

## 1. Wyrównanie poziome ciągu tachimetrycznego

Ciąg tachimetryczny zawiera zwykle większą liczbę pomierzonych odległości i kierunków niż jest to wymagane do jednoznacznego określenia współrzędnych wszystkich mierzonych punktów. Na przykład współrzędne punktu P, obliczone metodą biegunową na stanowisku A, mogą być również obliczone wcięciem liniowym z punktów A i Q. Ze względu na błędy pomiarowe obliczone współrzędne nie będą zgodne. Celem wyrównania obserwacji jest wyznaczenie poprawek do pomierzonych odległości i kierunków

$$d. = d + v_d$$

$$\alpha. = \alpha + v_\alpha$$

tak aby obliczając współrzędne dowolnego punktu z dowolnej kombinacji wyrównanych obserwacji  $d.$ ,  $\alpha.$  otrzymać ten sam wynik

$$x. = x + dx$$

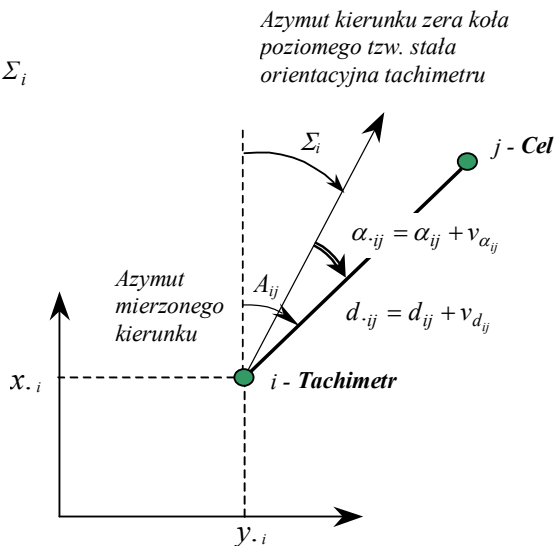
$$y. = y + dy$$

gdzie  $x$ ,  $y$  są współrzędnymi przybliżonymi, obliczonymi w czasie pomiaru ciągu tachimetrycznego.

Poprawki obserwacji  $v_d$ ,  $v_\alpha$  i współrzędnych punktów  $dx$ ,  $dy$  otrzymuje się w wyniku rozwiązania układu równań wiążących wyrównane obserwacje z wyrównanymi współrzędnymi stanowisk tachimetru i punktów celowania (rys. 1.1):

$$d_{ij} + v_{d_{ij}} = \sqrt{(x_{.j} - x_{.i})^2 + (y_{.j} - y_{.i})^2}$$

$$\alpha_{ij} + v_{\alpha_{ij}} = A_{ij} - \Sigma_i = \arctg \frac{y_{.j} - y_{.i}}{x_{.j} - x_{.i}} - \Sigma_i$$



Rys. 1.1.

gdzie, dla ciągu pokazanego na rys. ....  
na stanowisku  $i = A$ :  $j = B, P, 1, 2, 3, 4$   
na stanowisku  $i = P$ :  $j = A, Q, 5, 6, 7, 8$ .

Równania te, nieliniowe ze względu na wyznaczone współrzędne  $x$ .,  $y$ . są sprowadzane do postaci liniowej przez rozwinięcie w szereg Taylora względem poprawek  $dx$ ,  $dy$ :

$$v_{d_{ij}} = + \frac{\Delta x_{ij}}{d_{ij}} (dx_j - dx_i) + \frac{\Delta y_{ij}}{d_{ij}} (dy_j - dy_i) - (d_{ij} - d_{0ij})$$

$$v_{\alpha_{ij}} = - \frac{\Delta y_{ij}}{d_{ij}^2} (dx_j - dx_i) + \frac{\Delta x_{ij}}{d_{ij}^2} (dy_j - dy_i) - d\Sigma_i - (\alpha_{ij} - \alpha_{0ij})$$

gdzie:

$$d_0 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(x_j - y_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad - \text{ przybliżona wartość odległości,}$$

$$\alpha_0 = A_0 - \Sigma_0, \quad \text{tg} A_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad - \text{ przybliżona wartość kierunku } \alpha_0$$

$\Sigma_0 = A_0 - \alpha$  - przybliżona wartość stałej orientacyjnej tachimetru  $\Sigma = \Sigma_0 + d\Sigma$ , obliczana na każdym stanowisku z pierwszego pomierzonego kierunku  $\alpha$

Liniowy układ równań poprawek  $\mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{l}$ ,  $\mathbf{P} = \mathbf{C}_1^{-1}$ :

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ v_{d_{Aj}} \\ v_{\alpha_{Aj}} \\ \vdots \\ v_{d_{Pj}} \\ v_{\alpha_{Pj}} \\ \vdots \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} dx_P \\ dy_P \\ dx_1 \\ dy_1 \\ \vdots \\ dx_8 \\ dy_8 \\ d\Sigma_A \\ d\Sigma_P \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{Aj} - d_{0Aj} \\ \alpha_{Aj} - \alpha_{0Aj} \\ \vdots \\ d_{Pj} - d_{0Pj} \\ \alpha_{Pj} - \alpha_{0Pj} \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} \ddots & & & & & & & \\ & m_{d_{Aj}}^2 & & & & & & \\ & & m_{\alpha_{Aj}}^2 & & & & & \\ & & & \ddots & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & m_{d_{Pj}}^2 & \\ & & & & & & & m_{\alpha_{Pj}}^2 & \ddots \end{bmatrix}$$

gdzie:

- $\mathbf{v}$  - wektor poprawek obserwacji: odległości i kierunków,
- $\mathbf{l}$  - wektor różnic obserwacji i przybliżonych wartości obserwacji,
- $\mathbf{x}$  - wektor poprawek do przybliżonych współrzędnych punktów wyznaczanych P, 1, 2,...8 i przybliżonych wartości stałych orientacyjnych tachimetru na stanowiskach A i P (stałe punkty dowiązania otrzymują zerowe wartości poprawek:  $dx_A, dy_A, dx_B, dy_B, dx_Q, dy_Q \equiv 0$ ),
- $\mathbf{A}$  - macierz współczynników przy wyznaczanych niewiadomych
- $\mathbf{C}_1$  - diagonalna macierz błędów obserwacji.

jest rozwiązywany metodą najmniejszych kwadratów  $\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min$ , skąd:

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}_x \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad \text{oraz} \quad \mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{l}$$

gdzie

$$\mathbf{C}_x = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} = \begin{bmatrix} m_{x,p}^2 & m_{x,p,y,p} & \cdots & m_{x,p,\Sigma p} \\ m_{x,p,y,p} & m_{y,p}^2 & \cdots & m_{y,p,\Sigma p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{x,p,\Sigma p} & m_{y,p,\Sigma p} & \cdots & m_{\Sigma p}^2 \end{bmatrix}$$

jest macierzą błędów wyrównanych współrzędnych punktów i stałych orientacyjnych tachimetru. Błędy wyrównanych odległości i kierunków oraz ich poprawek dane są wzorami:

$$m_d = \sqrt{\mathbf{a}_d^T \mathbf{C}_x \mathbf{a}_d} \quad m_{vd} = \sqrt{m_d^2 - m_d^2}$$

$$m_\alpha = \sqrt{\mathbf{a}_\alpha^T \mathbf{C}_x \mathbf{a}_\alpha} \quad m_{v\alpha} = \sqrt{m_\alpha^2 - m_\alpha^2}$$

gdzie  $\mathbf{a}$  jest wierszem macierzy  $\mathbf{A}$ , odpowiadającym danej obserwacji

Wyrównane współrzędne punktów (rys. 1.2), odległości (rys.1.3) i kierunki (rys. 1.5) są poprawne jeżeli

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n-k}} \cong 1$$

oraz

$$|v_d| \leq rm_{vd} \quad - \text{rys.6.1.11}$$

$$|v_\alpha| \leq rm_{v\alpha} \quad - \text{rys.6.1.13}$$

The screenshot shows the 'Tachimetria' software window. The main table displays survey data for points A, B, Q, P, and a series of points 1 through 8. The table has columns for point name, x and y coordinates, and various distance and angle measurements. The status bar at the bottom indicates 'Wyrównanie sieci zakończone' and 'mo = 1.019'.

Punkt	x	y	mx	my	mp	dow	%	X	Y	mX	mY	mP	A	B	Azmut(A)	dx	dy	dp	dp/mp
A	5551511.907	3749298.02				x		5551511.907	3749298.02	0	0	0	0	0		0	0	0	0
B	5551799.873	3749336.37				x		5551799.873	3749336.37	0	0	0	0	0		0	0	0	0
Q	5551706.061	3749755.886				x		5551706.061	3749755.886	0	0	0	0	0		0	0	0	0
P								5551685.7455	3749549.9502	1.2	1.2	1.7	1.3	1.2	145.8842	0	0	0	0
1								5551649.3657	3749356.3711	1.9	1.6	2.5	2	1.5	25.5569	0	0	0	0
2								5551608.215	3749384.7627	1.7	1.6	2.4	2	1.3	46.6764	0	0	0	0
3								5551601.0821	3749462.4698	1.9	2	2.7	2	1.8	68.3574	0	0	0	0
4								5551494.0825	3749536.3053	2.4	2	3.1	2.4	2	4.7533	0	0	0	0
5								5551516.8015	3749569.217	2.3	2	3.1	2.4	1.9	178.2794	0	0	0	0
6								5551623.7981	3749495.3866	2	1.9	2.8	2.3	1.5	43.0013	0	0	0	0
7								5551664.9988	3749467.0643	1.6	2.3	2.8	2.3	1.6	85.6604	0	0	0	0
8								5551706.1594	3749438.6651	1.8	2.3	2.9	2.4	1.7	113.6487	0	0	0	0

Rys. 1.2

Tachimetria

Katalog Pomoc Projekt Kontrola Wagi Wyrównanie Transformacja

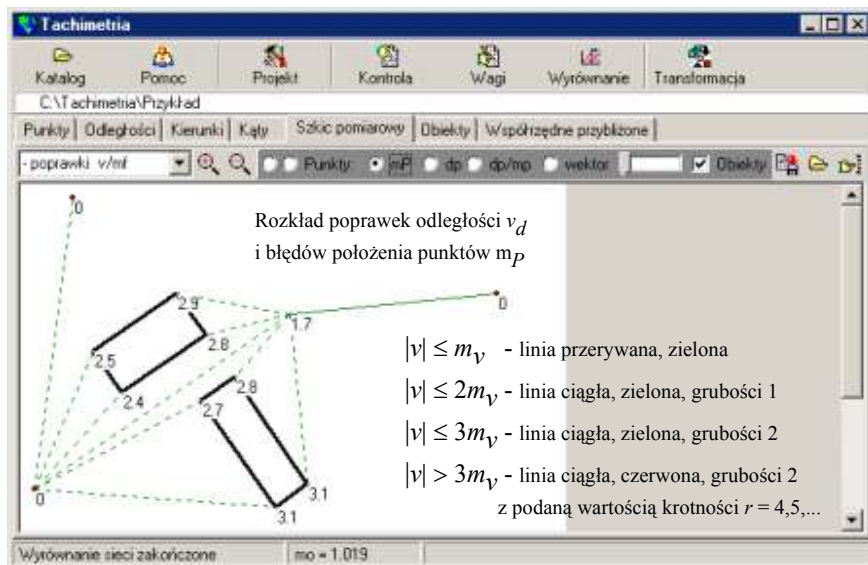
C:\Tachimetria\Przykład

Punkty Odległości Kierunki Kąty Szkieł pomiarowy Obiekty Współrzędne przybliżone

Od punktu	Do punktu	l	ml	l.red	F	mF	v	mv	v/mv	v/ml
A	B	290.508	2	290.508	290.508	0	0.4	2	1	1
A	P	306.084	2	306.084	306.086	1.2	2	1.6	2	2
A	1	149.331	2	149.331	149.331	2	0	0	1	1
A	2	129.613	2	129.613	129.613	2	0	0	1	1
A	3	187.072	2	187.072	187.072	2	0	0	1	1
A	4	238.951	2	238.951	238.951	2	0	0	0	1
P	A	306.086	2	306.086	306.086	1.2	0	1.6	1	1
P	0	206.933	2	206.933	206.935	1.2	2.4	1.6	2	2
P	5	170.039	2	170.039	170.039	2	0	0	1	1
P	6	82.551	2	82.551	82.551	2	0	0	1	1
P	7	85.443	2	85.443	85.443	2	0	0	1	1
P	B	113.142	2	113.142	113.142	2	0	0	0	1

Wyrównanie sieci zakończone mo = 1.019

Rys. 1.3



Rys. 1.4

Tachimetria

Katalog Pomoc Projekt Kontrola Wagi Wyrównanie Transformacja

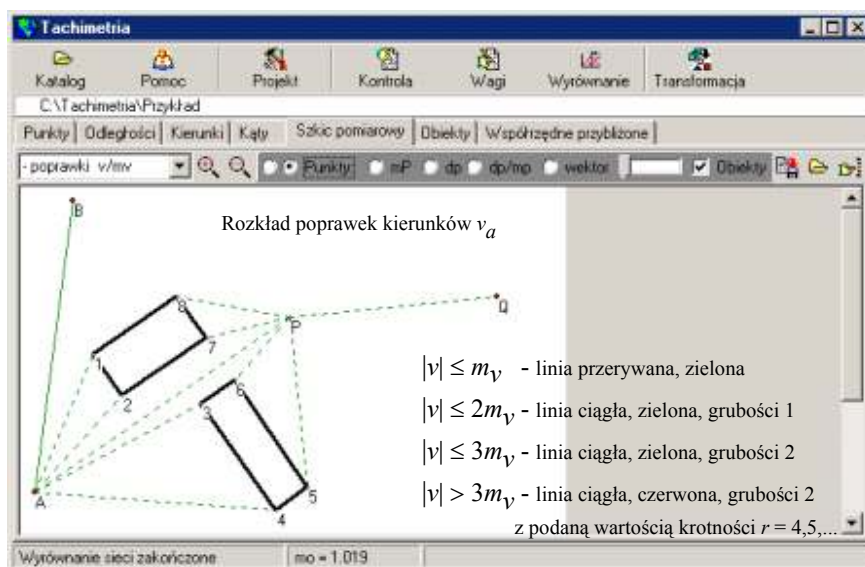
C:\Tachimetria\Przykład

Punkty Odległości Kierunki Kąty Szkic pomiarowy Obiekty Współrzędne przybliżone

	Stano	Wisko	Cel	i	mi	F	mF	v	mv	v/mv	v/mt
A	8			0	5	399.9995	4	-5	3	2	1
A	P			53.1186	5	53.1191	4	5	3	2	1
A	1			17.1278	5	17.1278	5	0	0	1	1
A	2			38.2473	5	38.2473	5	0	0	1	1
A	3			59.9383	5	59.9383	5	0	0	1	1
A	4			96.3242	5	96.3242	5	0	0	1	1
P	A			0	5	0	5	0	2	1	1
P	Q			232.1918	5	232.1918	5	0	2	1	1
P	5			331.2229	5	331.2229	5	0	0	1	1
P	6			384.4227	5	384.4227	5	0	0	1	1
P	7			22.8378	5	22.8378	5	0	0	1	1
P	8			50.0015	5	50.0015	5	0	0	1	1

Wyrównanie sieci zakończone mo = 1.019

Rys.1.5



Rys. 1.6

Zwykle, przed wyrównaniem sieci w dowiązaniu do wszystkich punktów odniesienia przeprowadza się wyrównanie sieci niezależne od punktów odniesienia, w celu sprawdzenia czy nie występują odległości i kierunki obciążone błędami grubymi. Wyrównanie niezależne można przeprowadzić przyjmując jeden z punktów odniesienia jako punkt dowiązania, na przykład punkt A ( $dx_A = 0$ ,  $dy_A = 0$ ), oraz jedną ze współrzędnych innego punktu odniesienia jako stałą, na przykład  $x$  punktu B ( $dx_B = 0$ ) - uniemożliwiającą obrót sieci w procesie wyrównania wokół punktu A.

W tym przypadku układ równań poprawek ma postać:

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ v_{d_{Aj}} \\ v_{\alpha_{Aj}} \\ \vdots \\ \vdots \\ v_{d_{Pj}} \\ v_{\alpha_{Pj}} \\ \vdots \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \frac{dy_B}{dx_Q} \\ \frac{dy_Q}{dx_P} \\ \frac{dy_P}{dx_1} \\ \vdots \\ dy_1 \\ \vdots \\ dx_8 \\ dy_8 \\ d\Sigma_A \\ d\Sigma_P \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{Aj} - d_{0Aj} \\ \alpha_{Aj} - \alpha_{0Aj} \\ \vdots \\ \vdots \\ d_{Pj} - d_{0Pj} \\ \alpha_{Pj} - \alpha_{0Pj} \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} \ddots & & & & & & & & \\ & m_{d_{Aj}}^2 & & & & & & & \\ & & m_{\alpha_{Aj}}^2 & & & & & & \\ & & & \ddots & & & & & \\ & & & & \ddots & & & & \\ & & & & & \ddots & & & \\ & & & & & & m_{d_{Pj}}^2 & & \\ & & & & & & & m_{\alpha_{Pj}}^2 & \\ & & & & & & & & \ddots \end{bmatrix}$$

Po rozwiązaniu tego układu i pozytywnym wyniku testu  $|v| \leq rm_v$ , przeprowadzane jest wyrównanie w dowiązaniu do wszystkich punktów odniesienia, w przeciwnym przypadku poszukiwane są obserwacje odstające, obciążone błędami grubymi.

W ten sposób, ewentualny negatywny wynik testu  $|v| > rm_v$  - po wyrównaniu w dowiązaniu do wszystkich punktów odniesienia może być spowodowany: mniejszą dokładnością punktów dowiązania w porównaniu z dokładnością pomiarów odległości i kierunków,

fizycznym przemieszczeniem w terenie niektórych z punktów dowiązania.

W pierwszym przypadku przeprowadzane jest wyrównanie z wpasowaniem sieci do punktów dowiązania w granicach ich błędów średnich, natomiast w drugim - wyrównanie sieci z wpasowaniem do przystających punktów dowiązania.

## 2. Wpływ błędów punktów dowiązania

Punkty dowiązania o mniejszej dokładności w porównaniu z dokładnością pomiaru odległości i kierunków są zwykle przyczyną deformacji sieci po wyrównaniu:  $|\nu| > 3m_\nu$  (rozdz.1.). W takim przypadku jest przeprowadzane wyrównanie sieci z jej wpasowaniem do punktów dowiązania, w granicach ich błędów średnich.

Współrzędne punktów dowiązania są traktowane tak jakby były pomierzone: równania poprawek odległości i kierunków (rozdz. 1.)

$$\begin{aligned} v_{d_{ij}} &= + \frac{\Delta x_{ij}}{d_{ij}} (dx_j - dx_i) + \frac{\Delta y_{ij}}{d_{ij}} (dy_j - dy_i) - (d_{ij} - d_{ij,0}) \\ v_{\alpha_{ij}} &= - \frac{\Delta y_{ij}}{d_{ij}^2} (dx_j - dx_i) + \frac{\Delta x_{ij}}{d_{ij}^2} (dy_j - dy_i) - d\Sigma_i - (\alpha_{ij} - \alpha_{ij,0}) \end{aligned}$$

zawierają również poprawki do współrzędnych punktów dowiązania  $dx_k, dy_k$ ,  $k = A, B, Q$ .

do równań tych są dołączane równania poprawek współrzędnych punktów dowiązania, zestawione według reguły  $x_k + v_{xk} = x_{0k} + dx_k$ ,  $y_k + v_{yk} = y_{0k} + dy_k$  przy założeniu wartości przybliżonych równych danym  $x_{0k} = x_k$ ,  $y_{0k} = y_k$ , zatem:

$$v_{x_k} = dx_k$$

$$v_{y_k} = dy_k$$

Układ równań poprawek  $\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{l}$ ,  $\mathbf{P} = \mathbf{C}_1^{-1}$ :

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ v_{d_{Aj}} \\ v_{\alpha_{Aj}} \\ \vdots \\ v_{d_{Pj}} \\ v_{\alpha_{Pj}} \\ \vdots \\ v_{x_A} \\ v_{y_A} \\ v_{x_B} \\ v_{y_B} \\ v_{x_Q} \\ v_{y_Q} \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} dx_A \\ dy_A \\ dx_B \\ dy_B \\ dx_Q \\ dy_Q \\ dx_P \\ dy_P \\ dx_1 \\ dy_1 \\ \vdots \\ dx_8 \\ dy_8 \\ d\Sigma_A \\ d\Sigma_P \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{Aj} - d_{0Aj} \\ \alpha_{Aj} - \alpha_{0Aj} \\ \vdots \\ d_{Pj} - d_{0Pj} \\ \alpha_{Pj} - \alpha_{0Pj} \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_1 = \text{diag} \left[ \begin{array}{c} \begin{bmatrix} \ddots & & & & \\ & m_{d_{Aj}}^2 & & & \\ & & m_{\alpha_{Aj}}^2 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & m_{d_{Pj}}^2 \\ & & & & & m_{\alpha_{Pj}}^2 \\ & & & & & & \ddots \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} m_{x_A}^2 & m_{x_A y_A} & m_{x_A x_B} & m_{x_A y_B} & m_{x_A x_Q} & m_{x_A y_Q} \\ m_{x_A y_A} & m_{y_A}^2 & m_{y_A x_B} & m_{y_A y_B} & m_{y_A x_Q} & m_{y_A y_Q} \\ m_{x_A x_B} & m_{y_A x_B} & m_{x_B}^2 & m_{x_B y_B} & m_{x_B x_Q} & m_{x_B y_Q} \\ m_{x_A y_B} & m_{y_A y_B} & m_{x_B y_B} & m_{y_B}^2 & m_{y_B x_Q} & m_{y_B y_Q} \\ m_{x_A x_Q} & m_{y_A x_Q} & m_{x_B x_Q} & m_{y_B x_Q} & m_{x_Q}^2 & m_{x_Q y_Q} \\ m_{x_A y_Q} & m_{y_A y_Q} & m_{x_B y_Q} & m_{y_B y_Q} & m_{x_Q y_Q} & m_{y_Q}^2 \end{bmatrix} \end{array} \right]$$

gdzie:

$\mathbf{v}$  - wektor poprawek odległości, kierunków i współrzędnych punktów dowiązania,

$\mathbf{l}$  - wektor różnic obserwacji i przybliżonych wartości obserwacji,

$\mathbf{x}$  - wektor poprawek współrzędnych punktów dowiązania A, B, Q, współrzędnych przybliżonych punktów wyznaczanych P, 1, 2, ..., 8 i przybliżonych wartości stałych orientacyjnych tachimetru na stanowiskach A i P,

$\mathbf{A}$  - macierz współczynników przy wyznaczanych niewiadomych

$\mathbf{C}_1$  - blokowo-diagonalna macierz błęd obserwacji i współrzędnych punktów dowiązania.

jest rozwiązywany metodą najmniejszych kwadratów  $\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min$  (rozdz. 6.1.5), stąd

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}_x \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad \text{oraz} \quad \mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{l}$$

gdzie

$$\mathbf{C}_x = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} = \begin{bmatrix} m_{x_A}^2 & m_{x_A y_A} & \cdots & m_{x_A \Sigma_P} \\ m_{x_A y_A} & m_{y_A}^2 & \cdots & m_{y_A \Sigma_P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{x_A \Sigma_P} & m_{y_A \Sigma_P} & \cdots & m_{\Sigma_P}^2 \end{bmatrix}$$

jest macierzą błęd wyrównanych współrzędnych punktów i stałych orientacyjnych tachimetru.

Błędy wyrównanych odległości i kierunków oraz ich poprawek i poprawek współrzędnych punktów dowiązania dane są wzorami:

$$m_d = \sqrt{\mathbf{a}_d \mathbf{C}_x \mathbf{a}_d^T} \quad m_{vd} = \sqrt{m_d^2 - m_d^2} \quad m_{dx} = \sqrt{m_x^2 - m_x^2}$$

$$m_\alpha = \sqrt{\mathbf{a}_\alpha \mathbf{C}_x \mathbf{a}_\alpha^T} \quad m_{v\alpha} = \sqrt{m_\alpha^2 - m_\alpha^2} \quad m_{dy} = \sqrt{m_y^2 - m_y^2}$$

gdzie  $\mathbf{a}$  jest wierszem macierzy  $\mathbf{A}$ , odpowiadającym danej obserwacji.

Wyrównane współrzędne punktów (rys. 2.1) oraz odległości i kierunki są poprawne jeżeli

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n-k}} \cong 1$$

oraz

$$|v_d| \leq rm_{vd} \quad - \text{rys. 6.1.15}$$

$$|v_\alpha| \leq rm_{v\alpha} \quad - \text{rys. 6.1.16}$$

$$|dx| \leq rm_{dx}$$

$$|dy| \leq rm_{dy}$$

lub, w przybliżeniu

$$dp = \sqrt{dx^2 + dy^2} \leq rm_p \quad - \text{rys. 6.1.14, 6.1.18}$$

gdzie  $dp$  jest długością wektora przemieszczenia punktu dowiązania, natomiast  $m_p$  jego błędem położenia, przyjętym do wagowania (rys. 2.1).

Tachimetria

Katalog

Pomoc

Projekt

Kontrola

Wagi

Wyrównanie

Transformacja

C:\Tachimetria\Przykład\Wplyw nawiazania

Punkty

Odległości

Kierunki

Kąty

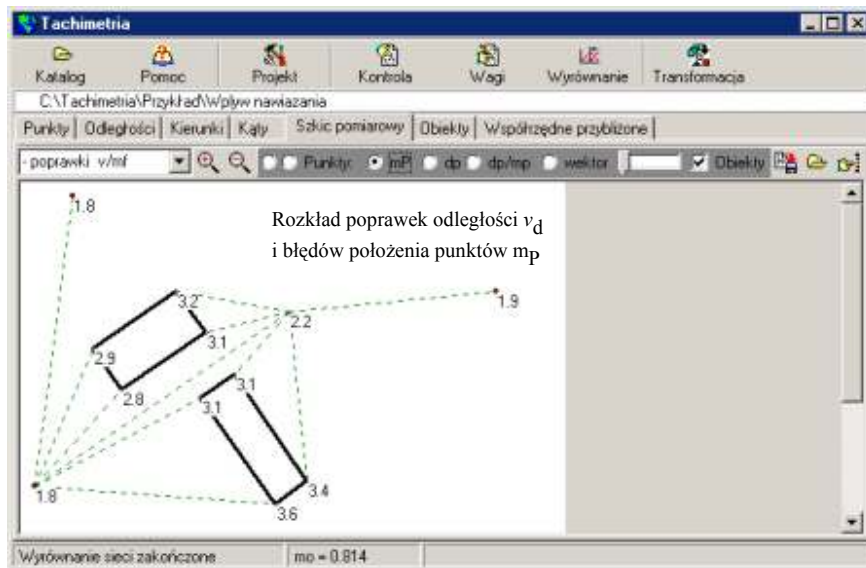
Szkie pomiarowy

Obiekty

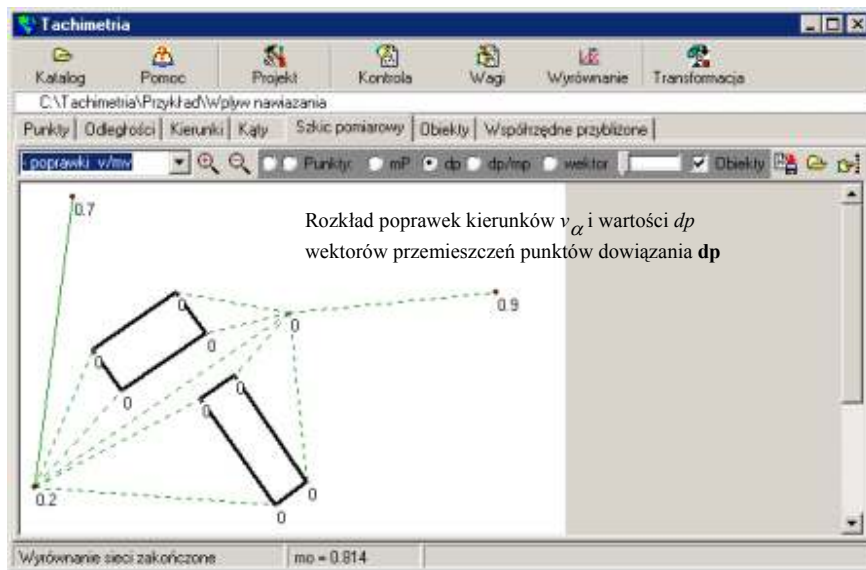
Współrzędne przybliżone

Rys. 2.1.

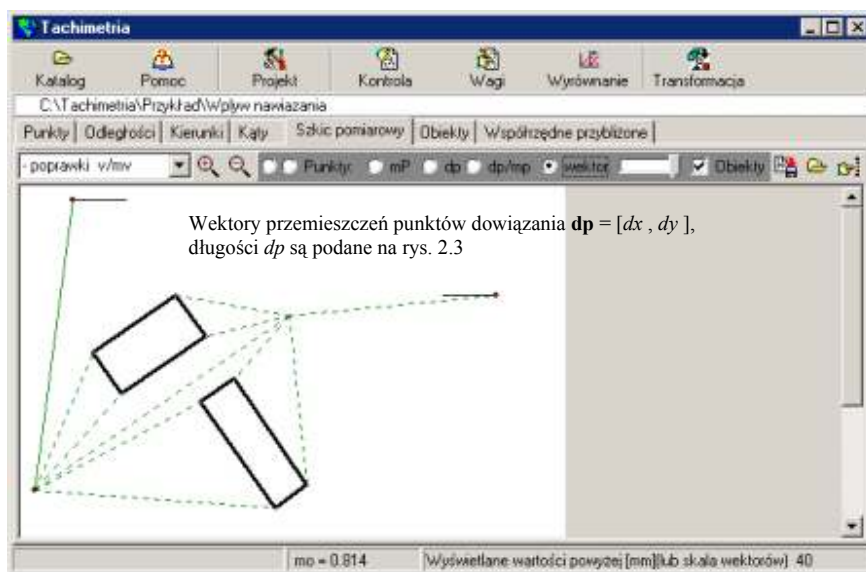




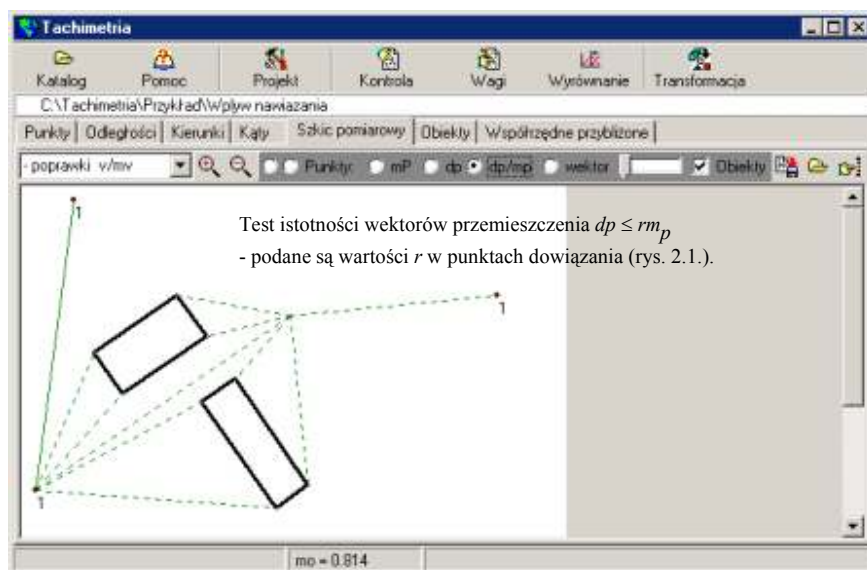
Rys. 2.2.



Rys. 2.3



Rys. 2.4

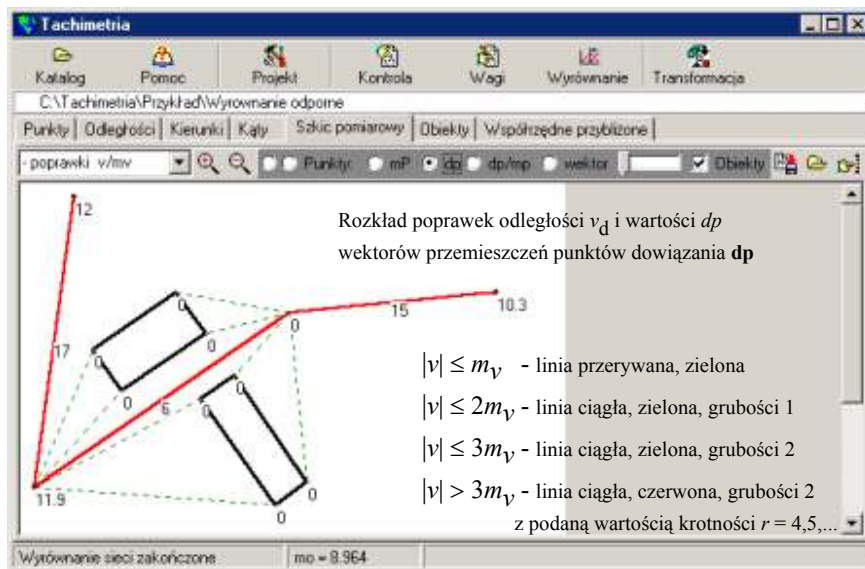


Rys. 2.5

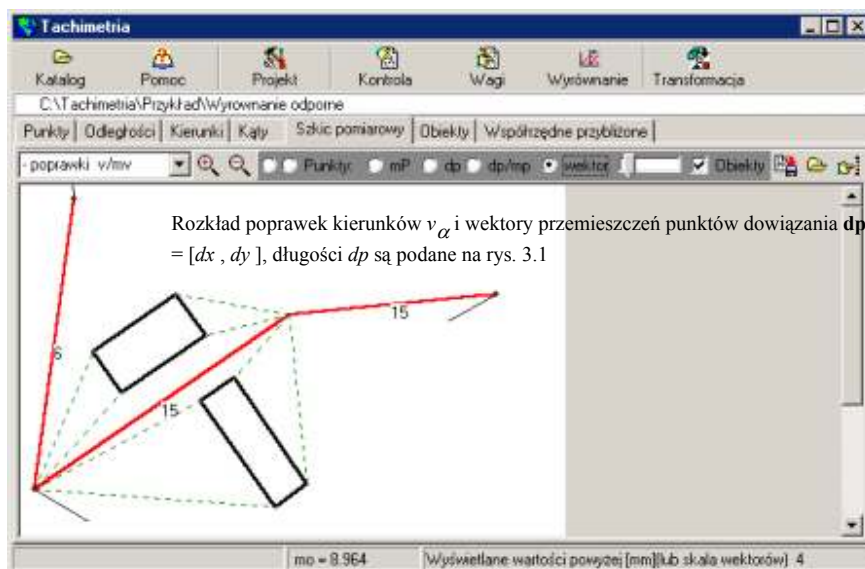
W przypadku negatywnego wyniku wyrównania  $|v| > rm_v$ ,  $dp > rm_p$  spowodowanego przemieszczeniem punktów dowiązania przeprowadzane jest wyrównanie z wpasowaniem sieci do przystających punktów dowiązania.

### 3. Wpasowanie do przystających punktów dowiązania

Przyczyną deformacji ciągu  $|v| > rm_v$ ,  $dp > rm_p$  po wyrównaniu z uwzględnieniem błędów punktów dowiązania są zwykle fizyczne przemieszczenia punktów dowiązania  $dx$ ,  $dy$  znacznie przekraczające błędy średnie współrzędnych tych punktów przyjęte do wagowania:  $|dx| > rm_x$ ,  $|dy| > rm_y$ .



Rys. 3.1



Rys. 3.2.

Na przykład, dodając (+0.05, -0.07) do współrzędnych punktu A ( $x, y$ ) otrzymuje się znaczną deformację ciągu:  $m_0 = 8.96$  oraz poprawki odległości, kierunków i współrzędnych punktów dowiązania wielokrotnie przekraczają przedział potrójnego błędu - linie czerwone na rysunkach 3.1. i 3.2.

W takich sytuacjach wyrównanie ciągu jest kontynuowane iteracyjnie: po każdym wyrównaniu, w zależności od wielkości otrzymanych przemieszczeń  $dx, dy$ , są modyfikowane błędy współrzędnych:

$$m_x = \begin{cases} m_x & |dx| \leq rm_x \\ m_x + |dx| - rm_x & |dx| > rm_x \end{cases}$$

$$m_y = \begin{cases} m_y & |dy| \leq rm_y \\ m_y + |dy| - rm_y & |dy| > rm_y \end{cases}$$

- w ogólności jest modyfikowana pełna macierz kowariancji błędu punktów dowiązania (rozdz. 5.4.4):

$$\begin{bmatrix} m_{x_A}^2 & m_{x_A y_A} & \cdots & m_{x_A y_Q} \\ m_{x_A y_A} & m_{y_A}^2 & \cdots & m_{y_A y_Q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{x_A y_Q} & m_{y_A y_Q} & \cdots & m_{y_Q}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{x_A}^2 & \rho_{x_A y_A} m_{x_A} m_{y_A} & \cdots & \rho_{x_A y_Q} m_{x_A} m_{y_Q} \\ \rho_{x_A y_A} m_{x_A} m_{y_A} & m_{y_A}^2 & \cdots & \rho_{y_A y_Q} m_{y_A} m_{y_Q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{x_A y_Q} m_{x_A} m_{y_Q} & \rho_{y_A y_Q} m_{y_A} m_{y_Q} & \cdots & m_{y_Q}^2 \end{bmatrix}$$

gdzie współczynniki korelacji  $\rho$  są obliczone na podstawie wyjściowych błędów i kowariancji:

$$\rho_{x_A y_A} = \frac{m_{x_A y_A}}{m_{x_A} m_{y_A}}, \quad \rho_{x_A y_Q} = \frac{m_{x_A y_Q}}{m_{x_A} m_{y_Q}}, \quad \rho_{y_A y_Q} = \frac{m_{y_A y_Q}}{m_{y_A} m_{y_Q}}$$

Zatem, po wyborze opcji *punkty odstające* (rys. 3.3), po kilku iteracjach ciąg zostaje wpasowany do przystających punktów dowiązania B i Q:

wykryte przemieszczenie punktu A (-0.0497, +0.0707) - rys. 3.3 różni się od założonego

(+0.050, -0.070) nie więcej niż 0.7 mm,

przemieszczenia punktów B i Q różnią się jedynie 0.1 mm od przemieszczeń otrzymanych po wyrównaniu bez przemieszczenia punktu A - patrz wyniki w kolumnach  $dx, dy, dp$  w tabelach na rys. 2.2. i 3.3.

$m_0 = 0.819$  jest praktycznie równe wartości otrzymanej po wyrównaniu bez przemieszczenia punktu A: 0.814,

poprawki odległości i kierunków są praktycznie takie same jak po wyrównaniu bez przemieszczenia punktu A - patrz rysunki 2.2, 2.3 i 3.4, 3.5.

Tachimetria

Katalog

Pomoc

Projekt

Kontrola

Wagi

Wyrównanie

Transformacja

C:\Tachimetria\Przykład\Wyrównanie odporne

Punkty

Odległości

Kierunki

Kąty

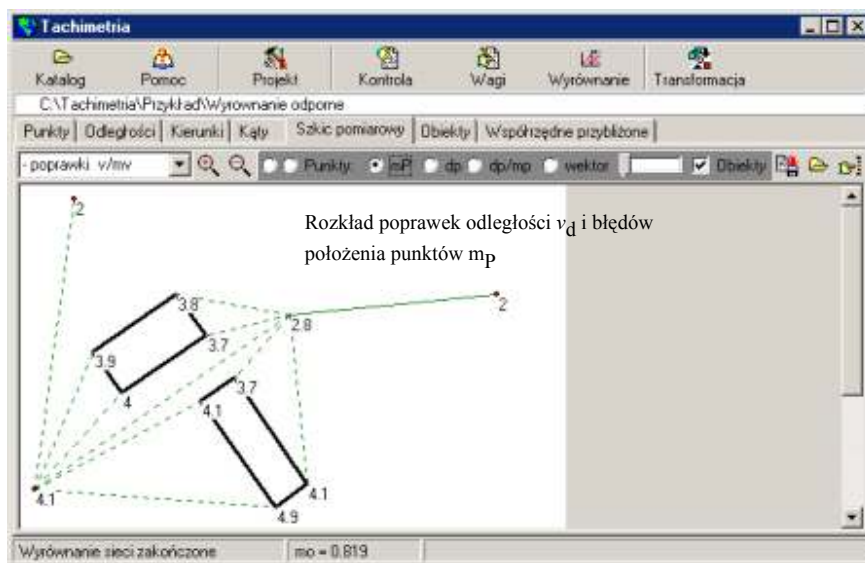
Szkieł pomiarowy

Obiekty

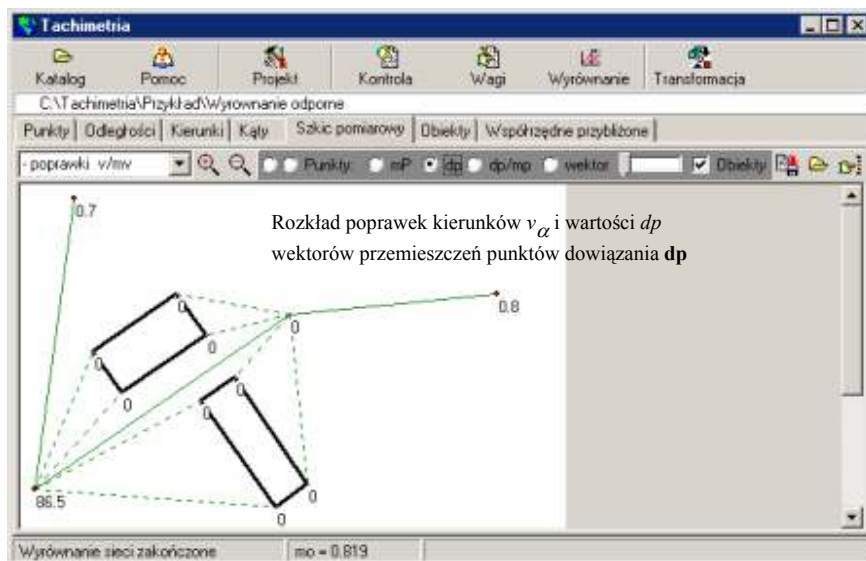
Współrzędne przybliżone

<

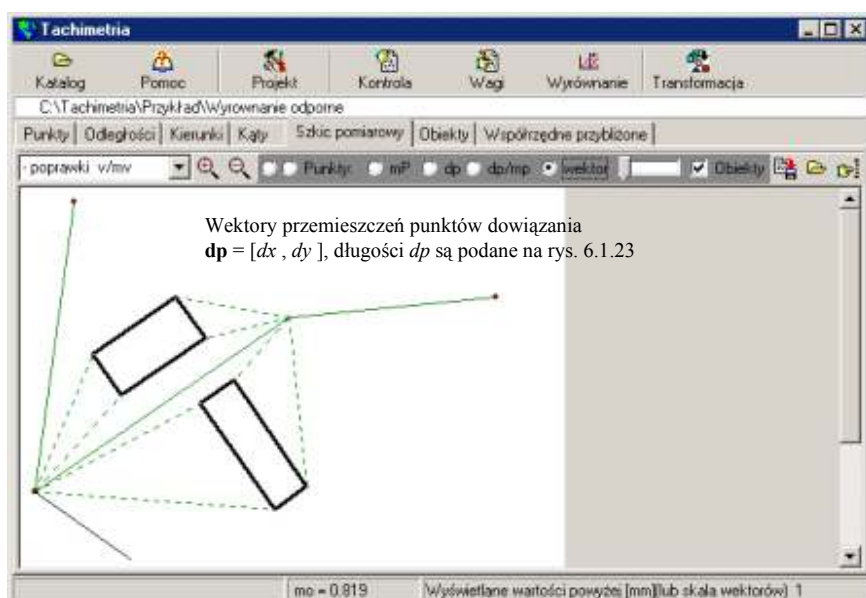
Rys. 3.3



Rys. 3.4



Rys. 3.5



Rys. 3.6

Jeżeli nie są znane błędy współrzędnych punktów dowiązania, jako wyjściowe przyjmuje się małe wartości błędów współrzędnych tych punktów, na przykład 0.1, 0.5 lub 1 mm. Po kilku iteracjach i stabilizacji rozwiązania jest wykonywany ostatni krok iteracji przy założeniu zerowych błędów wykrytych punktów przystających. W ten sposób błędy punktów wyznaczanych będą odniesione do wykrytych, przystających punktów dowiązania, przyjętych za bezbłędne.

#### 4. Wyrównanie w czasie pomiaru

Program pomiarowy tachimetru elektronicznego *wyrównanie ciągu w czasie pomiaru* jest przeznaczony do wyrównywania ciągu tachimetrycznego w czasie pomiaru terenowego, po wykonaniu obserwacji na kolejnych stanowiskach:

##### Stanowisko A

Wyrównane wartości pomierzonych odległości i kierunków do punktów  $j = B, P, 1, 2, 3, 4$  oraz współrzędne punktów wyznaczanych  $P, 1, 2, 3, 4$  i ich błędy średnie otrzymuje się w wyniku rozwiązania układu równań poprawek odległości i kierunków, zestawionych na stanowisku A:  $\mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{l}, \mathbf{P} = \mathbf{C}_1^{-1}$ :

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ v_{d_{Aj}} \\ v_{\alpha_{Aj}} \\ \vdots \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} dx_P \\ dy_P \\ dx_1 \\ dy_1 \\ \vdots \\ dx_4 \\ dy_4 \\ d\Sigma_A \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{Aj} - d_{0Aj} \\ \alpha_{Aj} - \alpha_{0Aj} \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & m_{d_{Aj}}^2 & & \\ & & m_{\alpha_{Aj}}^2 & \\ & & & \ddots \end{bmatrix}$$

##### Stanowisko P

Wyrównane wartości pomierzonych odległości i kierunków do punktów  $j = A, Q, 5, 6, 7, 8$  oraz współrzędne wszystkich punktów wyznaczanych  $P, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$  i ich błędy średnie otrzymuje się w wyniku rozwiązania układu równań poprawek odległości i kierunków zestawionych na stanowisku P, po dołączeniu równań poprawek do współrzędnych wszystkich punktów wyrównanych na poprzednim stanowisku A oraz stałej orientacyjnej tachimetru na stanowisku A:  $\mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{l}, \mathbf{P} = \mathbf{C}_1^{-1}$  (rozdz. 6.1.6):

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ v_{d_{Pj}} \\ v_{\alpha_{Pj}} \\ \vdots \\ v_{x,P} \\ v_{y,P} \\ \vdots \\ v_{\Sigma_A} \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} dx_P \\ dy_P \\ dx_1 \\ dy_1 \\ \vdots \\ dx_4 \\ dy_4 \\ d\Sigma_A \\ dx_5 \\ dy_5 \\ \vdots \\ dx_8 \\ dy_8 \\ d\Sigma_P \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{Pj} - d_{0Pj} \\ \alpha_{Pj} - \alpha_{0Pj} \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} \ddots & & & & & & & \\ & m_{d_{Pj}}^2 & & & & & & \\ & & m_{\alpha_{Pj}}^2 & & & & & \\ & & & \ddots & & & & \\ & & & & m_{x,P}^2 & m_{x,P,y,P} & \cdots & m_{x,P,\Sigma_A} \\ & & & & m_{x,P,y,P} & m_{y,P}^2 & \cdots & m_{y,P,\Sigma_A} \\ & & & & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & & & m_{x,P,\Sigma_A} & m_{y,P,\Sigma_A} & \cdots & m_{\Sigma_A}^2 \end{bmatrix}$$

### Stanowiska następne

Przebieg wyrównania jest analogiczny jak na stanowisku drugim. Do układu równań poprawek pomierzonych odległości i kierunków na kolejnym stanowisku, są dołączane równania poprawek do wyrównanych na poprzednim stanowisku współrzędnych punktów i stałych orientacyjnych tachimetru - obejmujące wszystkie mierzone punkty wzdłuż ciągu i stałe orientacyjne tachimetru na poprzednich stanowiskach.

Wyrównanie ciągu z uwzględnieniem błędów punktów dowiązania przebiega analogicznie: na pierwszym stanowisku A do układu równań poprawek pomierzonych odległości i kierunków są dołączone równania poprawek do współrzędnych punktów dowiązania A i B, obliczenia przebiegają według algorytmu opisanego w rozdz. 2.

kolejne stanowiska są wyrównywane z uwzględnieniem poprawek do wyrównanych na poprzednim stanowisku współrzędnych punktów i stałych orientacyjnych tachimetru - obejmujące wszystkie mierzone punkty wzdłuż ciągu *nowe* i *dowiązania* oraz stałe orientacyjne tachimetru na poprzednich stanowiskach.

## 5. Wyrównanie wysokościowe

Przewyższenia niwelacyjne  $\Delta h$ , jako różnice wysokości punktów celowania i stanowiska tachimetru, otrzymuje się w wyniku redukcji pomierzonego przewyższenia trygonometrycznego  $\Delta z = i + s \cos \beta - j$ :  $\Delta h = \Delta z + \delta R - \Delta N + \delta H$ . Stąd, błąd przewyższenia  $m_{\Delta h} \approx m_{\Delta z}$  użyty do wagowania przewyższeń, jest dany wzorem:

$$m_{\Delta h} = \sqrt{\cos^2 \beta m_s^2 + s^2 \sin^2 \beta m_\beta^2 + m_i^2 + m_j^2}$$

Wysokości niwelacyjne mierzonych punktów A, B, C, D otrzymuje się w wyniku rozwiązania układu równań poprawek

$$\mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{l}, \mathbf{P} = \mathbf{C}_1^{-1}$$

przy założeniach:

bezbłądności wysokości punktów dowiązania:

$$\Delta h_{Ai} + v_{Ai} = h_i - H_A, m_{\Delta h_{Ai}}, i = P, 1, 2, 3, 4,$$

$$\Delta h_{Pj} + v_{Pj} = h_j - H_P, m_{\Delta h_{Pj}}, j = A, Q, 5, 6, 7, 8,$$

$$\begin{bmatrix} v_{AP} \\ v_{A1} \\ v_{A2} \\ v_{A3} \\ v_{A4} \\ v_{PA} \\ v_{PQ} \\ v_{P5} \\ v_{P6} \\ v_{P7} \\ v_{P8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & & & \\ & 1 & & & & & & & & & \\ & & 1 & & & & & & & & \\ & & & 1 & & & & & & & \\ & & & & 1 & & & & & & \\ -1 & & & & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & & & & \\ -1 & & & & & 1 & & & & & \\ -1 & & & & & & 1 & & & & \\ -1 & & & & & & & 1 & & & \\ -1 & & & & & & & & 1 & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_P \\ h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} H_A - \Delta h_{AP} \\ H_A - \Delta h_{A1} \\ H_A - \Delta h_{A2} \\ H_A - \Delta h_{A3} \\ H_A - \Delta h_{A4} \\ -H_A + \Delta h_{PA} \\ -H_Q + \Delta h_{PQ} \\ \Delta h_{P5} \\ \Delta h_{P6} \\ \Delta h_{P7} \\ \Delta h_{P8} \end{bmatrix}, \mathbf{C}_1 = \text{diag} \begin{bmatrix} m_{\Delta h_{AP}}^2 \\ m_{\Delta h_{A1}}^2 \\ m_{\Delta h_{A2}}^2 \\ m_{\Delta h_{A3}}^2 \\ m_{\Delta h_{A4}}^2 \\ m_{\Delta h_{PA}}^2 \\ m_{\Delta h_{PQ}}^2 \\ m_{\Delta h_{P5}}^2 \\ m_{\Delta h_{P6}}^2 \\ m_{\Delta h_{P7}}^2 \\ m_{\Delta h_{P8}}^2 \end{bmatrix}$$



uwzględnienia błędów wysokości punktów dowiązania:

$$\Delta h_{Ai} + v_{Ai} = h_i - h_A, \quad i = P, 1, 2, 3, 4$$

$$\Delta h_{Pj} + v_{Pj} = h_j - h_P, \quad j = A, Q, 5, 6, 7, 8$$

$$H_k + dH_k = h_k, \quad k = A, B, Q$$

$$\begin{bmatrix} v_{AB} \\ v_{AP} \\ v_{A1} \\ v_{A2} \\ v_{A3} \\ v_{A4} \\ \hline v_{PA} \\ v_{PQ} \\ v_{P5} \\ v_{P6} \\ v_{P7} \\ v_{P8} \\ \hline dH_A \\ dH_B \\ dH_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & & & & & -1 & 1 \\ & 1 & & & & & & & & & & & -1 & \\ & & 1 & & & & & & & & & & -1 & \\ & & & 1 & & & & & & & & & -1 & \\ & & & & 1 & & & & & & & & -1 & \\ & & & & & 1 & & & & & & & -1 & \\ \hline -1 & & & & & & & & & 1 & & & & \\ -1 & & & & & & & & & & & & 1 & \\ -1 & & & & & 1 & & & & & & & & \\ -1 & & & & & & 1 & & & & & & & \\ -1 & & & & & & & 1 & & & & & & \\ -1 & & & & & & & & 1 & & & & & \\ \hline & & & & & & & & & 1 & & & & \\ & & & & & & & & & & 1 & & & \\ & & & & & & & & & & & 1 & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_P \\ h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ \hline h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \\ h_A \\ \hline h_B \\ h_Q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta h_{AB} \\ \Delta h_{AP} \\ \Delta h_{A1} \\ \Delta h_{A2} \\ \Delta h_{A3} \\ \Delta h_{A4} \\ \hline \Delta h_{PA} \\ \Delta h_{PQ} \\ \Delta h_{P5} \\ \Delta h_{P6} \\ \Delta h_{P7} \\ \Delta h_{P8} \\ \hline H_A \\ H_B \\ H_Q \end{bmatrix}$$

$$C_1 = \text{diag} \begin{bmatrix} m_{\Delta h_{AB}}^2 \\ m_{\Delta h_{AP}}^2 \\ m_{\Delta h_{A1}}^2 \\ m_{\Delta h_{A2}}^2 \\ m_{\Delta h_{A3}}^2 \\ m_{\Delta h_{A4}}^2 \\ \hline m_{\Delta h_{PA}}^2 \\ m_{\Delta h_{PQ}}^2 \\ m_{\Delta h_{P5}}^2 \\ m_{\Delta h_{P6}}^2 \\ m_{\Delta h_{P7}}^2 \\ m_{\Delta h_{P8}}^2 \\ \hline \begin{bmatrix} m_{H_A}^2 & m_{H_A H_B} & m_{H_A H_Q} \\ m_{H_A H_B} & m_{H_B}^2 & m_{H_B H_Q} \\ m_{H_A H_Q} & m_{H_B H_Q} & m_{H_Q}^2 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

wpasowania do przystających punktów dowiązania: obliczenia są kontynuacją powyższego wyrównania - przy uwzględnieniu błędów punktów dowiązania, na każdym kroku iteracji są modyfikowane wagi wysokości punktów dowiązania w zależności od wielkości otrzymanych przemieszczeń na poprzednim kroku  $dH$ :

$$m_H = \begin{cases} m_H & |dH| \leq rm_H \\ m_H + |dH| - rm_H & |dH| > rm_H \end{cases}$$

- w ogólności jest modyfikowana pełna macierz kowariancji błędu wysokości punktów dowiązania:

$$\begin{bmatrix} m_{H_A}^2 & m_{H_A H_B} & m_{H_A H_Q} \\ m_{H_A H_B} & m_{H_B}^2 & m_{H_B H_Q} \\ m_{H_A H_Q} & m_{H_B H_Q} & m_{H_Q}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{H_A}^2 & \rho_{H_A H_B} m_{H_A} m_{H_B} & \rho_{H_A H_Q} m_{H_A} m_{H_Q} \\ \rho_{H_A H_B} m_{H_A} m_{H_B} & m_{H_B}^2 & \rho_{H_B H_Q} m_{H_B} m_{H_Q} \\ \rho_{H_A H_Q} m_{H_A} m_{H_Q} & \rho_{H_B H_Q} m_{H_B} m_{H_Q} & m_{H_Q}^2 \end{bmatrix}$$

gdzie współczynniki korelacji  $\rho$  są obliczone na podstawie wyjściowych błędów i kowariancji:

$$\rho_{H_A H_B} = \frac{m_{H_A H_B}}{m_{H_A} m_{H_B}}, \quad \rho_{H_A H_Q} = \frac{m_{H_A H_Q}}{m_{H_A} m_{H_Q}}, \quad \rho_{H_B H_Q} = \frac{m_{H_B H_Q}}{m_{H_B} m_{H_Q}}$$

Jeżeli nie są znane błędy wysokości punktów dowiązania to jako wyjściowe przyjmuje się małe wartości błędów wysokości tych punktów, na przykład 0.1, 0.5 lub 1 mm. Po kilku iteracjach i stabilizacji rozwiązania jest wykonywany ostatni krok iteracji przy założeniu zerowych błędów wykrytych punktów przystających. W ten sposób błędy punktów wyznaczanych będą odniesione do wykrytych, przystających punktów dowiązania, przyjętych za bezbłędne.

## 6. Wyrównanie przestrzenne

Zależnością wiążącą odległości poziome  $d = s \sin \beta$  i przewyższenia niwelacyjne  $\Delta h \approx \Delta z = i + s \cos \beta - j$  jest kowariancja błędu:

$$m_{d \Delta h} = \frac{1}{2} \sin 2\beta (m_s^2 - s^2 m_\beta^2)$$

Zatem równania poprawek odległości i kierunków poziomych oraz przewyższeń niwelacyjnych mogą być połączone

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{l}, \quad \mathbf{P} = \mathbf{C}_l^{-1}$$

i rozwiązanie w przestrzennym układzie współrzędnych  $x, y, H$ , przy założeniach: bezbłędności wysokości punktów dowiązania :

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ v_{d_{Aj}} \\ v_{\alpha_{Aj}} \\ v_{\Delta h_{Aj}} \\ \vdots \\ v_{d_{Pj}} \\ v_{\alpha_{Pj}} \\ v_{\Delta h_{Pj}} \\ \vdots \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} dx_P \\ dy_P \\ h_P \\ dx_1 \\ dy_1 \\ h_1 \\ \vdots \\ dx_8 \\ dy_8 \\ h_8 \\ d\Sigma_A \\ d\Sigma_P \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{Aj} - d_{0Aj} \\ \alpha_{Aj} - \alpha_{0Aj} \\ \Delta h_{Aj} \\ \vdots \\ d_{Pj} - d_{0Pj} \\ \alpha_{Pj} - \alpha_{0Pj} \\ \Delta h_{Pj} \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_1 = \text{diag} \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{d_{Aj}}^2 & 0 & m_{d_{Aj}\Delta h_{Aj}} \\ 0 & m_{\alpha_{Aj}}^2 & 0 \\ m_{d_{Aj}\Delta h_{Aj}} & 0 & m_{\Delta h_{Aj}}^2 \end{bmatrix} \\ \vdots \\ \begin{bmatrix} m_{d_{Pj}}^2 & 0 & m_{d_{Pj}\Delta h_{Pj}} \\ 0 & m_{\alpha_{Pj}}^2 & 0 \\ m_{d_{Pj}\Delta h_{Pj}} & 0 & m_{\Delta h_{Pj}}^2 \end{bmatrix} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

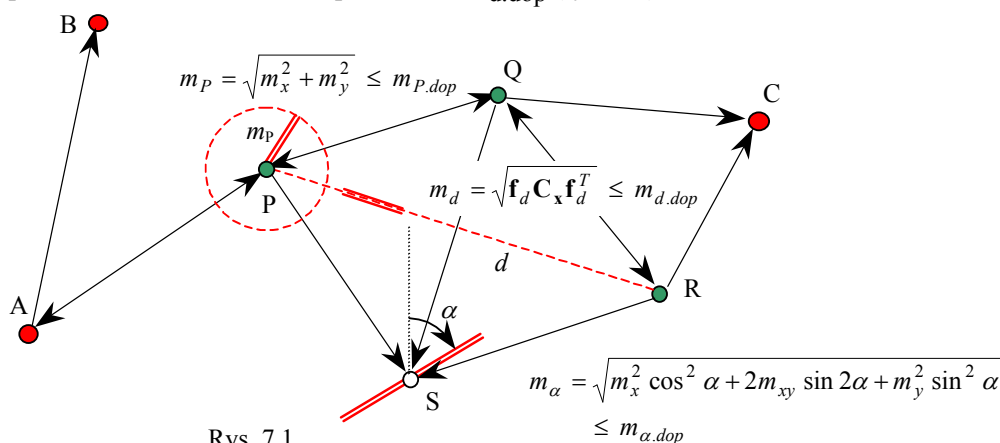
uwzględnienia błędów wysokości punktów dowiązania:

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ v_{d_{Aj}} \\ v_{\alpha_{Aj}} \\ v_{\Delta h_{Aj}} \\ \vdots \\ v_{d_{Pj}} \\ v_{\alpha_{Pj}} \\ v_{\Delta h_{Pj}} \\ \vdots \\ v_{x_A} \\ v_{y_A} \\ v_{x_B} \\ v_{y_B} \\ v_{x_Q} \\ v_{y_Q} \\ dH_A \\ dH_B \\ dH_Q \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} dx_A \\ dy_A \\ h_A \\ dx_B \\ dy_B \\ h_B \\ \vdots \\ dx_Q \\ dy_Q \\ h_Q \\ dx_P \\ dy_P \\ h_P \\ dx_1 \\ dy_1 \\ h_1 \\ \vdots \\ dx_8 \\ dy_8 \\ h_8 \\ d\Sigma_A \\ d\Sigma_P \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \vdots \\ d_{Aj} - d_{0Aj} \\ \alpha_{Aj} - \alpha_{0Aj} \\ \Delta h_{Aj} \\ \vdots \\ d_{Pj} - d_{0Pj} \\ \alpha_{Pj} - \alpha_{0Pj} \\ \Delta h_{Pj} \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ H_A \\ H_B \\ H_Q \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_1 = \text{diag} \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{d_{Aj}}^2 & 0 & m_{d_{Aj}\Delta h_{Aj}} \\ 0 & m_{\alpha_{Aj}}^2 & 0 \\ m_{d_{Aj}\Delta h_{Aj}} & 0 & m_{\Delta h_{Aj}}^2 \end{bmatrix} \\ \vdots \\ \begin{bmatrix} m_{d_{Pj}}^2 & 0 & m_{d_{Pj}\Delta h_{Pj}} \\ 0 & m_{\alpha_{Pj}}^2 & 0 \\ m_{d_{Pj}\Delta h_{Pj}} & 0 & m_{\Delta h_{Pj}}^2 \end{bmatrix} \\ \vdots \\ \begin{bmatrix} m_{x_A}^2 & m_{x_A y_A} & m_{x_A x_B} & m_{x_A y_B} & m_{x_A x_Q} & m_{x_A y_Q} \\ m_{x_A y_A} & m_{y_A}^2 & m_{y_A x_B} & m_{y_A y_B} & m_{y_A x_Q} & m_{y_A y_Q} \\ m_{x_A x_B} & m_{y_A x_B} & m_{x_B}^2 & m_{x_B y_B} & m_{x_B x_Q} & m_{x_B y_Q} \\ m_{x_A y_B} & m_{y_A y_B} & m_{x_B y_B} & m_{y_B}^2 & m_{y_B x_Q} & m_{y_B y_Q} \\ m_{x_A x_Q} & m_{y_A x_Q} & m_{x_B x_Q} & m_{y_B x_Q} & m_{x_Q}^2 & m_{x_Q y_Q} \\ m_{x_A y_Q} & m_{y_A y_Q} & m_{x_B y_Q} & m_{y_B y_Q} & m_{x_Q y_Q} & m_{y_Q}^2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} m_{H_I}^2 & m_{H_I H_{II}} & m_{H_I H_{III}} \\ m_{H_I H_{II}} & m_{H_{II}}^2 & m_{H_{II} H_{III}} \\ m_{H_I H_{III}} & m_{H_{II} H_{III}} & m_{H_{III}}^2 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

wpasowania do przystających punktów dowiązania: obliczenia są kontynuacją powyższego wyrównania - przy uwzględnieniu błędów punktów dowiązania, na każdym kroku iteracji są modyfikowane wagi wysokości punktów dowiązania w zależności w zależności od wielkości otrzymanych przemieszczeń na poprzednim kroku  $dx$ ,  $dy$ ,  $dH$ :

## 7. Wstępna analiza dokładności

Wstępna analiza dokładności ciągu jest przeprowadzana przed wykonaniem pomiarów terenowych, celem sprawdzenia czy zaprojektowane rozmieszczenie stanowisk tachimetru na punktach P, Q, R i planowane do pomiaru odległości i kierunki wiążące wyznaczone punkty P, Q, R, S z punktami dowiązania A, B, C nie przekroczą wartości dopuszczalnej błędu położenia punktu  $m_{P.dop}$  (rys. 7.1.). W sieciach tachimetrycznych zakładanych do badania przemieszczeń zakłada się również dopuszczalne wartości błędu położenia punktów w wybranych kierunkach  $m_{\alpha.dop}$  (rys. 7.1). W niektórych zastosowaniach istotne mogą być błędy wybranych odległości  $d$ , na przykład między punktami P i R, w tym przypadku zadane są wartości dopuszczalne  $m_{d.dop}$  (rys. 7.1).



Rys. 7.1

Charakterystyki dokładności sieci  $m_P$ ,  $m_\alpha$ ,  $m_d$  są obliczane i porównywane z wartościami dopuszczalnymi na podstawie macierzy błędu współrzędnych punktów i stałych orientacyjnych tachimetru  $\mathbf{C}_x = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$ , będącej funkcją macierzy planu obserwacji  $\mathbf{A}$  - reprezentującej wpływ rozmieszczenia obserwacji, oraz macierzy wagowej  $\mathbf{P}$  - reprezentującej wpływ planowanego do użycia tachimetru ( $m_d$ ,  $m_\alpha$ ) oraz wpływ błędów współrzędnych punktów dowiązania A, B i C. Przyrosty współrzędnych  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  i odległości poziome  $d$  niezbędne do obliczenia elementów macierzy  $\mathbf{A}$  wyznaczone są na podstawie przybliżonych - projektowych współrzędnych punktów wyznaczanych. Jeżeli planowane rozmieszczenie stanowisk A, P, Q i R nie spełnia kryteriów dokładności sieci (rys. 6.1.25) wtedy jest planowane rozmieszczenie dodatkowego stanowiska tachimetru na jednym z pozostałych punktów: S i C. Dla każdego dodatkowego stanowiska obliczana jest macierz błędu obejmująca wszystkie punkty sieci i stałe orientacyjne tachimetru:  $\mathbf{C}_{x,S}$ ,  $\mathbf{C}_{x,C}$ . Stąd, jest wybierane położenie stanowiska, które wykazuje największy wpływ na wartości kryteriów dokładności sieci. Jeżeli po wybraniu najlepszego stanowiska, na przykład na punkcie S, otrzymana macierz błędu  $\mathbf{C}_x \equiv \mathbf{C}_{x,S}$  nie spełni jeszcze kryteriów dokładności sieci (rys. 7.1), wtedy dobierane jest następne, najlepsze względem zadanych kryteriów nowe stanowisko tachimetru - spośród pozostałych (w rozpatrywanym przykładzie tylko C), w opisany sposób. Obliczenia zostają zakończone po uzyskaniu sekwencyjnie-optymalnego planu rozmieszczenia stanowisk A, P, Q, R, S,... przy którym macierz  $\mathbf{C}_x$  spełni kryteria dokładności sieci (rys. 7.1).