

Wykorzystanie zintegrowanych tachimetrów elektronicznych
w zakładaniu trójwymiarowych osnów geodezyjnych

Przestrzennie znaczy taniej

WALDEMAR KAMIŃSKI, ZBIGNIEW WIŚNIEWSKI

Pomiary sytuacyjne, wykorzystujące tachimetry elektroniczne i metodę biegunową, nie budzą wątpliwości. Natomiast zastosowanie total station do zakładania osnów przestrzennych jest jednak jeszcze sprawą dyskusyjną i wymagającą prowadzenia odpowiednich badań empirycznych.

Od kilku lat w polowych pracach geodezyjnych związanych z tworzeniem map numerycznych (i nie tylko) wykorzystywane są głównie tachimetry elektroniczne. Instrumenty te, jak wiadomo, umożliwiają wyznaczenie położenia przestrzennego (X , Y , H) punktów wraz z ich automatyczną rejestracją. Pomiary sytuacyjne są prowadzone w oparciu o osnowy zakładane, jak do tej pory, różnymi technikami i technologiami, od metod klasycznych (np. niezależne wyznaczenie współrzędnych płaskich X , Y oraz wysokości H) do techniki GPS. Przygotowane w ten sposób sieci (w tym także osnowy pomiarowe) są podstawą do określania przestrzennego położenia szczegółów sytuacyjnych tachimetrami elektronicznymi.

W produkcji geodezyjnej coraz częściej, z ominięciem wytycznych zawartych w instrukcjach technicznych i bez odpowiednich podstaw teoretycznych, podejmuje się próby jednoczesnego wyznaczania trzech współrzędnych punktów osnowy pomiarowej, przy zastosowaniu tylko total station. Próby te są zrozumiałe, jeśli wziąć pod uwagę koszty i czas pomiaru, a także technologię pomiaru szczegółów (metoda biegunowa). Idealną sytuacją, z praktycznego punktu widzenia, byłaby zatem udokumentowana teoretycznie możliwość zakładania przestrzennych osnów geodezyjnych oraz wyznaczania przestrzennego położenia punktów sytuacyjnych w jednym procesie technologicznym, z zastosowaniem total station. Taki sposób pomiaru jest tym bardziej uzasadniony, że obszar Polski pokryty jest trójwymiarowymi osnowami GPS.

Pomiary sytuacyjne, wykorzystujące tachimetry elektroniczne i metodę biegunową, nie budzą wątpliwości. Natomiast zastosowanie total station do zakładania osnów przestrzennych jest jednak jeszcze sprawą dyskusyjną i wymagającą prowadzenia odpowiednich badań empirycznych. Temu celowi służy niniejsza praca, a jej wyniki potwierdzają możliwość tworzenia jednorodnej pod względem sprzętowym technologii pomiaru (od trójwymiarowej osnowy pomiarowej po przestrzenny pomiar szczegółów).

Podstawy teoretyczne

Idea sieci przestrzennych, mierzonych metodami klasycznymi, nie jest nowa. Podstawy sieci trójwymiarowych przedstawiono już między innymi w pracach (Bruns, 1978; Wolf, 1963a, 1963b). Idea ta nie zyskała jednak szerszego zastosowania, gdyż uzyskiwane teodolitami klasycznymi dokładności pomiaru, głównie kątów pionowych, nie były wystarczające.

Rozwój elektroniki sprawił, że obecnie produkowane teodolity wykorzystują systemy pomiarowe o wysokiej precyzji i niezawodności (np. system dynamiczny, metody: kodowa, inkrementalna itp.). Z drugiej strony, rozwój informatyki umożliwił zastosowanie w instrumentach specjalnego oprogramowania użytkowego, realizującego między innymi: korektę wyników pomiaru ze względu na krzywiznę Ziemi i refrakcję, redukcję odległości skośnych i wprowadzenie poprawek odwzorowawczych. Postęp technologiczny umożliwia zatem uzyskiwanie nie tylko wysokiej dokładności i niezawodności w pomiarach odległości, lecz także w pomiarach kątów poziomych i pionowych. To z kolei zwiększyło dokładności wyznaczania różnic wysokości pomiędzy punktami osnowy geodezyjnej. Uzasadnionym staje się zatem sprawdzenie możliwości wykorzystania total station w zakładaniu trójwymiarowych sieci geodezyjnych. Równania obserwacyjne pomiędzy punktami osnowy przestrzennej zakładanej na niewielkich obszarach możemy przedstawić w następującej postaci:

$$\begin{aligned} d_{i,j} &= (\Delta x_{i,j}^2 + \Delta y_{i,j}^2 + \Delta h_{i,j}^2)^{\frac{1}{2}} \\ K_{i,j} &= \arctg \frac{\Delta y_{i,j}}{\Delta x_{i,j}} + c \\ \alpha_{i,k,j} &= \arctg \frac{\Delta y_{k,i}}{\Delta x_{k,i}} - \arctg \frac{\Delta y_{k,j}}{\Delta x_{k,j}} \\ \beta_{i,j} &= \arctg \frac{\Delta h_{i,j}}{(\Delta x_{i,j}^2 + \Delta y_{i,j}^2)^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (2.1)$$

W zależności (2.1) przyjęto następujące oznaczenia: d – długości przestrzenne, zredukowane do centrów znaków geodezyjnych, K – kierunki poziome, α – kąty poziome, β – kąty pionowe, c – stała orientacji. Natomiast Δx , Δy , Δh oznaczają odpowiednie przyrosty współrzędnych punktów sieci przestrzennej.

Jak wiadomo, przestrzenna sieć geodezyjna jest opisywana zbiorem na ogół niejednorodnych (pod względem geometrycznym i statystycznym) wyników pomiaru, w której np. kąty pionowe są mniej dokładnie pomierzone niż kąty (kierunki) poziome. Odpowiedni w związku z tym dobór wartości błędów średnich pomiaru m_i ($i = 1, \dots, n$; n – liczba obserwacji), a tym samym i wag $p_i = m_0^2 / m_i^2$ wyników pomiaru, przyjętych do wyrównania, ma istotny wpływ na końcowe wyniki oraz na realną ocenę dokładności ostatecznych wyznaczeń (np. wyrównanych parametrów, wyrównanych wyników pomiaru itp.). Rozwój metod obliczeń geodezyjnych, w tym między innymi problematyki lokalnych współczynników wariancji, zaowocował rozwiązaniem i tego problemu (np. Koch, 1990; Wiśniewski, 1989). Idea ta zasadniczo różni się od tradycyjnie wyznaczanego po wyrównaniu jednego globalnego współczynnika m_0^2 , obliczanego z zależności

$$m_0^2 = (\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}) / (n - r) \quad (2.2)$$

gdzie $\mathbf{v}$ – wektor poprawek do wyników pomiaru, $\mathbf{P}$ – macierz wag, r – liczba niewiadomych (parametrów modelu).

Pomiędzy wartościami współczynnika m_0 a wstępnymi ocenami wartości błędów średnich pomiaru m_i istnieją następujące, generalne relacje:

- $m_0 < 1$ – zawyżone wartości błędów średnich,
- $m_0 = 1$ – prawidłowe wartości błędów średnich,
- $m_0 > 1$ – заниżone wartości błędów średnich.

Formuła (2.2) może zatem stanowić podstawę sprawdzenia, czy dobór błędów średnich przyjętych do wagowania wyników był prawidłowy. Ocena taka ma jednak charakter ogólny i w wielu przypadkach może prowadzić do mylnych wniosków (Wiśniewski, 1990).

Innym podejściem, jak już wyżej wspomniano, jest zastosowanie metod umożliwiających wyznaczanie lokalnych (przyporządkowanych jednorodnym grupom obserwacji) współczynników m_{0j}^2 ($j = 1, \dots, k$; k – liczba grup). W niniejszej pracy zaprezentujemy jedną z nich, stanowiącą rozwinięcie metody Hendersona (Wiśniewski, 1989, 1990). Macierz wag, adaptowaną do potrzeb sieci przestrzennych, można tutaj przedstawić w następującej postaci

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} (m_{0d}^2)^{-1} \mathbf{P}_d & & \\ & (m_{0\alpha}^2)^{-1} \mathbf{P}_\alpha & \\ & & (m_{0\beta}^2)^{-1} \mathbf{P}_\beta \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

gdzie, m_{0d}^2 , $m_{0\alpha}^2$, $m_{0\beta}^2$ – lokalne współczynniki, obliczane odpowiednio dla odległości, kątów poziomych i kątów pionowych.

Wyrównanie metodą najmniejszych kwadratów wraz z wyznaczaniem lokalnych współczynników jest realizowane iteracyjnie (Wiśniewski, 1989). Proces iteracyjny podlega zatrzymaniu, gdy wektor lokalnych współczynników

$$\hat{\lambda}^{(j)} = [m_{0d}^2, m_{0\alpha}^2, m_{0\beta}^2]^T = [1, 1, 1]^T$$

(w granicach dokładności obliczeń numerycznych). Uzyskana w drodze takiej iteracji macierz wag jest parametrem realnym i na ogół odpowiada faktycznie uzyskanej dokładności pomiaru (przynajmniej w wyróżnionych grupach).



IRIS

a scitex company

ul. Wiśniowa 36
02-520 Warszawa
telefon:
(48 22) 627-42-50
telefon/fax:
(48 22) 627-42-51

interrenoma

OFERUJE NAJWYŻSZEJ ŚWIATOWEJ KLASY
URZĄDZENIA WSPOMAGAJĄCE PRACĘ
GEODEZYJNE, KARTOGRAFICZNE I WYDAWNICZE.
OTO NIEKTÓRE Z NICH:

DRUKARKI KOLOROWE IRIS

W FORMATACH OD A3 DO A0 I ROZDZIELCZOŚCI 300/1800 DPI

SKANERY SMART

O FORMATACH OD 358 X 500 mm DO 838 X 1117 mm

NAŚWIETLARKI DOLEW

W FORMATACH OD 358 X 500 mm DO 838 X 1117 mm

DEDYKOWANE STACJE ROBOCZE

BRISQUE, BLAZE I WISPER

KAMERY CYFROWE

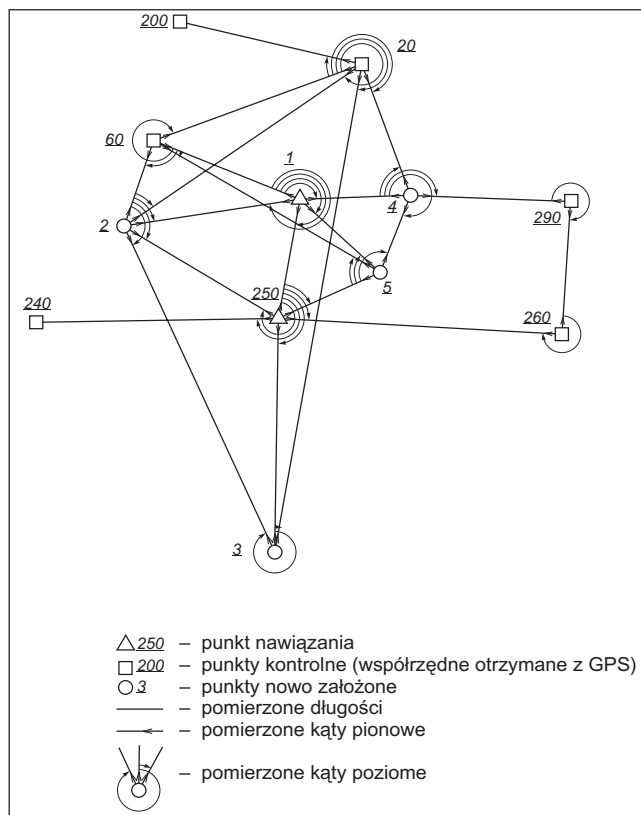
internet: <http://www.zigzag.pl/renoma> e-mail: renoma@zigzag.pl

Eksperymenty empiryczne

Proponowaną technologię zakładania i wyrównywania przestrzennych sieci geodezyjnych testowano w kilku wariantach, na przykładzie rzeczywistej trójwymiarowej osnowy doświadczalnej, przedstawionej na rysunku 1. Należy dodać, że wszystkie obserwacje przyjęte do wyrównania podlegały niezbędnym w tym zakresie redukcjom (Duchnowski, Kamiński, Świątek, 1998). Zaprojektowana sieć liczy 12 punktów, z których dwa przyjęto jako punkty nawiazania. Współrzędne punktów 1, 20, 60, 200, 240, 250, 260, 290 wyznaczono za pomocą techniki satelitarnej GPS. Punkty o numerach 1 i 250 posłużyły jako punkty nawiazania geodezyjnego, pozostałe zaś potraktowano jako punkty kontrolne. Wyznaczono także wysokości normalne (H^N) wyżej wymienionych punktów za pomocą niwelacji precyzyjnej. Uzupełniając geometrię sieci zaprojektowano dodatkowo 4 punkty o numerach 2, 3, 4, 5. Długości boków w sieci doświadczalnej wynoszą od 100,396 m (bok 1-5) do 1156,456 m (bok 20-3). Maksymalna wartość pomierzonego kąta pionowego wyniosła $5^{\circ}43'89''$ na boku pomiędzy punktami 4 i 20. Pozostałe kąty pionowe nie przekraczają 3° . Pomiary elementów sieci wykonano zintegrowanymi tachimetrami elektronicznymi Leica TC1000 i Leica TC2002. Wyrównania przeprowadzono metodą najmniejszych kwadratów z uwzględnieniem opisaną wcześniej metody oceny lokalnych współczynników wariancji. Do wstępnego wagowania przyjęto następujące wartości błędów średnich (na podstawie danych z instrukcji obsługi tachimetrów):

- TC1000: $m_d = 3 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km}$, $m_\alpha = m_\beta = 9''$,
- TC2002: $m_d = 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km}$, $m_\alpha = m_\beta = 1,5''$.

Wyrównanie sieci przeprowadzono zgodnie z powyższymi zasadami, a ostateczne wartości wyrównanych współrzędnych punktów otrzymanych z pomiaru GPS, niwelacji precyzyjnej oraz z pomiaru tachimetrami zestawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Trójwymiarowa osnowa doświadczalna

Błędy średnie wyrównanych współrzędnych, m_x , m_y , m_H jak również błędy położenia punktów $m_p^* = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$ oraz $m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_H^2}$ zestawiono w tabeli 2.

Nr punktu	GPS			Niwelacja precyzyjna	TC1000 TC2002		
	X	Y	H^N		X	Y	H^N
20	90 077,862	34 032,476	128,256	128,261	90 077,870 90 077,866	34 032,473 34 032,471	128,244 128,243
60	89 791,312	34 172,526	124,935	124,937	89 791,328 89 791,323	34 172,507 34 172,510	124,935 124,935
200	89 684,457	34 072,464	122,769	122,767	89 684,458 89 684,454	34 072,452 34 072,470	122,734 122,749
240	89 676,532	34 397,797	114,351	114,352	89 676,525 89 676,525	34 397,813 34 397,804	114,340 114,343
260	90 330,315	34 434,840	105,404	105,397	90 330,318 90 330,319	34 434,835 34 434,833	105,398 105,396
290	90 330,217	34 291,164	107,689	107,686	90 330,215 90 330,218	34 291,151 34 291,150	107,687 107,685
2	—	—	—	—	89 697,983 89 697,982	34 297,191 34 297,195	124,883 124,878
3	—	—	—	—	90 231,089 90 231,100	35 178,423 35 178,423	109,530 109,509
4	—	—	—	—	90 147,582 90 147,583	34 261,605 34 261,602	107,723 107,719
5	—	—	—	—	90 063,238 90 063,237	34 320,106 34 320,107	108,881 108,881

Tabela 1. Ostateczne wartości wyrównanych współrzędnych osnowy doświadczalnej

Nr punktu	TC1000				
	TC2002				
	m_x [m]	m_y [m]	m_p^* [m]	m_H [m]	m_p [m]
20	0,005	0,003	0,006	0,006	0,008
	0,003	0,002	0,004	0,006	0,007
60	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006
	0,001	0,002	0,002	0,004	0,004
200	0,007	0,011	0,013	0,019	0,023
	0,003	0,008	0,008	0,018	0,020
240	0,006	0,008	0,010	0,015	0,018
	0,002	0,006	0,006	0,014	0,015
260	0,004	0,006	0,007	0,006	0,009
	0,001	0,003	0,003	0,006	0,007
290	0,004	0,006	0,007	0,006	0,009
	0,001	0,003	0,003	0,005	0,006
2	0,003	0,004	0,005	0,005	0,007
	0,001	0,002	0,002	0,004	0,004
3	0,014	0,006	0,015	0,018	0,024
	0,008	0,003	0,008	0,016	0,018
4	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005
	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003
5	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003
	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002

Tabela 2. Błędy średnie wyrównanych współrzędnych oraz błędy położenia punktów

TC1000		TC2002	
m	m_0	m	m_0
$m_{d_p} = 4$ [mm]	$m_{0d} = 0,98$	$m_{d_p} = 1$ [mm]	$m_{0d} = 1,00$
$m_{\alpha_p} = 9^{cc}$	$m_{0\alpha} = 1,01$	$m_{\alpha_p} = 5^{cc}$	$m_{0\alpha} = 1,00$
$m_{\beta_p} = 14^{cc}$	$m_{0\beta} = 1,00$	$m_{\beta_p} = 13^{cc}$	$m_{0\beta} = 1,00$
globalne $m_0 = 1,00$		globalne $m_0 = 1,00$	

Tabela 3. Przeciętne wartości błędów średnich z podziałem na grupy

W tabeli 3 zestawiono natomiast przeciętne wartości błędów średnich wyrównanych wyników pomiaru wyznaczonych dla każdej z wymienionych wyżej jednorodnych grup obserwacji (długości – m_{d_p} , kątów poziomych – m_{α_p} , kątów pionowych – m_{β_p}).

Przedstawione w tabelach 1, 2, 3 wyniki wyrównania posłużyły jako materiał wyjściowy do dalszych analiz empirycznych. Przeprowadzono bowiem następujące eksperymenty. Z przedstawionej na rysunku 1 sieci testowej wyodrębniono do dalszych analiz trzy różne warianty osnów, różniące się między sobą geometrią i długościami boków.

Wariant I

Geometrię sieci wraz z orientacyjnymi długościami boków przedstawiono na rysunku 2 (długości podano w zaokrągleniu do metrów).

Wariant II

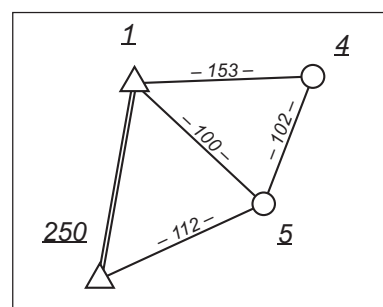
Szkic osnowy trójwymiarowej przyjętej w wariantcie II przedstawia rysunek 3.

Wariant III

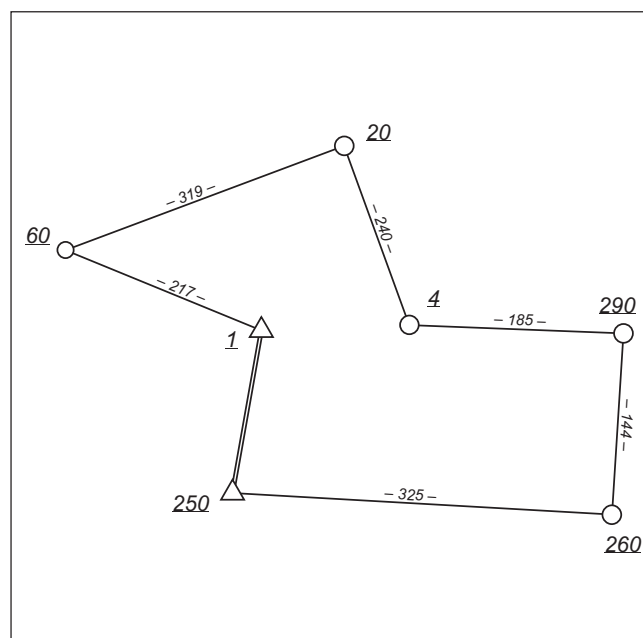
Trójwymiarową sieć geodezyjną przyjętą do analiz w wariantcie III prezentuje rysunek 4.

Wyodrębnione w ten sposób warianty wyrównano podobnie jak całą sieć testową. Wyrównane współrzędne oraz wyniki analizy dokładności wariantu I przedstawiono w tabelach 4 i 5.

Na podstawie wyników wyrównania zestawionych w tabelach 1 i 4 można stwierdzić bardzo wysoką zgodność we współrzędnych przestrzennych obu obliczanych w wariantcie I punktów osnowy trójwymiarowej z wynikami otrzymanymi po wyrównaniu całej sieci (tabela 1). Zwraca tutaj uwagę również fakt, że wyrównane w wariantcie I wysokości punktów 4 i 5 są identyczne z wysokościami otrzymanymi po wyrównaniu jednolitej sieci testowej. Niewielka różnica (4 mm na punkcie 4) istnieje jedynie pomiędzy współrzędnymi otrzymanymi różnymi instrumentami. Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika natomiast wniosek, że



Rys. 2. Geometria sieci – wariant I



Rys. 3. Geometria sieci – wariant II

Nr punktu	TC1000					TC2002				
	X	Y	H ^N			X	Y	H ^N		
	m _x [m]	m _y [m]	m _H [m]	m _p [*] [m]	m _p [m]	m _x [m]	m _y [m]	m _H [m]	m _p [*] [m]	m _p [m]
4	90147,582 0,001	34261,608 0,003	107,723 0,002	0,003	0,004	90147,585 0,001	34261,604 0,002	107,719 0,001	0,002	0,002
5	90063,234 0,002	34320,106 0,001	108,881 0,001	0,002	0,002	90063,237 0,001	34320,107 0,001	108,881 0,001	0,001	0,002

Tabela 4. Analiza dokładności wariantu I

TC1000		TC2002	
m	m ₀	m	m ₀
m _{d_p} = 1 [mm]	m _{0d} = 0,98	m _{d_p} = 1 [mm]	m _{0d} = 1,01
m _{α_p} = 12 ^{cc}	m _{0α} = 1,01	m _{α_p} = 6 ^{cc}	m _{0α} = 0,99
m _{β_p} = 8 ^{cc}	m _{0β} = 1,00	m _{β_p} = 3 ^{cc}	m _{0β} = 1,00
globalne m ₀ = 1,00		globalne m ₀ = 1,00	

Tabela 5. Analiza dokładności wariantu I

TC1000		TC2002	
m	m ₀	m	m ₀
m _{d_p} = 2,4 [mm]	m _{0d} = 1,00	m _{d_p} = 0,9 [mm]	m _{0d} = 1,00
m _{α_p} = 2 ^{cc}	m _{0α} = 0,99	m _{α_p} = 8 ^{cc}	m _{0α} = 0,99
m _{β_p} = 17 ^{cc}	m _{0β} = 1,00	m _{β_p} = 11 ^{cc}	m _{0β} = 1,00
globalne m ₀ = 1,00		globalne m ₀ = 1,00	

Tabela 6. Analiza dokładności wariantu II

TC1000		TC2002	
m	m ₀	m	m ₀
m _{d_p} = 1,2 [mm]	m _{0d} = 1,01	m _{d_p} = 1,1 [mm]	m _{0d} = 0,99
m _{α_p} = 3 ^{cc}	m _{0α} = 0,99	m _{α_p} = 3 ^{cc}	m _{0α} = 0,99
m _{β_p} = 20 ^{cc}	m _{0β} = 1,00	m _{β_p} = 20 ^{cc}	m _{0β} = 1,00
globalne m ₀ = 1,00		globalne m ₀ = 0,99	

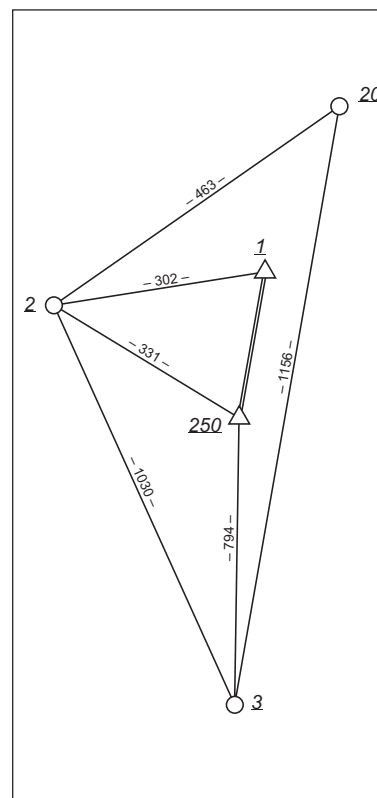
Tabela 7. Analiza dokładności wariantu III

w rozpatrywanym wariantcie, a więc w osnowie, w której długości boków wynoszą od 100 m do 150 m, kąty pionowe mierzone są z mniejszym błędem średnim niż kąty poziome. Stąd wniosek ogólny, że pomiar kątów (kierunków) poziomych powinien odbywać się w większej liczbie serii. Istotnym, wynikającym z tabeli 4 i 5, jest również fakt, że w tego typu pracach geodezyjnych (osnowy służące do pomiarów sytuacyjno-wysokościowych związanych z tworzeniem map wielkoskalowych) nie jest konieczne stosowanie tachimetrów o bardzo wysokich dokładnościach nominalnych pomiaru (jak np. TC2002), gdyż podobne rezultaty można osiągnąć instrumentami o niższych dokładnościach. Wariant II różnił się od wariantu I geometrią osnowy, a także

wysokiej dokładności wyznaczenia wysokości punktów. Otrzymano bowiem:

$$m_H \in \langle 0,004 \text{ [m]}; 0,009 \text{ [m]} \rangle$$

Ciekawe wnioski wynikają z analizy wyników dokładności (tabela 6). Wyraźnie widać, że kąty pionowe pomierzone są tutaj z większym błędem średnim niż kąty poziome. Wariant III, jak pokazano na rysunku 4, charakteryzuje się odmienną od wariantów I i II geometrią oraz długościami boków (od 302 m do 1156 m). Otrzymane wyrównane współrzędne [pomijamy je – przyp. red.] wykazują, podobnie jak poprzednio analizowane warianty, wysokie zgodności z wynikami uzyskanymi po wyrównaniu podstawowym (tabela 1). Dotyczy to również wysokości punktów.



Rys. 4. Geometria sieci – wariant III

długościami celowych, które wynosiły tutaj od 144 m do 325 m. Uzyskane z wyrównania współrzędne punktów [pomijamy je – przyp. red.] wykazują podobnie jak w wariantcie I dużą zgodność ze współrzędnymi przedstawionymi w tabeli 1. Zwrócić należy także uwagę na fakt

Na podstawie rezultatów wyrównania wariantu II (tabela 6) oraz wyników przedstawionych w tabeli 7 zwraca uwagę fakt, że w sieciach trójwymiarowych o długich bokach dokładność pomiaru kątów pionowych jest znacznie gorsza od dokładności pomiaru kątów poziomych. Wydaje się, że przyczynę uzyskiwanych wartości m_{β_p} należy upatrywać głównie w błędach celowania. Wypływający stąd wniosek ogólny sugeruje wykonywanie pomiaru kątów pionowych (w tego typu osnowach przestrzennych) w większej liczbie serii.

Uwagi końcowe

Podstawowym celem niniejszej pracy było przedstawienie możliwości zakładania trójwymiarowych osnów geodezyjnych tachimetrami elektronicznymi i jednocześnie zaproponowanie formy opracowania (wyrównania) wyników obserwacji.

Z przedstawionych analiz wynika, że otrzymano bardzo wysokie zgodności wszystkich trzech współrzędnych (X , Y , H), uzyskanych z pomiaru tachimetrami Leica TC1000 i Leica TC2002 ze współrzędnymi uzyskanymi za pomocą GPS. W analizowanej sieci i wyodrębnionych z niej trzech wariantach otrzymano tym samym wysokie dokładności przestrzennego położenia punktów osnowy. Maksymalną wielkość $m_p = 0,027$ [m] dla punktu 3 otrzymano tachimetrem Leica TC2002 w wariancie III. Zwraca tutaj uwagę również fakt, że w pracach geodezyjnych, niezbędnych w procesie zakładania osnów przestrzennych, nie jest konieczne stosowanie tachimetrów o bardzo wysokich dokładnościach nominalnych pomiaru. Podobne wyniki ostatecznych wyznaczeń osiągnąć bowiem można instrumentami o dokładnościach nieco mniejszych (przy zastosowaniu proponowanej w niniejszej pracy technologii wyrównania).

Na podstawie przeprowadzonych badań nie można jednak negować dokładności nominalnych tachimetrów określonych w instrukcjach obsługi. W odpowiednich warunkach (np. krótkie celowe, wymuszone centrowanie, pomiary wykonane w większej liczbie serii) można uzyskać wartości błędów średnich zbliżone do wielkości podanych przez producentów sprzętu. Jakkolwiek należy jeszcze przeprowadzić dalsze badania empiryczne obejmujące inne obszary opracowania, odmienną geometrię sieci oraz wykorzystać różne (pod względem dokładności nominalnych) tachimetry elektroniczne, to na obecnym etapie można już zarekomendować instrumenty total station do zakładania trójwymiarowych sieci geodezyjnych.

Praca została opracowana w ramach grantu KBN nr T12E 01609 „Koncepcja przestrzennych osnów geodezyjnych zakładanych za pomocą total station inawianych do trójwymiarowych sieci GPS”

Literatura:

1. Bruns H., 1978, *Die Figur der Erde, ein Beitrag zur europäischen Gradmessung*, Berlin;
2. Duchnowski R., Kamiński W., Świątek K., 1998, *Three-dimensional geodetic control network tied to GPS stations* (praca wysłana do ZfV);
3. Koch K. R., 1990, *Bayesian inference with geodetic applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg;
4. Wiśniewski Z., 1989, *Estimation of local variance coefficients in adjustment of geodetic networks*, Bolletino di Geodesia e Scienze Affini, No 2;
5. Wiśniewski Z., 1990, *Estymacja lokalnych (m_{σ}^2) po wyrównaniu sieci kątowno-liniowych*, „Geodezja i Kartografia”, t. XXXIX, 15;
6. Wolf H., 1963a, *Dreidimensionale Geodasie Herkunft, Methodik und Zielsetzung*, ZfV, 88, 109;
7. Wolf H., 1963b, *Die Grundgleichungen der Dreidimensionalen Geodasie in elementarer Darstellung*, ZfV, 88, 225.





**Europejski lider
nowoczesnych
znaków kotwicznych
i akcesoriów geodezyjnych**



- ◆ niezniszczalność granitu
- ◆ precyzja
- ◆ trwałość zakotwiczenia
- ◆ mały ciężar
- ◆ wygoda transportu (noszenia)
- ◆ łatwość i szybkość osadzania w każdym gruncie (tylko kilka uderzeń młotkiem!)
- ◆ niezależność geodety od kilofów i łopat

praktyczne opakowanie do przenoszenia głowic

MERKUR POLSKA
Romuald Sadowski
ul. Krakowska 11
43-300 Bielsko-Biała
tel./faks (0 33) 14-34-72

worek i pas do noszenia znaków



pojemnik do noszenia narzędzi i znaków

