ISSN 1392–1541

Geodezija ir kartografija, 2004, XXX t., Nr. 3
Geodesy and Cartography, 2004, Vol XXX, No 3

UDK 528.14

KOORDINAČIŲ MATAVIMO TIKSLUMAS, NUSTATANT KADASTRINIŲ SKLYPŲ PLOTUS

Jonas Skeivalas[1], **Edita Aleknienė**[2]

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva,
el. paštas: [1]Jonas.Skeivalas@ap.vtu.lt, [2] Edita.Alekniene@ap.vtu.lt

Įteikta 2004 05 10, priimta 2004 06 14

Santrauka. Straipsnyje analizuojamas koordinačių matavimo tikslumas, nustatant reikiamu tikslumu kadastrinių sklypų plotus. Gautos formulės sklypų plotų dispersijai skaičiuoti, įvertinant taškų koordinačių kovariacijos įtaką. Išvestos formulės koordinačių prieaugių ir koordinačių kovariacijų matricoms sudaryti, plotų nustatymo procedūrose taikant poligonometriją. Įvertintas prognozuojamas taškų koordinačių matavimo tikslumas žinant apriorinį plotų nustatymo tikslumą.

Raktažodžiai: ploto dispersija, koordinačių kovariacija.

1. Įvadas

Kartografinių duomenų bazių, kadastro bei įvairių inžinerinių projektų sudarymo kokybė priklauso nuo geodezinių matavimų rezultatų patikimumo bei tikslumo [1]. Dabar atliekant geodezinius matavimus taikomi poligonometrijos ir GPS (*Global Positioning System*) metodai [2–4]. Taikant šiuos metodus, taškų koordinatėms bei kitų parametrų reikšmėms nustatyti naudojami elektroniniai tacheometrai ir GPS imtuvai. Straipsnyje analizuojamas kadastrinių sklypų plotų skaičiavimo tikslumas, kai taškų koordinačių tikslumas iš anksto žinomas. Gautos formulės reikiamam taškų koordinačių tikslumui skaičiuoti pagal nusistatytąjį sklypų plotų tikslumą. Nagrinėjama taškų koordinačių kovariacijos įtaka nustatant prognozuojamą taškų koordinačių matavimo tikslumą.

2. Sklypų plotų tikslumo įvertinimo teoriniai principai

Pagrindinė formulė, taikoma sklypų plotams Q skaičiuoti pagal išmatuotas taškų koordinates, yra Gauso formulė. Yra dvi šios formulės išraiškos:

$$Q = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} x_i \left(y_{i+1} - y_{i-1}\right) = \frac{1}{2}\boldsymbol{X}^T \overline{\Delta \boldsymbol{Y}}, \tag{1}$$

$$Q = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} y_i \left(x_{i-1} - x_{i+1}\right) = \frac{1}{2}\boldsymbol{Y}^T \overline{\Delta \boldsymbol{X}}, \tag{2}$$

čia x_i, y_i – taškų koordinatės, $\boldsymbol{X} = \left(x_1, ..., x_n\right)^T$, $\boldsymbol{Y} = \left(y_1, ..., y_n\right)^T$, $\overline{\Delta \boldsymbol{X}} = \left(\overline{\Delta x}_1, \overline{\Delta x}_2, ..., \overline{\Delta x}_n\right)^T$, $\overline{\Delta \boldsymbol{Y}} = \left(\overline{\Delta y}_1, \overline{\Delta y}_2, ..., \overline{\Delta y}_n\right)^T$.

Ploto dispersiją galima nustatyti taikant matematinės statistikos dėsnius:

$$\sigma_Q^2 = \frac{1}{4}\left\{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial Q}{\partial x_i}\right)_0^2 \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial Q}{\partial y_i}\right)_0^2 \sigma_{y_i}^2\right\} \tag{3}$$

ir toliau –

$$\sigma_Q^2 = \frac{1}{4}\left\{\sum_{i=1}^{n}\overline{\Delta y}_i^2 \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n}\overline{\Delta x}_i^2 \sigma_{y_i}^2\right\}, \tag{4}$$

čia $\overline{\Delta x}_i = x_{i-1} - x_{i+1}$, $y_i = y_{i+1} - y_{i-1}$; $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_Q$ – dispersijų simboliai. Dalinės išvestinės indeksas $(\ )_0$ rodo apskaičiuotą jos reikšmę.

Formulės (3) ir (4) gautos laikant, kad koordinatės yra nekoreliuotos.

Ploto tikslumui įvertinti galima taikyti kovariaciją K_Q, kuri tuo pačiu yra ploto dispersija σ_Q^2 ir kurią galima parašyti tokiu pavidalu:

$$K_Q = \sigma_Q^2 = M\left\{(Q - MQ)(Q - MQ)^T\right\}, \tag{5}$$

čia M – vidurkio arba matematinės vilties simbolis.

Šiam tikslui atliekame ploto išraiškų (1), (2) linearizavimą:

$$Q = MQ + \left(\frac{\partial Q}{\partial X}\right)_0 \boldsymbol{\delta X} + \left(\frac{\partial Q}{\partial Y}\right)_0 \boldsymbol{\delta Y}, \tag{6}$$

čia $\boldsymbol{\delta X} = \boldsymbol{X} - M\boldsymbol{X}$, $\boldsymbol{\delta Y} = \boldsymbol{Y} - M\boldsymbol{Y}$ – koordinačių atsitiktinių klaidų vektoriai.

Ploto formulių (1), (2) dalinių išvestinių išraiškas matricų pavidalu gauname taikydami [1]:

$$\frac{\partial Q}{\partial X} = \frac{1}{2}\overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T, \quad \frac{\partial Q}{\partial Y} = \frac{1}{2}\overline{\Delta \boldsymbol{X}}^T.$$

Panaudodami išraišką (6) iš formulės (5) gauname tokį kovariacijos K_Q pavidalą:

$$K_Q = \sigma_Q^2 = \frac{1}{4} M\left\{\left(\overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T \boldsymbol{\delta X} + \overline{\Delta \boldsymbol{X}}^T \boldsymbol{\delta Y}\right)\left(\overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T \boldsymbol{\delta X} + \overline{\Delta \boldsymbol{X}}^T \boldsymbol{\delta Y}\right)^T\right\} = \frac{1}{4}\left(\overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T \boldsymbol{K}_x \overline{\Delta \boldsymbol{Y}} + \overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T \boldsymbol{K}_{xy} \overline{\Delta \boldsymbol{X}} + \right.$$
$$\left. + \overline{\Delta \boldsymbol{X}}^T \boldsymbol{K}_{yx} \overline{\Delta \boldsymbol{Y}} + \overline{\Delta \boldsymbol{X}}^T \boldsymbol{K}_y \overline{\Delta \boldsymbol{X}}\right) = \frac{1}{4}\left(\overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T \boldsymbol{K}_x \overline{\Delta \boldsymbol{Y}} + 2\overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T \boldsymbol{K}_{xy} \overline{\Delta \boldsymbol{X}} + \overline{\Delta \boldsymbol{X}}^T \boldsymbol{K}_y \overline{\Delta \boldsymbol{X}}\right), \quad (7)$$

čia $\boldsymbol{K}_{XY}, \boldsymbol{K}_{YX}$ – koordinačių vektorių $\boldsymbol{X}$ ir $\boldsymbol{Y}$ tarpusavio kovariacijų matricos; $\boldsymbol{K}_X, \boldsymbol{K}_Y$ – atitinkamų vektorių kovariacijų matricos.

Taškų koordinates, nustatytas GPS imtuvais absoliučiojoje koordinačių sistemoje, galima laikyti nekoreliuotomis. Tuomet formulė (7) įgauna paprastesnį pavidalą:

$$K_Q = \sigma_Q^2 = \frac{1}{4}\left(\overline{\Delta \boldsymbol{Y}}^T \boldsymbol{K}_{X,diag.} \overline{\Delta \boldsymbol{Y}} + \overline{\Delta \boldsymbol{X}}^T \boldsymbol{K}_{Y,diag.} \overline{\Delta \boldsymbol{X}}\right), \quad (8)$$

čia $\boldsymbol{K}_{X,diag.} = \left(\sigma_{x_1}^2, \sigma_{x_2}^2, ..., \sigma_{x_n}^2\right)_{diag}$,

$\boldsymbol{K}_{Y,diag.} = \left(\sigma_{y_1}^2, \sigma_{y_2}^2, ..., \sigma_{y_n}^2\right)_{diag}$.

Absoliučiojoje koordinačių sistemoje GPS metodu nustatytų taškų koordinačių tikslumas yra maždaug vienodas. Santykiniu metodu taško padėtis nustatoma santykinėje koordinačių sistemoje tų taškų atžvilgiu, kurių koordinatės žinomos ir laikomos tvirtomis. Taikant santykinį metodą, taškų, išdėstytų ne didesniu kaip 10 km atstumu, koordinačių tikslumas bus maždaug vienodas. Šiais atvejais plotų tikslumo įvertinimo formulės (4), (8) tampa paprastesnės, nes $\sigma_{x_1} \approx ... \approx \sigma_{x_n}$, $\sigma_{y_1} \approx ... \approx \sigma_{y_n}$, $\sigma_{x_i} \approx \sigma_{n_i}$. Taigi visais šiais atvejais galima gauti formules reikiamam taškų koordinačių tikslumui skaičiuoti pagal reikiamą sklypų plotų tikslumą.

Pagal formulę (4) galima parašyti:

$$\sigma_{x_i} \approx \sigma_{y_i} = \frac{2\sigma_Q}{\sqrt{\sum_1^n \left(\overline{\Delta x_i}^2 + \overline{\Delta y_i}^2\right)}} = \frac{2\sigma_Q}{\sqrt{\sum_1^n \overline{S}_i^2}}, \quad (9)$$

čia $\overline{S}_i = \sqrt{\overline{\Delta x_i}^2 + \overline{\Delta y_i}^2}$ – i-osios stygos, jungiančios taškus su numeriais $i+1$ ir $i-1$, ilgis.

3. Sklypų plotų tikslumo įvertinimas taikant poligonometriją

Kadastrinių sklypų taškų koordinatės, nustatytos poligonometrijos metodu, tampa koreliuotomis. Koreliaciją lemia tai, kad poligonometrijos eigų linijų direkciniai kampai apskaičiuoti pagal išmatuotus poligonometrijos eigų kampus. Poligonometrijos metodu nustatytų taškų koordinačių vektoriai išreiškiami formulėmis:

$$\boldsymbol{X} = \boldsymbol{X}_0 + \boldsymbol{A} \cdot \Delta \boldsymbol{X}, \quad (10)$$
$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{Y}_0 + \boldsymbol{A} \cdot \Delta \boldsymbol{Y}, \quad (11)$$

čia $\boldsymbol{X}_0, \boldsymbol{Y}_0$ – pradinio taško koordinačių vektoriai; $\Delta \boldsymbol{X}, \Delta \boldsymbol{Y}$ – linijų ilgių koordinačių prieaugių vektoriai; $\boldsymbol{A}$ – koeficientų kvadratinė matrica $(n \times n)$. Matrica $\boldsymbol{A}$ sudaroma pagal poligonometrijos tinklo schemą ir atrodo taip [5]:

$$\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & ... & 0 \\ 1 & 1 & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... \\ 1 & 1 & ... & 1 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Koordinačių vektoriai $\boldsymbol{X}_0, \boldsymbol{Y}_0$ yra:

$$\boldsymbol{X}_0 = x_0 \boldsymbol{e}_{n1}, \quad (13)$$
$$\boldsymbol{Y}_0 = y_0 \boldsymbol{e}_{n1}, \quad (14)$$

čia $e_{n1} = (1 \;\; 1 \;\; ... \;\; 1)^T$.

Koordinačių prieaugių vektoriai $\Delta \boldsymbol{X}, \Delta \boldsymbol{Y}$ skaičiuojami taip:

$$\Delta \boldsymbol{X}^{\boldsymbol{T}} = \boldsymbol{S}^T \mathbf{cos}\boldsymbol{\alpha}_{diag}, \quad (15)$$
$$\Delta \boldsymbol{Y}^{\boldsymbol{T}} = \boldsymbol{S}^T \mathbf{sin}\boldsymbol{\alpha}_{diag}, \quad (16)$$

čia $\boldsymbol{S} = (S_1, S_2, ..., S_n)^T$ – linijų ilgių vektorius, $\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n)_{diag}$ – linijų direkcinių kampų įstrižinė matrica.

Nustatysime bendrosios koordinačių vektorių struktūros kovariacijų matricą $\boldsymbol{K}\begin{pmatrix} \boldsymbol{X} \\ \boldsymbol{Y} \end{pmatrix}$ blokiniu pavidalu:

$$\begin{pmatrix} \boldsymbol{X} \\ \boldsymbol{Y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{X}_0 \\ \boldsymbol{Y}_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \boldsymbol{A}\Delta \boldsymbol{X} \\ \boldsymbol{A}\Delta \boldsymbol{Y} \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Toliau gauname:

$$\boldsymbol{K}\begin{pmatrix}\boldsymbol{X}\\ \boldsymbol{Y}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\boldsymbol{K}_X & \boldsymbol{K}_{XY}\\ \boldsymbol{K}_{YX} & \boldsymbol{K}_Y\end{pmatrix}=$$
$$=M\left\{\begin{bmatrix}\boldsymbol{A\delta}(\Delta\boldsymbol{X})\\ \boldsymbol{A\delta}(\Delta\boldsymbol{Y})\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\boldsymbol{A\delta}(\Delta\boldsymbol{X})\\ \boldsymbol{A\delta}(\Delta\boldsymbol{Y})\end{bmatrix}^T\right\}=$$
$$=\left(\begin{array}{c|c}\boldsymbol{AK}_{\Delta X}\boldsymbol{A}^T & \boldsymbol{AK}(\Delta\boldsymbol{X},\Delta\boldsymbol{Y})\boldsymbol{A}^T\\ \hline \boldsymbol{AK}(\Delta\boldsymbol{Y},\Delta\boldsymbol{X})\boldsymbol{A}^T & \boldsymbol{AK}_{\Delta Y}\boldsymbol{A}^T\end{array}\right), \qquad (18)$$

čia $\boldsymbol{\delta}(\Delta\boldsymbol{X}),\boldsymbol{\delta}(\Delta\boldsymbol{Y})$ – koordinačių prieaugių atsitiktinių klaidų vektoriai; $\boldsymbol{K}_{\Delta X},\boldsymbol{K}_{\Delta Y},\boldsymbol{K}(\Delta\boldsymbol{X},\Delta\boldsymbol{Y})$ – koordinačių prieaugių vektorių atitinkamos kovariacijų matricos.

Bendroji koordinačių prieaugių vektorių $\Delta\boldsymbol{X},\Delta\boldsymbol{Y}$ kovariacijų matricos $\boldsymbol{K}\begin{pmatrix}\Delta\boldsymbol{X}\\ \Delta\boldsymbol{Y}\end{pmatrix}$ struktūra blokiniu pavidalu:

$$\boldsymbol{K}\begin{pmatrix}\Delta\boldsymbol{X}\\ \Delta\boldsymbol{Y}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\boldsymbol{K}_{\Delta X} & \boldsymbol{K}(\Delta\boldsymbol{X},\Delta\boldsymbol{Y})\\ \boldsymbol{K}(\Delta\boldsymbol{Y},\Delta\boldsymbol{X}) & \boldsymbol{K}_{\Delta Y}\end{pmatrix}, \qquad (19)$$

čia $\boldsymbol{K}(\Delta\boldsymbol{X},\Delta\boldsymbol{Y})=\boldsymbol{K}^T(\Delta\boldsymbol{Y},\Delta\boldsymbol{X})$,

$$\boldsymbol{K}(\Delta\boldsymbol{X},\Delta\boldsymbol{Y})=$$
$$=\begin{pmatrix}K(\Delta x_1,\Delta y_1) & K(\Delta x_1,\Delta y_2) & \ldots & K(\Delta x_1,\Delta y_n)\\ K(\Delta x_2,\Delta y_1) & K(\Delta x_2,\Delta y_2) & \ldots & K(\Delta x_2,\Delta y_n)\\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots\\ K(\Delta x_n,\Delta y_1) & K(\Delta x_n,\Delta y_2) & \ldots & K(\Delta x_n,\Delta y_n)\end{pmatrix}.$$

Pavienių koordinačių prieaugių kovariacijos yra [2]:

$$K(\Delta x_i,\Delta x_j)=\Delta\tilde{y}_i,\Delta\tilde{y}_j K(\alpha_i,\alpha_j), \qquad (20)$$
$$K(\Delta y_i,\Delta y_j)=\Delta\tilde{x}_i,\Delta\tilde{x}_j K(\alpha_i,\alpha_j), \qquad (21)$$
$$K(\Delta x_i,\Delta y_j)=-\Delta\tilde{y}_i,\Delta\tilde{x}_j K(\alpha_i,\alpha_j), \qquad (22)$$
$$K(\alpha_i,\alpha_j)=i\cdot\sigma_\beta^2 \text{ (kai } i<j\text{)}, \qquad (23)$$

$\sigma_{\alpha_i}^2=i\cdot\sigma_\beta^2$, $\Delta\tilde{x}_i,\Delta\tilde{y}_i$ – koordinačių prieaugių vidurkiai.

Koordinačių prieaugių dispersijos, kovariacijų matricų $\boldsymbol{K}_{\Delta X}$ ir $\boldsymbol{K}_{\Delta Y}$ įstrižiniai nariai skaičiuojami pagal formules:

$$\sigma_{\Delta x_i}^2=\cos^2\tilde{\alpha}_i\sigma_{S_i}^2+\Delta\tilde{y}_i^2\sigma_{\alpha_{i,rad}}^2, \qquad (24)$$
$$\sigma_{\Delta y_i}^2=\sin^2\tilde{\alpha}_i\sigma_{S_i}^2+\Delta\tilde{x}_i^2\sigma_{\alpha_{i,rad}}^2. \qquad (25)$$

Nepaisydami koordinačių prieaugių kovariacijos, pagal formulę (18) gauname poligonometrijos taškų koordinačių kovariacijų matricų išraiškas:

$$\boldsymbol{K}_X=\boldsymbol{AK}_{\Delta X}\boldsymbol{A}^T=$$
$$=\begin{pmatrix}K_{\Delta X_1} & K_{\Delta X_1} & K_{\Delta X_1} & \cdots & K_{\Delta X_1}\\ K_{\Delta X_1} & \sum_1^2 K_{\Delta X_i} & \sum_1^2 K_{\Delta X_i} & \cdots & \sum_1^2 K_{\Delta X_i}\\ \cdots & \cdots & \sum_1^3 K_{\Delta X_i} & \cdots & \sum_1^3 K_{\Delta X_i}\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ K_{\Delta X_1} & \sum_1^2 K_{\Delta X_i} & \sum_1^3 K_{\Delta X_i} & \cdots & \sum_1^n K_{\Delta X_i}\end{pmatrix}, \qquad (26)$$

$$\boldsymbol{K}_Y=\boldsymbol{AK}_{\Delta Y}\boldsymbol{A}^T=$$
$$=\begin{pmatrix}K_{\Delta Y_1} & K_{\Delta Y_1} & K_{\Delta Y_1} & \cdots & K_{\Delta Y_1}\\ K_{\Delta Y_1} & \sum_1^2 K_{\Delta Y_i} & \sum_1^2 K_{\Delta Y_i} & \cdots & \sum_1^2 K_{\Delta Y_i}\\ \cdots & \cdots & \sum_1^3 K_{\Delta Y_i} & \cdots & \sum_1^3 K_{\Delta Y_i}\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ K_{\Delta Y_1} & \sum_1^2 K_{\Delta Y_i} & \sum_1^3 K_{\Delta Y_i} & \cdots & \sum_1^n K_{\Delta Y_i}\end{pmatrix}, \qquad (27)$$

čia $K_{\Delta x_i}=\sigma_{\Delta x_i}^2$, $K_{\Delta y_i}=\sigma_{\Delta y_i}^2$.

Pateiksime pavyzdį, nustatydami kvadrato formos kadastrinio sklypo taškų koordinačių matavimo tikslumą, priklausomai nuo sklypo ploto ir jo numatomo tikslumo. Pagal formulę (9) parašome:

$$\sigma_x\approx\sigma_y=\frac{2\sigma_Q}{\sqrt{\sum_1^4\bar{S}_i^2}}=\frac{\sigma_Q}{Q}\frac{a}{\sqrt{2}},$$

čia a – kvadrato kraštinės ilgis, $\bar{S}_i^2=2a^2$.

Skaičiavimų rezultatai pagal sklypo plotą ir jo reikiamą tikslumą parodyti lentelėje.

Sklypo plotas, ha	Koordinačių standartiniai nuokrypiai $\sigma_x\approx\sigma_y$, m	
	kai $\sigma_Q/Q=1\%$	kai $\sigma_Q/Q=3\%$
1,0	0,7	2,1
10	2,2	6,6
100	7,0	21

Šios reikšmės yra apriorinės. Didelio ploto kadastriniuose sklypuose taškų, ribojančių sklypą, esti ne daugiau kaip 4. Todėl šiais atvejais sklypo taškų koordinates taip pat būtina nustatyti tiksliau remiantis formule (9).

Parodysime tuo pačiu paprastu pavyzdžiu, kaip neteisingai įvertinamas sklypo ploto tikslumas, kai skaičiavimams panaudojamos ne visų taškų koordinatės. Kvadratinio sklypo plotą galima užrašyti

$$Q=a^2=\Delta x^2+\Delta y^2$$

ir

$$\sigma_Q^2 = (2\Delta x)^2 \sigma_{\Delta x}^2 + (2\Delta y)^2 \sigma_{\Delta y}^2 = 4a^2\sigma_{\Delta x}^2 = 8a^2\sigma_x^2,$$

čia $\sigma_{\Delta x} = \sqrt{2}\sigma_x$, $\sigma_{\Delta y} = \sqrt{2}\sigma_y$, $\sigma_x \approx \sigma_y$.

Taigi turime

$$\sigma_x \approx \sigma_y = \frac{\sigma_Q}{Q}\frac{a}{2\sqrt{2}}.$$

Pagal šią formulę reikiamas matavimų tikslumas neatitinka būtinojo sklypo ploto tikslumo pagal pasirinktąjį sklypo ploto tikslumą. Šiuo atveju gautume perpus mažesnes koordinačių matavimo standartinių nuokrypių reikšmes, palyginti su jų realiomis reikšmėmis. Taip atsitiko todėl, kad sklypo plotui ir jo tikslumui nustatyti buvo panaudotos tik vienos kraštinės dviejų taškų koordinatės. Kitų dviejų taškų koordinatės nebuvo panaudotos, taigi nepaisyta ir šių koordinačių klaidų. Taip pat neatsižvelgta į funkcinę koordinačių kovariaciją. Todėl procedūros rezultatas – klaidingas ploto tikslumo įvertis.

4. Išvados

1. Rekomenduojama formulė (7) ploto tikslumui nustatyti, įvertinant taškų koordinačių kovariacijos įtaką.
2. Pasiūlytos formulės (18–25) koordinačių prieaugių ir koordinačių kovariacijų matricoms nustatyti, plotų nustatymo procedūrose taikant poligonometriją.
3. Parodyta, kad sudarant plotų tikslumo įvertinimo formules turi būti atsižvelgta į visų taškų koordinačių klaidas. Priešingu atveju – gaunamas klaidingas plotų tikslumo rodiklis.

Literatūra

1. Koch, K. R. Parameterschätzung und Hypothesentests. Dümmlers Verlag, Bonn, 1997. 366 p.
2. Skeivalas, J.; Aleknienė, E.; Anikėnienė, A. The parameters of the accuracy of geodetic networks in the economical development projects. *Geodesy and Cartography* (*Geodezija ir kartografija*), Vol XXIX, No 4 , Vilnius: Technika, 2003, p 128–130 (in Lithuanian).
3. Petroškevičius, P. Gravitation field effect on geodetic observations (Gravitacijos lauko poveikis geodeziniams matavimams). Vilnius: Technika, 2004. 292 p (in Lithuanian).
4. Balandynowicz, J.; Dabrowski, W.; Gasowska, B. Restorable networks strengthened by GPS vectors. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija),* Vol XXVI, No 3. Vilnius: Technika, 2000, p 116–122.
5. Skeivalas, J. Treatment of correlated geodetic measurements. (Koreliuotų geodezinių matavimų rezultatų matematinis apdorojimas). Vilnius: Technika, 1995. 272 p (in Lithuanian).