolo použité separátne vyrovnanie.

### Vstupné veličiny

Označenie rozmerov veličín:

$m$  - počet meraných GPS vektorov  $l_{i,i+1}$

$n$  - počet meraných veličín (súradnicových komponentov)  $n=3m$ ,

$b$  - počet observovaných bodov,

$k$  - počet hľadaných neznámych veličín (súradníc)  $k=3b$ ,

$L_{(n,l)}$  - vektor observácií - predstavuje vektor  $n,l$  súradnicových komponentov  $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$

$m$  vektorov  $l_{i,i+1}$ , ktoré sú v protokole vyhodnotenia družicových observácií príslušným softvérom (Sabová 2007).

$Q_L_{(n,n)}$  - diagonálna matica kofaktorov vektora  $L_{(n,l)}$ , ktorá má na hlavnej diagonále kofaktorové matice:

$$Q_{l_{i,i+1}} = \begin{bmatrix} q_{\Delta X \Delta X} & q_{\Delta X \Delta Y} & q_{\Delta X \Delta Z} \\ q_{\Delta Y \Delta X} & q_{\Delta Y \Delta Y} & q_{\Delta Y \Delta Z} \\ q_{\Delta Z \Delta X} & q_{\Delta Z \Delta Y} & q_{\Delta Z \Delta Z} \end{bmatrix}_{i,i+1} \quad (3)$$

Kofaktory  $q_i$  môžeme vyjadriť rôznymi spôsobmi:  $q_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_0}$ ,  $q_i = 1$ ,  $q_i z Q_L = \frac{1}{s_0^2} \Sigma_L$ ,

kde  $\Sigma_L$  je kovariančná matica vyrovnaných veličín, ktorú niektoré vyhodnocovacie softvéry poskytujú vo svojich výstupoch pri prvotnom spracovaní siete.  $s_0^2 = 1$ .

Najbežnejším postupom je zavedenie 5 mm presnosti, čím však prisudzujeme všetkým meraniam rovnakú váhu. V dôsledku toho môže nastať prípad, kedy po vyrovnaní sa niektoré merania ukážu ako odľahlé a je potrebné ich z modelu vylúčiť. Aby sa vyšlo zlému odhadu váh jednotlivých meraní, pre výpočet jednotlivých kofaktorov matice  $Q_L$  sa použila pre odhad jej prvkov metóda MINQUE -Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation (Gašinec, 2005)

Riešenie úlohy je založené na existencii funkcionálnej časti Gauss - Markovovho odhadovacieho modelu sprostredkujúcej náhodnej veličiny v tvare  $w = Ad\hat{C} - dL$ . Kombináciu rôznych geodetických prístrojov a meračských metód použitých pri získaní vektora meraných veličín v teréne popisuje stochastická časť modelu v tvare:

$$C_l = \mathcal{G}_X^0 V_X + \mathcal{G}_Y^0 V_Y + \mathcal{G}_Z^0 V_Z, \quad (4)$$

$\mathcal{G}_i^0$  sú približné alebo apriórne variančné komponenty,  $V_i$  sú korešpondujúce pozitívne semidefinitné matice  $n$ -tého rádu. Nestraný invariantný, kvadratický odhad (MINQUE) s minimálnou normou variančných komponentov  $(\mathcal{G}_X^0, \mathcal{G}_Y^0, \mathcal{G}_Z^0)^T$  je daný vzťahom:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \text{tr}(MV_X MV_X) & \cdots & \text{tr}(MV_X MV_Z) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{tr}(MV_Z MV_X) & \cdots & \text{tr}(MV_Z MV_Z) \end{bmatrix}}_{\substack{S \\ (3,3)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \hat{\mathcal{G}}_X^0 \\ \mathcal{G}_Y^0 \\ \hat{\mathcal{G}}_X^0 \end{bmatrix}}_{\substack{(3,1)}} = \underbrace{\begin{bmatrix} dL^T MV_X M dL^T \\ \vdots \\ dL^T MV_X M dL^T \end{bmatrix}}_{\substack{q \\ (3,1)}} \quad (5)$$

Matica M sa počíta podľa vzťahu:

$$M = C_l^{-1} - C_l^{-1} A (A^T C_l^{-1} A)^{-1} A^T C_l^{-1} \quad (6)$$

Odhadnuté koeficienty lineárnej kombinácie  $(\hat{\mathcal{G}}_X, \hat{\mathcal{G}}_Y, \hat{\mathcal{G}}_Z)^T$  sa opäť dosadia do vzťahu (4). Vzťah (5) potom vedie k ich spresneným hodnotám. Iteračný cyklus končí splnením podmienky:

$$|\hat{\mathcal{G}}_i - \mathcal{G}_i| \leq \delta \quad (7)$$

pre všetky  $i$ .  $\delta$  je vopred zvolená konštanta z oboru reálnych čísel, ktorou riešiteľ definuje požadovanú mieru presnosti odhadovaných parametrov

*Takýmto postupom bola za vstupnú hodnotu zvolená výrobcom stanovená presnosť 5 mm pre všetky vektory oboidvoch epoch.*

Ďalší priebeh GMM je tradičný.

### Výstupné veličiny

Výstupnými veličinami sú:

$\hat{C}$  - odhady súradníc bodov určíme na základe vzťahu:

$$\hat{C}_{(k,1)} = C^0 + d\hat{C} = \left[ (\hat{X}, \hat{Y}, \hat{Z})_i \right]_{i=1}^p \quad (8)$$

$$\text{kde } d\hat{C} = (A^T Q_L^{-1} A)^{-1} A^T Q_L^{-1} dL = N^{-1} A^T Q_L^{-1} dL = Q_C A^T Q_L^{-1} dL$$

$v$  - vektor opráv observovaných veličín  $L_{(n,1)}$

$$v_{(n,1)} = A d\hat{C} - dL \quad (9)$$

$\hat{L}$  - vektor odhadov observácií vypočítame ako súčet vektora observácií  $L_{(n,1)}$  a vektora opráv  $v_{(n,1)}$ :

$$\hat{L} = L + v \quad (10)$$

### Hodnotenie kvality siete

Charakteristikami kvality siete sú predovšetkým presnosť a spoľahlivosť. Presnosť polohy bodov môže byť vyjadrená popri číselných aj grafickými ukazovateľmi presnosti siete, ktorými sú konfidenčné krivky a konfidenčné elipsy – v priestore sú to konfidenčné elipsoidy. Elipsoidy určujú náhodný priestor, v ktorom sa budú skutočné polohy bodov nachádzať s pravdepodobnosťou  $1 - \alpha$ , kde  $\alpha$  je zvolená hladina významnosti, podľa ktorej sú elipsoidy rôzne veľké. V geodetickej praxi sa používajú pre priestor štandardné konfidenčné elipsoidy. Ich konštrukčné parametre možno odvodiť buď z kofaktorovej matice (Gašincová, 2007)

$$Q_{\hat{C}} = (A^T Q_L^{-1} A)^{-1} = N^{-1} \quad (11)$$

ktorá má na hlavnej diagonále  $b$  kofaktorových matíc, alebo kovariančnej matice súradnicových odhadov určených  $b$  bodov, ktorá má na hlavnej diagonále  $b$  kovariančných matíc

$$\Sigma_{\hat{C}} = s_0^2 Q_{\hat{C}} \quad \Sigma_{\hat{C}_i} = \begin{bmatrix} \sigma_{\hat{X}}^2 & \sigma_{\hat{X}\hat{Y}} & \sigma_{\hat{X}\hat{Z}} \\ \sigma_{\hat{Y}\hat{X}} & \sigma_{\hat{Y}}^2 & \sigma_{\hat{Y}\hat{Z}} \\ \sigma_{\hat{Z}\hat{X}} & \sigma_{\hat{Z}\hat{Y}} & \sigma_{\hat{Z}}^2 \end{bmatrix}_i \quad (13)$$

ktoré poskytujú komplexný obraz o presnosti polohovej siete. Na hlavnej diagonále vystupujú variancie odhadov odhadovaných parametrov  $(\sigma_{\hat{X}_i}^2, \sigma_{\hat{Y}_i}^2, \sigma_{\hat{Z}_i}^2)_{i=1}^b$ . Mimo hlavnej diagonály sú kovariancie medzi príslušnými súradnicami  $(\sigma_{\hat{X}_i\hat{Y}_j}, \sigma_{\hat{Y}_i\hat{Z}_j}, \sigma_{\hat{X}_i\hat{Z}_j})_{i,j=1}^b$ .

Aplikovaním tohto postupu boli vyrovnané merania obidvoch epoch a odhadovane parametre z týchto vyrovnaní potrebné pre overenie stability územia s nachádzajú v tab. 2.

Tab. 2. Súradnice WGS-84 z epochy október 2003 a júl 2008.

Tab. 2. WGS-84 coordinates from the epoch Oct. 2003 and July 2008.

epocha 2003				epocha 2008					
	Co	dC	sC	C^		Co	dC	sC	C^
	[m]	[m]	[mm]	[m]		[m]	[m]	[mm]	[m]
1	3941063.356	3.444	7.337	3941063.359	1	3941063.361	-1.729	5.914	3941063.359
2	1427021.989	0.882	4.669	1427021.990	2	1427021.991	-4.306	4.107	1427021.987
3	4792984.595	-14.542	10.434	4792984.580	3	4792984.570	2.951	4.512	4792984.573
4	3940896.398	-13.111	6.413	3940896.385	4	3940896.374	-0.458	5.169	3940896.374
5	1426998.795	-4.236	4.081	1426998.791	5	1426998.782	3.389	3.590	1426998.785
6	4793089.944	6.917	9.120	4793089.951	6	4793089.952	1.903	3.944	4793089.954
7	3940722.165	11.222	6.270	3940722.176	7	3940722.171	-7.646	5.054	3940722.163
8	1427243.220	7.410	3.990	1427243.227	8	1427243.219	5.472	3.510	1427243.224
9	4793194.256	6.292	8.917	4793194.262	9	4793194.276	-9.243	3.856	4793194.267
10	3940690.597	-3.222	6.270	3940690.594	10	3940690.582	10.521	5.054	3940690.593
11	1427304.221	-6.535	3.990	1427304.214	11	1427304.227	-1.972	3.510	1427304.225
12	4793208.543	-1.042	8.917	4793208.542	12	4793208.561	2.368	3.856	4793208.563
13	3940816.181	0.111	6.413	3940816.181	13	3940816.170	-1.792	5.169	3940816.168
14	1427638.529	-1.014	4.081	1427638.528	14	1427638.523	-4.389	3.590	1427638.519
15	4793016.655	11.583	9.120	4793016.667	15	4793016.666	0.347	3.944	4793016.666
16	3941027.266	1.556	7.337	3941027.268	16	3941027.258	1.104	5.914	3941027.259
17	1427741.650	3.493	4.669	1427741.653	17	1427741.647	1.806	4.107	1427741.649
18	4792811.104	-9.208	10.434	4792811.095	18	4792811.099	1.674	4.512	4792811.101

### Overenie stability bodov, zostavenie deformačného vektora

Po vyšetrení všetkých matíc a vektorov potrebných na určenie vyrovnaných hodnôt odhadovaného parametra v obidvoch epochách sa odporúča pristúpiť k overeniu či oba merania boli vykonané na približne rovnakej presnostnej úrovni, aby merania na horšej negatívne neovplyvňovali deformačné parametre. Toto testovanie sa zvyčajne vykonáva testom kongruentnosti.

Avšak metóda MINQUE zabezpečí, že podiel  $\frac{s_0^2}{\sigma_0^2} = 1$  v obidvoch epochách a teda nie je potrebné testovať kongruentnosť siete, lebo pri dostatočnom počte meraní aj pri vysokej pravdepodobnosti testovanie kritérium je vždy menšie ako kritická hodnota F-testu.

Ďalším krokom je zostavenie deformačného vektora:

$$d\hat{C} = \hat{C}' - \hat{C}, \quad (14)$$

Hodnoty deformačného vektora sú:

$$d\hat{C}^T = \begin{bmatrix} 0.0 & -3.0 & -7.0 & -11.0 & -6.0 & 3.0 & -13.0 & -3.0 & 5.0 \\ (18,1) \text{ [mm]} & -1.0 & 11.0 & 21.0 & -13.0 & -9.0 & -1.0 & -9.0 & -4.0 & 6.0 \end{bmatrix}$$

Avšak tieto hodnoty ako je známe nemusia znamenať skutočný posun bodu. Do určitej miery sú napriek predošlým vyrovnaniám ovplyvnené nahromadením meračských chýb. Preto pre ich význačnosť je potrebné vykonať testovanie deformačného vektora, a to Globálnym a lokalizačným testom kongruentnosti.

### Globálny test kongruentnosti

Signifikantná stabilita, resp. nestabilita bodov DS sa zamieta alebo nezamieta na základe overenia nulovej hypotézy  $H_0$  (resp. aj alternatívnej hypotézy) (Weiss,2007):

$$H_0 : \hat{C}' - \hat{C} = 0, \quad H_a : \hat{C}' - \hat{C} \neq 0 \quad (15)$$

$H_0$  vyjadruje nesignifikantnosť súradnicových diferencií bodov medzi epochami  $t$  a  $t'$ . Pre testovanie sa použije napr. štatistika:

$$T = \frac{(\hat{C}' - \hat{C})^T (\mathcal{Q}_{\hat{C}} + \mathcal{Q}'_{\hat{C}})^{-1} (\hat{C}' - \hat{C})}{h \cdot \bar{s}_0^2} \sim F(1 - \alpha, h, n - k), \quad (16)$$

kde  $h = 3$  pre 3D, a  $\bar{s}_0^2$  je aposteriórny variančný faktor spoločný pre obe epochy  $t, t'$ . Vďaka použitiu metódy MINQUE sa  $s_0^{2t} = s_0^{2t'} = \bar{s}_0^2 = 1$

Z testovania vyplývajú 2 možnosti:

- $T > F_\alpha$  -  $H_0$  sa zamieta, t.j. neprijíma sa s rizikom  $\alpha$ , že v čase  $(t' - t)$  došlo k štatisticky významným zmenám na bode DS,
- $T \leq F_\alpha$  - kedy  $H_0$  sa nezamieta, t.j. prijíma sa s rizikom  $\alpha$ , že jej všetky body je možné považovať za 3D stabilné, teda v takom prípade test potvrdzuje 3D kongruentnosť sieťových realizácií v  $t$  a  $t'$ .

Testovacia hodnota pri zvolenej hladine významnosti  $\alpha = 0,05$  a určená podľa vzťahu (16) je  $T = 2.165$ . Kritická hodnota Fisherovho rozdelenia je  $F = 3.287$ . Globálny test pre meranú deformačnú sieť preukázal, že na žiadnom z bodov nenastal posun a odchýlky deformačného vektora sú len nahromadením meračských chýb.

Pre vyšetrenie siete týmto bodom sledovanie pohybu končí. Pre úplnosť je uvedený ešte identifikačný test kongruentnosti siete.

### Identifikačný test kongruentnosti

Pre lokalizáciu 3D zmenených bodov

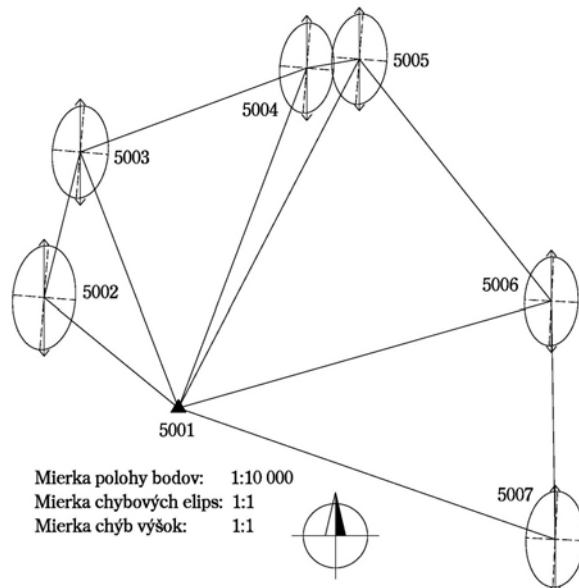
$$T_i = \frac{d\hat{C}_i^T Q_{dC_i}^{-1} d\hat{C}_i}{3\bar{s}_0^2} \approx F(1 - \alpha, f = 3, f' = n - k), i = 1, 2, \dots, b, \quad (17)$$

Z porovnania  $T_i$  a  $F$  vyplýva ak:

- $T_i > F$  - test preukazuje signifikantnú zmenu v 3D polohe bodu za obdobie  $t' - t$ , teda v takom prípade s rizikom  $\alpha$  možno pripustiť priestorovú zmenu príslušného bodu v dôsledku účinku deformačných síl,
- $T_i \leq F$  - výsledok vyjadruje stochastickú stabilitu bodu, keď zmeny súradnic bodu v  $t'$  voči ich hodnotám v  $t$  nie sú významné, teda kedy je možné bod považovať pre obdobie  $t' - t$  za stabilný.

Bod	T(i)		F	
5002	0.352	<	3.287	Nedošlo k posunu žiadneho z vyšetovaných bodov
5003	1.462	<		
5004	1.789	<		
5005	3.198	<		
5006	2.327	<		
5007	1.012	<		

Pre vizualizáciu dát deformačného vektora je vhodné vykreslenie aj štandardných elíps presnosti pre polohu a štandardnej presnosti výšky (obr. 2.) alebo štandardných elipsoidov pre priestor.



Obr. 2. Grafické znázornenie presnosti deformačnii.  
Fig. 2. Graphic visualization of deformation accuracies.

### Záver

V príspevku bol prezentovaný spôsob vyšetovania 3D deformačnej siete v geocentrických súradniciach WGS-84. Výhodou použitia tohto súradnicového systému je, že všetci výrobcovia gps prístrojov poskytujú v prvotnom spracovaní výstupné hodnoty práve vo WGS-84. Takže nie je problém nadviazať na rôzne predošlé merania vykonané prístrojmi iných výrobcov.

Váhy prislúchajúce meraným veličinám boli odhadované metódou MINQUE, aby boli určené čo najpresnejšie stochastické vlastnosti náhodného vektora  $I$  charakterizované príslušnou kofaktorovou maticou.

Takýto spôsob spracovania deformačnej siete sa ukázal ako vhodný pre posúdenie stability bodov deformačnej siete. Napriek tomu, že za obdobie 2003-2008 nedošlo k posunom, je potrebné tieto merania v určitých intervaloch sledovať. Práve v dôsledku nerovnomerného zaťaženia objemom vody vo vodnej nádrži, ktorý sa počas dňa vplyvom prečerpávania neustále mení.

*Tento článok vznikol v súvislosti s riešením grantovej úlohy Ministerstva školstva SR VEGA, číslo projektu č.1/4188/07 „Možnosti využitia jednofrekvenčných družicových prijímačov na monitorovanie deformačných prejavov dynamicky zaťažovaných vodných diel.“ a č. 1/3355/06: „Nové trendy monitorovania kinematiky svahových porúch sídliska Dargovských hrdinov s ohľadom na bezpečnosť obyvateľstva“ riešeného na ÚGKaGIS, Fakulta BERG, TU Košice .*

#### Literatúra - References

- Gašinec, J., Gašincová, S.: Neštandardné postupy v spracovaní meraní v lokálnych geodetických sieťach. *Acta Montanistica Slovaca, ročník 10, 2005, č. 2, s. 94-103, ISSN 1335-1788.*
- Štubňa, J., Seidlová, A.: Stabilita vzťahných bodových polí na meranie posunov a pretvorení stavebných objektov. *GaKO, 50/92, 2004 č.3, s.45-50.*
- Sabová, J., Jakub, V.: Geodetické deformačné šetrenie. Prvé vydanie. *Košice: Edične stredisko a redakcia AMS, Fakulta BERG 2007. 130 s. ISBN 978-80-8073-788-7.*
- Sedlák, V.: Deformačná analýza výškového bodového poľa Košická Nová Ves. *Acta Montanistica Slovaca, ročník 8, 2003, č. 2-3, s. 53-58, ISSN 1335-1788.*
- Weiss, G., Jakub, V.: Testovacie overenia 3D geodetických bodov a ich zmien. *Acta Montanistica Slovaca, ročník 12, 2007, č. 1, s. 612-616, ISSN 1335-1788.*
- [www.aquamedia.at/downloads/download\\_872.rtf](http://www.aquamedia.at/downloads/download_872.rtf) [cit. 2008.7.25]