Spracovanie polohových sietí zameraných spojenou technológiou terestrickou a GPS

***Vincent Jakub*[1]**

Processing horizontal networks measured by integrated terrestrial and GPS technologies

Local horizontal networks in which GPS and terrestrial measurements (TER) are done are often established at present. Iin other networks, the previous terrestrial measurements can be completed with quantities from contemporary GPS observations (tunnel nets, mining nets with surface and underground parts and other long-shaped nets).

The processing of such heterobeneous (GPS, TER) networks whose terrestrial measurements are performed as point coordinate measurements (ΔX, ΔY) using (geodetic) total stationIn is presented in this paper. In such network structures it is then available:

- *the values ΔX, ΔY from TER observations which are transformed in the plane of S-JTSK for adjustement,*
- *the values ΔX, ΔY in the plane S-JTSK that can be obtained by 3D transformation of WGS84 netpoint coordinates from GPS observations to corresponding coordinates S-JTSK).*

For common adjusting all the ΔX, ΔY, some elements of the network geometry (e.g. distances) should be measured by both methods (GPS, TER). This approach makes possible an effective homogenisation of both network parts what is equivalent to saying that an expressive influence reduction on local frame realizations of S-JTSK in the whole network can be made.

Results of network processing obtained in proposed manner are acceptable in general and they are equivalent (accuracy, reliability) to results of another processing methods.

***Key words**: Common GPS and TER network surveying, processing coordinate measurements in combined networks, reduction of coordinate unhomogenity, effects of local coordinate frame realisations.*

Úvod

V geodetickej praxi sú časté úlohy, keď v určitom priestore treba založiť polohové bodové pole pre rôzne následné geodetické práce. V takom priestore sa spravidla nachádza už niekoľko pevných bodov (zo Štátnej trigonometrickej siete, z podrobných bodových polí) determinovaných S-JTSK súradnicami, medzi ktoré je potrebné založiť množinu nových polohových bodov (spravidla na úrovni podrobných bodov 1.triedy presnosti), aby takto vzniklé bodové pole mohlo dobre plniť svoje geodetické účelové funkcie. Z pevných bodov niektoré sa použijú ako pripájacie (dátumové) body, u ostatných sa ich súradnice môžu znovu určiť v rámci súčasného merania.

Takto štrukturalizovaná polohová sieť sa v súčasnosti často zameriava kombinovane, vhodná časť siete GPS technológiou a časť siete terestrickými metódami (TER), ako napr. tunelové siete, banskomeračské siete s povrchovou a podzemnou časťou a pod. Pomocou oboch druhov meraní je možné získať rôzne geometrické prvky determinujúce príslušnú sieťovú štruktúru (GPS: dĺžky, súradnicové rozdiely $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ vo WGS84; TER: dĺžky, vodorovné smery a uhly, súradnicové rozdiely $\Delta X, \Delta Y$ na topografickom povrchu, resp. v S-JTSK, ...) a na základe nich spracovať celú kombinovanú polohovú sieť (KPS).

Spracovanie kombinovaných polohových sietí

Z možností použitia rôznych druhov veličín uvedie sa v ďalšom postup spracovania siete, pre ktorý sa použijú súradnicové rozdiely ako observované, resp. kváziobservované veličiny. Použijú sa hodnoty $[\Delta X\ \Delta Y]^J_G$ pre spojnice bodov siete z GPS meraní, ktoré sa určia z WGS84 transformovaných súradníc bodov do S-JTSK a hodnoty $[\Delta X\ \Delta Y]^J_T$ z TER meraní, ktoré sa určia s použitím vhodných totálnych staníc a prevodom do S-JTSK.

Majme situáciu kombinovanej polohovej siete (KPS) podľa obr.1, v ktorom boli medzi danými (dátumovými bodmi 1,2,3) a novými ako aj medzi samotnými novými bodmi určené s použitím GPS a GTS príslušné súradnicové rozdiely $\Delta X, \Delta Y$, pričom medzi niektorými bodmi (napr 2i,2j,2k) boli rozdiely merané obidvomi technológiami. Obojaké meranie veličín $\Delta X, \Delta Y$ na niektorých spojniciach bodov je pre spoločné spracovanie oboch druhov vstupných údajov (t.j. $[\Delta X,\Delta Y]^J_G$,$[\Delta X,\Delta Y]^J_T$) nutné, najmä z hľadiska homo–genizácie oboch množín výsledkov do kompaktnej štruktúry, minimálne ovplyvnenej rôznymi lokálnymi realizáciami súradnicového rámca S-JTSK v danom priestore.

Na spracovanie veličín $[\Delta X,\Delta Y]^J_G$,$[\Delta X,\Delta Y]^J_T$ v S-JTSK rovine použime MNŠ väzbové vyrovnanie s minimálnymi väzbami podľa Gaussovho – Markoffovho modelu v známom štatistickom tvare

[1] *h.Doc. Ing. Vincent Jakub, PhD,* Katedra geodézie a geofyziky F BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 04200 Košice

(Recenzované a revidovaná verzia dodaná 14.8.2003)

$$v = A.\,d\hat{C} - (L - L^{o}),$$

$$\Sigma = s_o^2\, Q_{L,} \tag{1}$$

riešením ktorého sa získajú odhady súradníc

$$\hat{C} = C^{o} + (A^{T} Q_L^{-1} A)^{-1} A^{T} A (L - L^{o}) \tag{2}$$

a ich kovariančná matica

$$\Sigma_{\hat{C}} = s_o^2 Q_{\hat{C}} = s_o^2 (A^{T} Q_L^{-1} A) \tag{3}$$

ako aj odhady ďalších parametrov KPS.

Štruktúra vstupných matíc

Pre vyrovnanie je potrebné zostaviť príslušné matice L, Q_L, A, C^o a σ_o^2, ktoré budú mať nasledovné štruktúry.

Observačný vektor **L** budú tvoriť dva subvektory :

- subvektor s prvkami odvodenými z GPS meraní (obr.1)

$$\mathbf{L}_G(ng,1) = \begin{bmatrix} \vdots \\ \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix}_{1i} \\ \vdots \\ \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix}_{1j} \\ \vdots \end{bmatrix} \tag{4}$$

kde súradnicové rozdiely medzi bodmi sa určili zo súradníc C^J, získaných transformáciou súradníc C^W zameraných bodov 1, 2, 3,...,i, j,.. (obr.1) na odpovedajúce hodnoty súradníc v S-JTSK,

- subvektor s prvkami z terestrických meraní

$$\mathbf{L}_T(nt,1) = \begin{bmatrix} \vdots \\ \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix}_{2i} \\ \vdots \\ \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix}_{2j} \\ \vdots \end{bmatrix} , \tag{5}$$

kde súradnicové rozdiely medzi bodmi sa určili meraním (nepriamym) s použitím GTS a vhodnej metodiky merania. Celkove teda (ng+nt)x1 observačný vektor je

$$\mathbf{L} = [\mathbf{L}_G\ \mathbf{L}_T]^T. \tag{6}$$

Kofaktorová matica $\mathbf{Q}_L$ vektora **L** sa zostavuje vzhľadom na rozdielnu genézu subvektorov $\mathbf{L}_G$, $\mathbf{L}_T$.

Pre subvektor L_G je exaktné riešenie kofaktorov značne komplikované. Preto, ako to preukázali mnohé experimenty (Hačko,2001;Dzúr-Gejdoš,2002;Jakub,2002) je možné miesto nich väčšinou použiť kofaktory $q_{\Delta x}$, $q_{\Delta Y}$ definované a určené pre GPS súradnicové rozdiely ΔX_G, ΔY_G . V takom prípade sa hodnoty kofaktorov určia podľa

$$q_{\Delta XGij} = \frac{s^2_{\Delta XGij}}{s_o^2}, \quad q_{\Delta YGij} = \frac{s^2_{\Delta YGij}}{s_o^2} \tag{7}$$

kde $s^2_{\Delta XG}$, $s^2_{\Delta YG}$ ako aj jednotková variancia merania pseudovzdialeností s_o^2 je k dispozícii z programového vyhodnotenia GPS signálov prijatých v rámci observácií.

Pre L_T je možné použiť rôzne postupy určenia kofaktorov , napr. na základe definície (Sütti,2001)

$$q_{\Delta XTij} = \frac{|\Delta X_{Tij}|}{\Sigma |\Delta X_T|}, \quad q_{\Delta YTij} = \frac{|\Delta Y_{Tij}|}{\Sigma |\Delta Y_T|}$$

Takto formulované kofaktory vyjadrujú pre ohodnotenie ΔX_T,ΔY_T zásadu : veľkým hodnotám ΔX_T,ΔY_T sa priradia veľké hodnoty $q_{\Delta X}$, $q_{\Delta Y}$ (resp. malé hodnoty váh $p_{\Delta X}$, $p_{\Delta Y}$), teda veľké ΔX_T,ΔY_T budú pre spracovanie ohodnotené menej priaznivo ako malé hodnoty ΔX_T,ΔY_T.

Kofaktorové matice pre jednotlivé druhy observácií, t.j. pre vektory L_G, L_T , budú tvoriť diagonálne matice

$$\mathbf{Q}_{LT} = \mathrm{diag}(\ q_{\Delta XT2i}\ q_{\Delta YT2i},\ldots,\ q_{\Delta XT2j}\ q_{\Delta YT2j},\ldots) \tag{9}$$

$\mathbf{Q}_{LG} = \mathrm{diag}(\, q_{\Delta XG2i}\ q_{\Delta YG2i}, \ldots,\ q_{\Delta XG2j}\ q_{\Delta YG2j}, \ldots)$

a kofaktorová matica celého vektora observácií bude

$\mathbf{Q}_{L} = \mathrm{diag}(\, \mathbf{Q}_{LG}\ \ \mathbf{Q}_{LT}).$ (10)

Matica **A** (konfigurácie KPS) sa zostavuje na základe známych pravidiel a postupov vychádzajúc z modelových rovníc

$\Delta X_{ij} = X_j - X_i, \quad \Delta Y_{ij} = Y_j - Y_i$ (11)

medzi meranými veličinami a cieľovými parametrami: S-JTSK súradnicami nových bodov. Je zrejmé, že **A** sa zostaví v zmysle

$\mathbf{A} = [\, \mathbf{A}_G\ \mathbf{A}_T]^T\,,$ (12)

kde $\mathbf{A}_G$ je submatica pre GPS observácie ΔC^J_G a $\mathbf{A}_T$ pre terestricky určené observácie ΔC^J_T. Vzhľadom na (11), koeficienty v $\mathbf{A}_G$, $\mathbf{A}_T$ budú mať hodnoty 1,-1,0 a ich rozmiestnenie je tiež evidentné (Weiss,1997). Napr. pre schematické bodové pole (obr.1), príslušné matice **A** sa vytvoria so štruktúrami v zmysle známych postupov

$\mathbf{A}_G =$

Súradnica / Veličina	X_i	Y_i	X_j	Y_j	X_k	Y_k	…
ΔX_{3i}	1						
ΔY_{3i}		1					
ΔX_{3k}					1		
ΔY_{3k}						1	
ξ							

$\mathbf{A}_T =$

Súradnica / Veličina	X_i	Y_i	X_j	Y_j	X_k	Y_k	ω
ΔX_{1i}	1						
ΔY_{1i}		1					
ΔX_{1j}			1				
ΔY_{1j}				1			
ξ							
ΔX_{2i}	1						
ΔY_{2i}		1					
ξ							
ΔX_{ij}	-1		1				
ΔY_{ij}		-1		1			
ξ							

Meračská homogenizácia GPS a TER častí KPS

V maticiach **L**, $\mathbf{Q}_L$, **A**, zostavených naznačenými postupmi je však potrebné zaviesť určité zmeny vyvolané tým, že na niekoľkých spoločných spojniciach bodov (v počte *s*), sa určovali príslušné ΔC družicovou i terestrickou technológiou.

Podľa naznačeného štandardného spôsobu zostavenia **L**, boli by v nej veličiny ΔC pre *s* spojníc uvedené dvakrát, čo v zmysle princípov MNŠ spracovania nie je možné, keďže odpovedajúce si komponenty $\Delta X,\Delta Y$ mali by rôzne kofaktorové ohodnotenia a každá z nich by dostala vo vyrovnaní dve rôzne opravy. Preto je potrebné, aby pre každú spoločnú spojnicu *ij* sa zaviedli len jedny hodnoty $\Delta X,\Delta Y$. V zmysle stochastických princípov sa to najjednoduchšie dosiahne vytvorením váhovaného priemeru odpovedajúcich si súradnicových rozdielov. Teda z hodnôt $[\Delta X_G,\Delta Y_G]_{ij}^T$, $[\Delta X_T,\Delta Y_T]_{ij}^T$ sa určia priemery – hodnoty $[\Delta X_{GT},\Delta Y_{GT}]_{ij}^T$

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{GT} \\ \Delta Y_{GT} \end{bmatrix}_{ij} = \frac{\begin{bmatrix} \Delta X_G \\ \Delta Y_G \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} q_{\Delta XG} \\ q_{\Delta YG} \end{bmatrix}_{ij} + \begin{bmatrix} \Delta X_T \\ \Delta Y_T \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} q_{\Delta XT} \\ q_{\Delta YT} \end{bmatrix}_{ij}}{\begin{bmatrix} q_{\Delta XG} \\ q_{\Delta YG} \end{bmatrix}_{ij} + \begin{bmatrix} q_{\Delta XT} \\ q_{\Delta YT} \end{bmatrix}_{ij}}, \tag{13}$$

ktoré sa zavedú napr. v matici $\mathbf{L}_G$ miesto pôvodných hodnôt ΔC_G, pričom odpovedajúce hodnoty ΔC_T v $\mathbf{L}_T$ sa vynechajú. Nový vektor $\mathbf{L}_{GT}$ bude mať teda štruktúru

$$L_{GT}(ng+nt\text{-}2s,1) = \begin{bmatrix} L_G(ng,1) \\ L_T(nt-2s,1) \end{bmatrix} \quad . \tag{14}$$

Vzhľadom na naznačenú úpravu matice L, je potrebné adekvátne vytvoriť príslušné zmeny aj v kofaktorovej matici $\mathbf{Q}_L$, t.j. pre "nové veličiny" v (14) zaviesť miesto pôvodných kofaktorov nové kofaktory vytvorené tiež ako váhované priemery $q_{\Delta CGT}$ z príslušných pôvodných kofaktorov $q_{\Delta CG}$, $q_{\Delta CT}$ (9) podľa

$$\begin{bmatrix} q_{\Delta X GT} \\ q_{\Delta Y GT} \end{bmatrix}_{ij} = \frac{\begin{bmatrix} \Delta X_G \\ \Delta Y_G \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} q_{\Delta XG} \\ q_{\Delta YG} \end{bmatrix}_{ij} + \begin{bmatrix} \Delta X_T \\ \Delta Y_T \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} q_{\Delta XT} \\ q_{\Delta YT} \end{bmatrix}_{ij}}{\begin{bmatrix} \Delta X_G \\ \Delta Y_G \end{bmatrix}_{ij} + \begin{bmatrix} \Delta X_T \\ \Delta Y_T \end{bmatrix}_{ij}} , \tag{15}$$

ktoré sa vpíšu do $\mathbf{Q}_{LG}$ miesto pôvodných kofaktorov $q_{\Delta CG}$, pričom kofaktory $q_{\Delta CT}$ sa v submatici $\mathbf{Q}_{LT}$ tiež vypustia. Nová kofaktorová matica pre vektor (14) teda bude

$$\mathbf{Q}_{LGT}\,(ng+nt\text{-}2s,ng+nt\text{-}2s) = \text{diag}\,(\mathbf{Q}_{LG}(ng,ng)\ \ \mathbf{Q}_{LT}(nt\text{-}2s,nt\text{-}2s)). \tag{16}$$

Prirodzene aj matica **A** sa v dôsledku zohľadnenia spojníc meraných pomocou GPS aj TER, resp. ich komponentov ΔC v spracovaní KPS, zmení oproti pôvodnej zostave. Zmena sa bude týkať len submatice $\mathbf{A}_L$, v ktorej sa vynechá *2s* riadkov tých súradnicových rozdielov, ktoré prináležia spojniciam, na ktorých sa vykonali oba druhy meraní. Teda výsledná matica potom pri počte určovaných bodov *p* bude

$$\mathbf{A}_{GT}(ng+nt\text{-}2s) = \begin{bmatrix} A_G(ng,2p) \\ A_T(nt-2s,2p) \end{bmatrix}. \tag{17}$$

Okrem vytvorenia matíc $\mathbf{L}_{GT}$, $\mathbf{Q}_{GT}$, $\mathbf{A}_{GT}$ je potrebné pre vyrovnanie určiť aj maticu približných súradníc $\mathbf{C}^o$ pre počet *p* určovaných bodov. Tieto sa získajú v rámci prípravných výpočtov tak, že sa určia transformované súradnice $\mathbf{C}^J$ z GPS meraní a z množiny terestricky meraných ΔC sa určia $\mathbf{C}^J$ pre body terestrickej časti KPS. Takto získané súradnice $\mathbf{C}^J$ v rámci celej KPS sa môžu deklarovať za približné hodnoty súradníc určovaných bodov.

Apriórna variancia σ_o^2 sa zvolí, resp. určí známymi spôsobmi (Grafarend,1978; Grimm-Pitzinger,1986; Sütti,2001; Hampacher,2002) na základe údajov o presnosti ΔX,ΔY z GPS aj terestrických meraní, ktoré sú tiež k dispozícii, resp. sa dajú odvodiť.

Po príprave uvedených vstupných údajov, vo vyrovnaní KPS sa určia odhady súradníc $\hat{\mathbf{C}}^J$ určovaných bodov (2), ich kovariančná matica (3) a ďalšie parametre KPS na posúdenie jej kvality (presnosť, prípadne spoľahlivosť (Sütti,2001; Wicki,1991)).

Demonštračný príklad

V rámci overenia tohoto spôsobu vyrovnania KPS boli v jej terestrickej časti (obr.2) zamerané súradnicové rozdiely ΔX,ΔY pre 13 zámer, ktoré hodnoty tvoria ($26\,_x1$) vektor $\mathbf{L}_T$. Z transformovaných súradníc $\mathbf{C}^J$ (GPS merania) určené hodnoty ΔX, ΔY formujú ($22\,_x1$) vektor L_G:

L_G	ΔX	ΔY
B1-B4	-6043.687	2280.3449
B1-B5	-7918.469	1186.2189
B1-B6	-3490.826	3866.0224
B1-B7	1909.346	4683.6690
B2-B4	-12061.250	-370.8899
B2-B5	-13936.030	-1465.0160
B2-B6	-9508.391	1214.7876
B2-B7	-4108.219	2032.4342
B6-B4	-2552.860	-1585.6770
B6-B5	-4427.643	-2679.8040
B6-B7	5400.172	817.6466

L_T	ΔX	ΔY
B1-B4	-6043.689	2280.341
B1-B5	-7918.475	1186.233
B1-B6	-3490.830	3866.023
B3-B4	416.075	-6170.93
B3-B5	-1458.711	-7265.038
B3-B6	2968.934	-4585.248
B4-B8	215.816	1353.689
B4-B9	1266.699	170.996
B6-B9	-1286.160	-1414.686
B6-B10	-865.375	-212.472
B8-B9	1050.883	-1182.693
B8-B10	1471.668	19.521
B9-B10	420.785	1202.214

spolu teda v zmysle (6) celkový 48_x1 vektor "observácií" v danej KPS

$$\mathbf{L} = [\mathbf{L}_G\ \mathbf{L}_T]^T .$$

Podľa (7), (8) sa určili kofaktory a zostavili do matíc (10), resp. (16). Matica konfigurácie KPS sa zostavila v zmysle (12), resp. (17). Keďže v danej situácii boli pre spojnice B1-B4, B1-B5, B1-B6 určené súradnicové rozdiely ΔC_G aj ΔC_T, z nich sa určili podľa (13) výsledné hodnoty ΔC_{GT} do matice **L** s hodnotami

	ΔX_{GT}	ΔY_{GT}
B1-B4	6043.6887	2280.3419

```
B1-B5         7918.4740 1186.2272
B1-B6         3490.8286 3866.0229
```

ktoré sa dosadili na miesto príslušných ΔC(1-4,5,6) v L_G, kým príslušné ΔC(1-4,5,6) v $\mathbf{L}_T$ sa vypustili, takže vznikla nová observačná matica $\mathbf{L}_{GT}$ podľa (14).

Podobné kroky sa spravili v pôvodnej kofaktorovej matici typu (10) s kofaktormi (9), takže výsledná, pre $\mathbf{L}_{GT}$ adekvátna kofaktorová matica $\mathbf{Q}_{LGT}$ bola definovaná podľa (16). Analogicky, aj v matici **A** (12) vypustením príslušných riadkov v časti $\mathbf{A}_T$ vznikla matica $\mathbf{A}_{GT}$ (17) použitá vo vyrovnaní.

Na základe väzbového vyrovnania s $\mathbf{L}_{GT}$, $\mathbf{Q}_{LGT}$, $\mathbf{A}_{GT}$, $\mathbf{C}^o$, σ_o^2 pre 7 určovaných bodov sa získali odhady súradníc

```
                X^          Y^
B4        1226589.0088 252257.4140
B5        1224714.2282 251163.3008
B6        1229141.8759 253843.0805
B7        1234542.0436 254660.7317                    (*)
B8        1226804.8218 253611.0987
B9        1227855.7179 252428.3992
B10       1228276.5151 253630.6200
```

a niektoré parametre charakterizujúce odhadovací proces:

v(max)	= 31.03 mm
v(min)	= 0.28 mm
priemer |v|	= 8.33 mm
s_o^2	= 348.266 mm^2
s_o	= 18.66 mm.

Štandardné odchýlky vyrovnaných súradníc sú:

```
      sX[m]    sY[m]
B4    0.0056   0.0066
B5    0.0080   0.0084
B6    0.0063   0.0061
B7    0.0080   0.0075                                  (**)
B8    0.0074   0.0075
B9    0.0084   0.0074
B10   0.0088   0.0074
```

Záver

Ako je už preukázané, súradnicové merania (meranie relatívnych súradníc bodov, t.j. súradnicových rozdielov ΔX, ΔY) v 2D polygonometrických, sieťových a 3D sieťových štruktúrach (Weiss,1998; Hačko, 2001; Dzúr-Gejdoš, 2002 a iní), z hľadiska teórie, praktickej realizácie a poskytovanej kvality (presnosť, spoľahlivosť), dávajú rovnocenné výsledky s ostatnými klasickými metódami polohového merania. V predloženom pojednaní je podané polohové spracovanie lokálnych polohových sietí spoločne zameraných technológiami terestrickými a GPS a spracovaných v kartografickej rovine Křovákovho zobrazenia v súradnicovom referenčnom rámci S-JTSK. Postup umožňuje kvalitné výstupy, keďže riešenie obsahuje aj účinnú redukciu vplyvu rôznych realizácií referenčného rámca. Algoritmus aj tohoto riešenia ako aj výsledky naznačujú dobré možnosti použitia pre kompaktné polohové určenie kombinovane, t.j. heterogénnymi geometrickými veličinami zameraných sietí.

Literatúra

DZÚR-GEJDOŠ, M.: Skvalitnenie metódy zamerania a spracovania deformačných meraní hrádze odkaliska Tepelná energetika, Košice. Dizertačná práca, Technická univerzita F BERG Košice, 2002.

GRAFAREND, E.: Schätzung von Varianz und Kovarianz der Beobachtungen in geodätischen Ausgleichungsmodellen. *Allgem. Verm. Nachrichten 85,*1978,2, s. 41-49.

GRIMM-PITZINGER, A. et al.: Bedeutung der Varianzkomponentenschätzung für die geodätische Praxis. *Österr.Z.f.Verm.wesen u.Photogram.* 74,1986,2, s.101-112.

HAČKO, M.: Polygonometrické súradnicové zameranie a spracovanie bodov PPBP. *Dizertačná práca,* Technická univerzita F BERG Košice, 2001

HAMPACHER, M.:Je m_o charakteristikou přesnosti? Váhy a vyrovnání různorodých veličin. *Geodetický a kartogr. obzor,* 48/90,2002,9, s.165-167.

JAKUB, V. et al.: Spracovanie 2D a 3D geodetických sietí. Interná publikácia fy Geometra č.2, Košice 2002.

SÜTTI, J.: Geodetické siete a ich spracovanie. TU Košice, rukopis, 2001.

WEISS, G.: Geodetické lokálne siete I. TU Košice, F BERG, 1997.

WEISS, G.: Trojrozmerné súradnicové zameranie geodetických sietí totálnymi stanicami. *Slov. pedag. naklad.,* Bratislava, 1998.

WICKI, F.: Zuverlässigkeitstheorie. *Bericht ETH, Inst.Geod.& Photogram.* Nr.176, Zürich, 1991.