

**KRYTERIA ZAKŁADANIA POZIOMYCH
OSNÓW POMIAROWYCH W DOBIE
POWSZECHNEGO STOSOWANIA
TACHIMETROW ELEKTRONICZNYCH ***

Stanisław Latoś, Edward Preweda

Katedra Informacji o Terenie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Słowa kluczowe: poziome sieci geodezyjne, analizy dokładności, tachimetr elektroniczny.

Abstrakt

W pracy przedstawiono wyniki badań empirycznych nad ustaleniem wielkości dopuszczalnych kryteriów dokładnościowych, jakie powinny spełniać mierzone kąty w sieciach stosowanych do wyznaczenia położenia punktów osnów pomiarowych. Badania przeprowadzono przy ustalonym, realnym do osiągnięcia w praktyce, błędzie pomiaru długości dla wybranych konstrukcji poligonowych, o kształcie i wymiarach geometrycznych oraz liczbie boków w tworzących je ciągach wynoszących 3, 6 i 9. Długości boków były równe odpowiednio: 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 i 0,6 km. Punktem wyjścia powyższych analiz było zapewnienie wyznaczenia położenia punktów tych osnów z błędem nie przekraczającym ± 3 cm.

ESTABLISHMENT OF NETWORKS WITH THE UNIVERSAL APPLICATION
OF TOTAL STATIONS

Stanisław Latoś, Edward Preweda

Chair of Land Information Faculty of Mine Surveying Science and Environment Engineering
University of Mining and Metallurgy in Kraków

Key words: horizontal minor control, precision analysis, total station.

* Praca powstała w ramach projektu badawczego KBN Nr 9 T12E 014 08.

Abstract

The study presents the results of some empirical research on the determination of the required precision of angles measured in networks applied to mark position of control points. The investigations were conducted according to the defined error of the length measure, obtainable in practice, for the selected traverse structures of the size, geometric dimensions and the number of sides in a sequence of constituent parts being 3, 6 and 9. The sides are of the following lengths: 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 and 0.6 km respectively. The analysis was based on the presumption that the error in the determination of the position of the networks would not exceed ± 3 cm.

1. Wprowadzenie

Coraz powszechniejsze stosowanie w produkcji geodezyjnej nowoczesnego sprzętu i technik pomiarowych oraz wymagania stawiane pozyskiwanym za ich pomocą informacjom o terenie, stwarzają konieczność weryfikacji i zmian dotychczas stosowanych technologii, głównie od strony ich funkcjonalności oraz zapewnienia większej niż dotychczas dokładności pozyskiwanych informacji. Wymaga to wprowadzenia określonych zmian, zarówno w strukturze, technologii, kryteriach dokładnościowych poziomych osnów geodezyjnych, na podstawie których informacje te są pozyskiwane, jak i samej technologii pozyskiwania danych.

W praktyce, do prowadzenia typowych prac geodezyjno-kartograficznych, za uzasadniony należy uznać dotychczasowy podział poziomych osnów geodezyjnych na: podstawowe, szczegółowe i pomiarowe. O ile zabiegi techniczne nad osnowami najwyższej klasy, mające na celu podniesienie ich wartości technicznej, są prowadzone systematycznie i z dużym sukcesem, o tyle sprawa realizacji osnów niższych klas, głównie pomiarowych, wymaga rozpatrzenia – zarówno od strony ich struktury, kształtu i wymiarów geometrycznych, jak i technologii oraz kryteriów ich zakładania – w aspekcie zagwarantowania przez nie dokładności wymaganej od pozyskiwanych na podstawie ich punktów informacji na potrzeby tworzonego w Polsce SIT, w różnych jego warstwach tematycznych i dla różnych celów. Należy ustalić, na jakim poziomie powinna kształtować się dokładność tych informacji.

2. Uwarunkowania dotyczące struktury, konstrukcji i dokładności osnów pomiarowych

Spośród wszystkich prac geodezyjnych, których wyniki będą wykorzystywane w praktyce, za najistotniejsze należy uznać pozyskiwanie danych do tworzenia ewidencji gruntów, jako załączka wielozadaniowego katastru gruntów i budynków o szerokim zakresie zastosowań i zadań w gospodarce kraju, ale o zróżnicowanym stopniu dokładności tych danych. Dane nie-

zbędne do ochrony interesów majątkowych stron obrotu nieruchomościami, a więc elementy określające położenie punktów granicznych, należy pozyskiwać z największą dokładnością, ale realną do osiągnięcia przy stosowaniu ogólnie dostępnych przyrządów i technik pomiarowych. Spróbujmy ustalić rząd tej dokładności.

Według opinii większości rzeczoznawców prowadzących wycenę nieruchomości gruntowych, wyznaczenie współrzędnych punktów granicznych wycenianych działek powinno być dokonane z dokładnością pozwalającą na określenie na ich podstawie wielkości pól powierzchni działek z odchyleniem standardowym rzędu 0.5% pola powierzchni.

Z rozmów przeprowadzonych z wykonawcami prac rozgraniczeniowych, scaleniowych i podziałowych wynika, że zainteresowane strony uznają za zadowalające wyznaczenie punktów granicznych z błędem położenia na poziomie ± 5 cm. Przy założeniu równości wariancji

$$V_x = V_y = V(X_{gr(X,L)}) \quad (1)$$

gdzie

$V(X_{gr(X,L)})$ jest wariancją wyznaczoną z uwzględnieniem błędności punktów nawiązania i dokładności pomiaru, oznacza to, że maksymalna wariancja $V(X_{gr(X,L)})_{\max}$ nie może przekroczyć wartości $12,5 \text{ cm}^2$.

$$V(X_{gr(X,L)})_{\max} \leq 12.5 \quad (2)$$

Ze względu na założenie (1), spełnienie warunku (2) oznaczać będzie zapewnienie wymaganej dokładności wyznaczenia położenia wszystkim punktom granicznym. Przyjmując kryterium (2) rozpatrzmy, na jakim poziomie powinna kształtować się dokładność osnowy pomiarowej oraz dokładność pomiaru szczegółów.

Macierz kowariancji $\mathbf{Cov}(X_{gr})$ dla współrzędnych punktów granicznych określimy zgodnie z prawem przenoszenia się kowariancji. Przyjmijmy, że kowariancje pomiędzy elementami wyznaczającymi punkty graniczne (kowariancje fizyczne) są równe zeru oraz że współrzędne punktów osnowy pomiarowej i elementy wyznaczające są niezależne, czyli

$$\mathbf{Cov}(X, L) = \mathbf{Cov} \begin{pmatrix} X \\ L \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Cov}(X) & 0 \\ 0 & \mathbf{Cov}(L) \end{bmatrix} \quad (3)$$

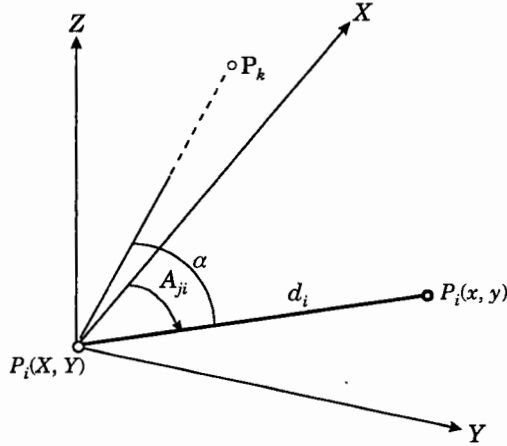
Ponieważ punkty graniczne wyznaczone są często bez obserwacji nadliczbowych (np. metodą biegunową), macierz kowariancji $\mathbf{Cov}(X_{gr})$, możemy wyznaczyć z zależności

$$\mathbf{Cov}(X_{gr}) = \mathbf{F}^T \mathbf{Cov}(X_{osn}, L) \mathbf{F} \quad (4)$$

gdzie \mathbf{F} jest macierzą utworzoną z pochodnych cząstkowych funkcji wyznaczających punkty graniczne.

Rozpatrzmy, jaką postać będzie miała macierz F w przypadku najczęściej stosowanej w praktyce w pomiarach szczegółowych metody biegunowej.

Zgodnie z rysunkiem 1, współrzędne i -tego punktu granicznego są wyznaczane z zależności



Rys. 1.

$$\begin{aligned} x_i &= X_j + d_i \cos A_{ji} \\ y_i &= Y_j + d_i \sin A_{ji} \end{aligned} \quad (5)$$

Dla punktu P_i macierz F_i przyjmie postać

$$F_i = [F_{x_i} \quad F_{y_i} \quad F_{z_i}] \quad (6)$$

przy czym

$$F_{x_i} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_i}{\partial X_j} = 1 - d_i \sin A_{ji} \frac{\sin A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial Y_j} = d_i \sin A_{ji} \frac{\cos A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial X_k} = d_i \sin A_{ji} \frac{\sin A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial Y_k} = -d_i \sin A_{ji} \frac{\cos A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial \alpha_i} = d_i \sin A_{ji} \\ \frac{\partial x_i}{\partial d_i} = \cos A_{ji} \end{bmatrix} \quad F_{y_i} = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_i}{\partial X_j} = d_i \cos A_{ji} \frac{\sin A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial Y_j} = 1 - d_i \cos A_{ji} \frac{\cos A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial X_k} = -d_i \cos A_{ji} \frac{\sin A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial Y_k} = d_i \cos A_{ji} \frac{\cos A_{jk}}{d_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial \alpha_i} = -d_i \sin \varphi_i \cos A_{ji} \\ \frac{\partial y_i}{\partial d_i} = -d_i \cos A_{ji} \end{bmatrix} \quad (7)$$

lub

$$\mathbf{F}_{x_i} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_i}{\partial X_j} = 1 - d_i \sin A_{ji} \frac{\Delta Y_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial Y_j} = d_i \sin A_{ji} \frac{\Delta X_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial X_k} = d_i \sin A_{ji} \frac{\Delta Y_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial Y_k} = -d_i \sin A_{ji} \frac{\Delta X_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial x_i}{\partial \alpha_i} = d_i \sin A_{ji} \\ \frac{\partial x_i}{\partial d_i} = \cos A_{ji} \end{bmatrix} \quad \mathbf{F}_{y_i} = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_i}{\partial X_j} = d_i \cos A_{ji} \frac{\Delta Y_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial Y_j} = 1 - d_i \cos A_{ji} \frac{\Delta X_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial X_k} = -d_i \cos A_{ji} \frac{\Delta Y_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial Y_k} = d_i \cos A_{ji} \frac{\Delta X_{jk}}{d^2_{jk}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial \alpha_i} = -d_i \cos A_{ji} \\ \frac{\partial y_i}{\partial d_i} = -d_i \cos A_{ji} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Jeżeli przy wyznaczaniu punktów granicznych będą występować obserwacje nadliczbowe, to model matematyczny w części stochastycznej będzie miał postać jak w równaniu (3), natomiast część funkcjonalna będzie wyrażona przez równania poprawek typu

$$\varepsilon = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{l} \quad (9)$$

Macierz kowariancji $\text{Cov}(X_{gr})$ będzie w tym przypadku wyrażona zależnością

$$\text{Cov}(X_{gr}) = \sigma^2 (\mathbf{A}^T \text{Cov}(X_{osn}, L)^{-1} \mathbf{A})^{-1} \quad (10)$$

gdzie:

\mathbf{A} – macierz współczynników układu równań obserwacyjnych,
 σ^2 – wariancja resztowa.

W dotychczasowej praktyce geodezyjnej zakłada się najczęściej bezbłądność punktów nawiazania, czyli w rozważanym zagadnieniu – bezbłądność punktów osnowy pomiarowej. Na podstawie wyników analiz typowych konstrukcji stosowanych w produkcji do pomiaru szczegółów sytuacyjnych oceniamy, że przy takim założeniu położenie punktów granicznych można wyznaczyć z dokładnością co najmniej rzędu ± 3 cm. Maksymalna wariancja nie przekracza w tym przypadku wartości 5 cm^2 , czyli

$$V(V_{gr}(L))_{\max} \leq 5 \quad (11)$$

Ponieważ zamierzamy uwzględnić dokładność punktów nawiazania, musimy ustalić, na jakim poziomie powinna kształtować się maksymalna wartość wariancji osnowy pomiarowej $V(X_{osn})_{\max}$, aby było spełnione kry-

terium (2). Korzystając z tego, że współrzędne punktów osnowy pomiarowej i elementy wyznaczające położenie punktów granicznych są niezależne, na podstawie warunku (2) oraz zależności (11) można oszacować, że maksymalna wartość wariancji osnowy pomiarowej $V(X_{osn})_{max}$ nie powinna przekroczyć 7–8 cm². Oznacza to, że punkty osnowy pomiarowej nie mogą być obciążone błędem położenia większym niż ±3–4 cm.

Aby spełnić ww. postulat, osnowa pomiarowa powinna spełniać określone warunki, zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i kryteriów pomiaru jej elementów wyznaczających.

Zwążywszy, że osnowy pomiarowe będą powszechnie oparte na punktach istniejących w terenie osnów szczegółowych, wyznaczanych na podstawie wyników bezpośrednich pomiarów geodezyjnych lub metodą satelitarną, ich dokładność szacuje się na ok. 2–5 cm. Z wcześniej przedstawionych rozważań wynika, że w przypadku klasycznych pomiarów geodezyjnych struktura oraz konstrukcje osnów pomiarowych, a także pomiar elementów wyznaczających te osnowy powinny ograniczyć te wielkości do co najmniej 4 cm. Aby wszystkim punktom granicznym wyznaczanym z osnowy pomiarowej zapewnić dokładność 5 cm, maksymalny błąd położenia punktów osnowy pomiarowej należy ograniczyć do 3 cm, i to przy założeniu, że osnowy pomiarowe będą 2-rzędowe, zamiast dopuszczalnych obecnie przez instrukcję G-4 3-rzędowych.

Osnowy 1. rzędu powinny być rozwiązywane głównie jako sieci kąto- -liniowe, realizowane w postaci najprostszyc konstrukcji geodezyjnych, jak: pojedyncze ciągi poligonowe dwustronnie nawiązane, ich najwyżej kilkuwęzłowe układy, pojedyncze punkty lub niewielkie ich grupy, wyznaczone różnego rodzaju wcięciami geodezyjnymi lub metodą domiarów. Obecnie w sporadycznych przypadkach położenie tych punktów może być wyznaczane techniką satelitarną. Wzajemne odległości punktów tych osnów powinny być od ok. 50 do 300 m, w zależności od warunków terenowych oraz projektowanej technologii pomiarów szczegółowych i rodzaju przewidywanego do stosowania sprzętu pomiarowego. Najbardziej istotnym problemem jest ustalenie kryteriów konstrukcyjnych tych sieci i pomiar ich elementów z takim odchyleniem standardowym, aby błąd wyznaczenia położenia punktów sieci nie przekroczył wymaganej wielkości, ustalonej na ±3 cm.

Poziomą osnowę pomiarową 2. rzędu mogą tworzyć punkty wyznaczone podobnie jak w sieci 1. rzędu w konstrukcjach nawiązanych do punktów tych osnów lub osnów szczegółowych III klasy, lub osnów klas wyższych, oraz dodatkowo zespoły trwale stabilizowanych punktów granicznych nieruchomości gruntowych lub też łatwych do identyfikacji w terenie elementów naziemnych urządzeń infrastruktury podziemnej, wyznaczone powszechnie metodą biegunową z punktów wyższych klas i rzędów. Pod względem geometrycznym mogą to być punkty najprostszyc konstrukcji geodezyjnych o charakterze liniowym (ciągi poligonowe lub ich proste

układy) i punktowym (różnego rodzaju wcięcia geodezyjne) lub najczęściej zespoły punktów rozproszonych o standardzie zagęszczenia terenu punktami tej osnowy zależnym od stopnia rozdrobnienia działek i przewidywanej intensywności ich podziałów oraz rodzaju i liczby naziemnych elementów uzbrojenia podziemnego terenu.

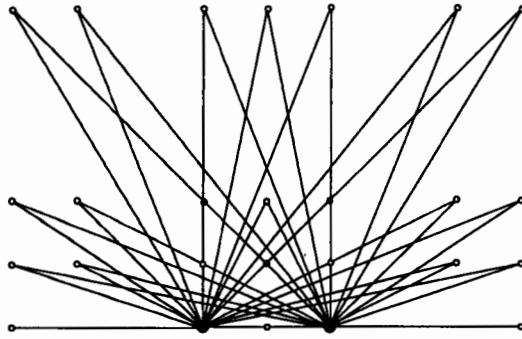
3. Ustalenie kryteriów pomiaru elementów wyznaczających osnowy pomiarowe

Podczas zakładania osnów pomiarowych mogą być stosowane wszystkie znane technologie z zakresu wyznaczania położenia punktów, oparte na bezpośrednich pomiarach geodezyjnych, o konstrukcji sieci i jej zasięgu uzależnionym od warunków terenowych, stopnia zagęszczenia terenu punktami osnowy geodezyjnej oraz przewidywanej technologii pomiaru szczegółów terenowych. Do tego celu mogą być również stosowane techniki satelitarne. Wybór jednej z nich jest zawsze uzależniony od posiadanego sprzętu pomiarowego, ww. uwarunkowań oraz kosztów założenia nie tylko osnowy, ale również wykonania całości prac opartych na punktach rozpastrywanej osnowy.

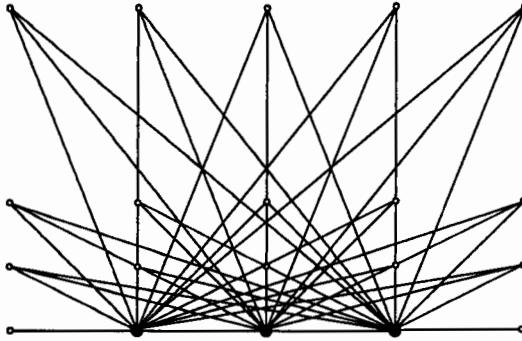
Niezależnie od tego wyboru, każda z wybranych technologii powinna zapewnić uzyskanie założonej dokładności wyznaczenia położenia punktów realizowanej osnowy, dostosowanej do wymogów stawianych systemom informacji o terenie, dla którego informacje te będą pozyskiwane na podstawie pomiarów opartych na tych punktach.

Z rezultatów badań przedstawionych w wielu publikacjach na temat dokładności metod satelitarnych wynika, że tą metodą można wyznaczać położenie punktów omawianych osnów z błędem od 1 do 3 cm. Z przedstawionych analiz (LATOŚ i in. 1997) wynika, że zbliżoną dokładność można uzyskać w wielowęzłowych sieciach poligonowych, o konstrukcji zbliżonej do przedstawionych w cytowane powyżej pracy, zachowując odpowiedni reżim ich geometrii oraz określone kryteria dokładności pomiaru ich elementów.

Przy zakładaniu osnów pomiarowych, ze względów ekonomicznych i organizacyjnych, powszechne jednak zastosowanie będą miały konstrukcje geodezyjne. Do najprostszych z nich należy zaliczyć wcięcia kątowe, liniowe i kątowno-liniowe pojedynczych punktów. Wykonuje się je realizując konstrukcje geodezyjne w postaci i o wymiarach geometrycznych dostosowanych do warunków terenowych oraz rozmieszczenia w terenie punktów nawiązania. W sposób schematyczny konstrukcje te przedstawiono na rysunkach 2 i 3. W dobie powszechnego stosowania tachimetrów elektronicznych będą to przede wszystkim wcięcia kątowno-liniowe, wykonywane głównie na podstawie dwóch punktów osnowy szczegółowej III klasy, poło-



Rys. 2.



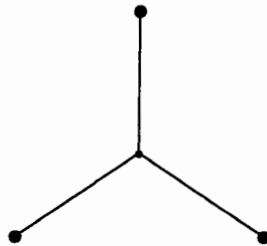
Rys. 3.

żone od siebie w odległości D , uzależnionej od gęstości punktów tej osnowy, która będzie wynosić od 200 do 1500 m.

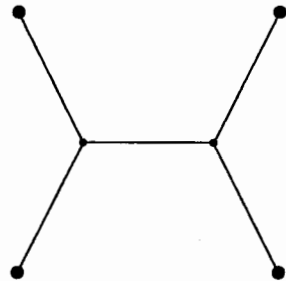
Bardziej skomplikowanymi konstrukcjami, które mogą być stosowane przy wyznaczaniu położenia punktów rozpatrywanych osnow, są najczęściej: pojedynczy ciąg poligonowy dwustronnie nawiązany (rys. 4), o odpowiedniej liczbie i długości boków, oraz najprostsze układy takich ciągów, przedstawione schematycznie na rysunkach od 5 do 7.



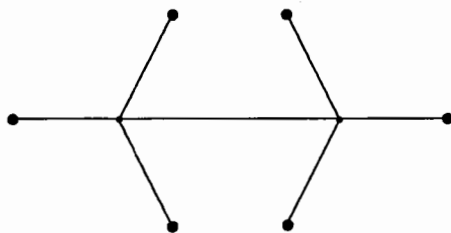
Rys. 4



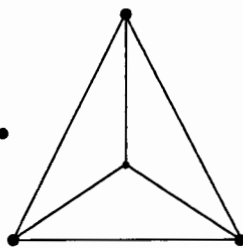
Rys. 5



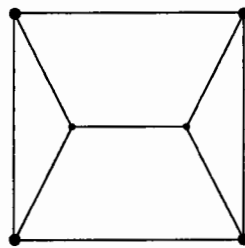
Rys. 6



Rys. 7



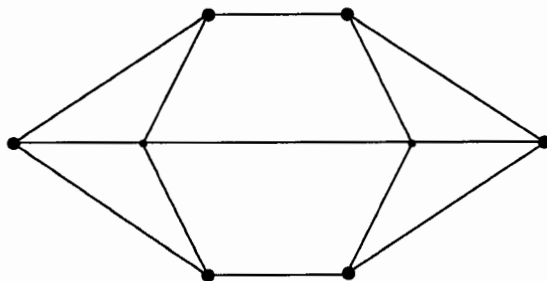
Rys. 8



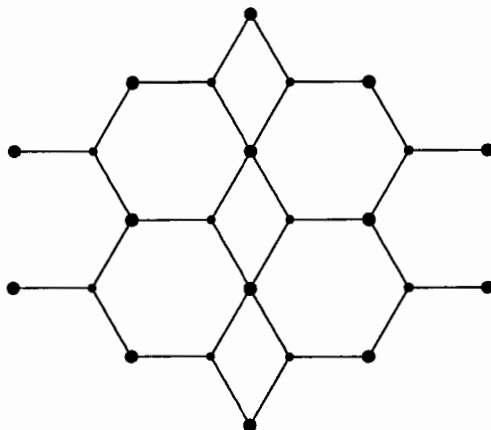
Rys. 9

Zależnie od charakteru i wielkości obiektu, konstrukcje te mogą tworzyć układy przedstawione schematycznie na rysunkach od 8 do 11, które to układy mogą mieć również zastosowanie przy zakładaniu osnów szczegółowych III klasy.

Przedstawione na tych rysunkach odcinki, łączące punkty wyznaczone między sobą lub z punktami nawiązania, symbolizują prostoliniowe ciągi o określonej długości boków i ich liczbie w poszczególnych ciągach.



Rys. 10



Rys. 11

Kryteria dokładnościowe, jakie powinny spełniać elementy mierzone dla wyznaczenia punktów przedstawionych powyżej konstrukcji, zostaną ustalone na podstawie badań empirycznych.

4. Wyniki przeprowadzonych analiz

Aby uzyskać odpowiedź na pytanie: czy i przy jakich uwarunkowaniach przedstawione powyżej konstrukcje mogą spełniać stawiane rozpatrywanym osnowom kryteria co do wartości maksymalnego błędu położenia ich punktów, przeprowadzono wiele analiz dokładnościowych. W analizach przyjęto kształt i wymiary geometryczne konstrukcji, zbliżone do występujących w praktyce, oraz dokładność pomiaru długości, jaką można osiągnąć za pomocą stosowanych aktualnie w produkcji tachimetrów elektronicznych. Analizą, przeprowadzoną za pomocą odpowiednich programów komputerowych (PREWEDA 1997), objęto konstrukcje przedstawione na rysunkach 4–7. Wyniki analiz wcięć, przedstawionych schematycz-

Tabela 1

Table 1

Wyniki badań modelowych ciągów typu U0 $m_{p_{\max}} = \pm 3 \text{ cm}$, $m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$

Results of research on model sequences U0 type $m_{p_{\max}} = \pm 3 \text{ cm}$, $m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$

Typ ciągu	Długość boku (km)	Długość ciągu (km)	Liczba ciągów	Liczba punktów		Obs. nadliczbowych	Odl. pkt. nawiaz. (km)	Oblicz. maks. wart. m_d (")
				nawiaz.	wyznacz.			
U0/3/0,05	0,05	0,15	1	2	2	3	0,15	122
U0/3/0,1	0,1	0,3	1	2	2	3	0,3	42
U0/3/0,2	0,2	0,6	1	2	2	3	0,6	21
U0/3/0,3	0,3	0,9	1	2	2	3	0,9	14
U0/3/0,6	0,6	1,8	1	2	2	3	1,8	7
U0/6/0,05	0,05	0,3	1	2	5	3	0,3	27
U0/6/0,1	0,1	0,6	1	2	5	3	0,6	14
U0/6/0,2	0,2	1,2	1	2	5	3	1,2	7
U0/6/0,3	0,3	1,8	1	2	5	3	1,8	4,5
U0/6/0,6	0,6	3,6	1	2	5	3	3,6	2,3
U0/9/0,05	0,05	0,45	1	2	8	3	0,45	15
U0/9/0,1	0,1	0,9	1	2	8	3	0,9	8
U0/9/0,2	0,2	1,8	1	2	8	3	1,8	4
U0/9/0,3	0,3	2,7	1	2	8	3	2,7	2
U0/9/0,6	0,6	5,4	1	2	8	3	5,4	1,3

nie na rysunkach 1 i 2, są szczegółowo przedstawione w pracy LATOSIA, PREWEDY (1998).

Ostateczne wyniki analiz zestawiono w tabelach od 1 do 4. Graficzną interpretację otrzymanych wyników przedstawiono na wykresach (rys. 12–19).

Tabela 2

Table 2

Wyniki badań modelowych sieci typu U1 $m_{p_{max}} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$
Results of research on model sequences U1 type $m_{p_{max}} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$

Typ ciągu	Długość boku (km)	Długość ciągu (km)	Liczba ciągów	Liczba punktów		Obs. nadliczbowych	Odl. pkt. nawiaz. (km)	Oblicz. maks. wart. m_α (")
				nawiaz.	wyznacz.			
U1/3/0,05	0,05	0,15	3	3	7	4	0,26	140
U1/3/0,1	0,1	0,3	3	3	7	4	0,52	50
U1/3/0,2	0,2	0,6	3	3	7	4	1,04	25
U1/3/0,3	0,3	0,9	3	3	7	4	1,56	16
U1/3/0,6	0,6	1,8	3	3	7	4	3,12	8
U1/6/0,05	0,05	0,3	3	3	16	4	0,52	34
U1/6/0,1	0,1	0,6	3	3	16	4	1,04	17
U1/6/0,2	0,2	1,2	3	3	16	4	2,08	8,5
U1/6/0,3	0,3	1,8	3	3	16	4	3,12	5,5
U1/6/0,6	0,6	3,6	3	3	16	4	6,24	2,9
U1/9/0,05	0,05	0,45	3	3	25	4	0,78	18
U1/9/0,1	0,1	0,9	3	3	25	4	1,56	9
U1/9/0,2	0,2	1,8	3	3	25	4	3,12	4,5
U1/9/0,3	0,3	2,7	3	3	25	4	4,68	2,3
U1/9/0,6	0,6	5,4	3	3	25	4	9,36	1,5

Tabela 3

Table 3

Wyniki badań modelowych sieci typu U2 $m_{p_{max}} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$
Results of research on model sequences U2 type $m_{p_{max}} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$

Typ ciągu	Długość boku (km)	Długość ciągu (km)	Liczba ciągów	Liczba punktów		Obs. nadliczbowych	Odl. pkt. nawiaz. (km)	Oblicz. maks. wart. m_α (")
				nawiaz.	wyznacz.			
U2/3/0,05	0,05	0,15	5	4	12	7	0,26	140
U2/3/0,1	0,1	0,3	5	4	12	7	0,52	50
U2/3/0,2	0,2	0,6	5		12	7	1,04	25
U2/3/0,3	0,3	0,9	5	4	12	7	1,56	16

cd. tabeli 3

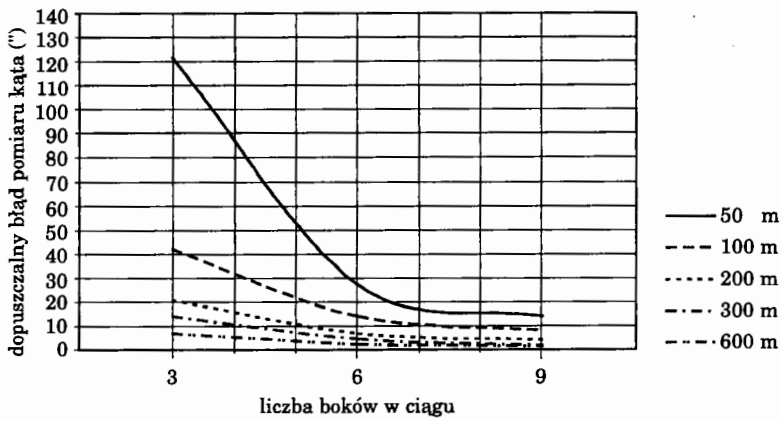
U2/3/0,6	0,6	1,8	5	4	12	7	3,12	8
U2/6/0,05	0,05	0,3	5	4	27	7	0,52	34
U2/6/0,1	0,1	0,6	5	4	27	7	1,04	17
U2/6/0,2	0,2	1,2	5	4	27	7	2,08	8,5
U2/6/0,3	0,3	1,8	5	4	27	7	3,12	5,5
U2/6/0,6	0,6	3,6	5	4	27	7	6,24	2,9
U2/9/0,05	0,05	0,45	5	4	42	7	0,78	18
U2/9/0,1	0,1	0,9	5	4	42	7	1,56	9
U2/9/0,2	0,2	1,8	5	4	42	7	3,12	4,5
U2/9/0,3	0,3	2,7	5	4	4	7	4,68	2,3
U2/9/0,6	0,6	5,4	5	4	42	7	9,36	1,5

Tabela 4

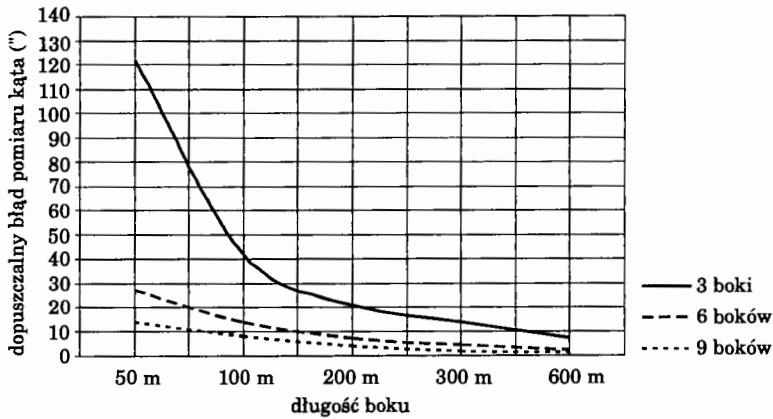
Table 4

Wyniki badań modelowych sieci typu U3 $m_{p_{max}} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$
 Results of research on model sequences U3 type $m_{p_{max}} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$

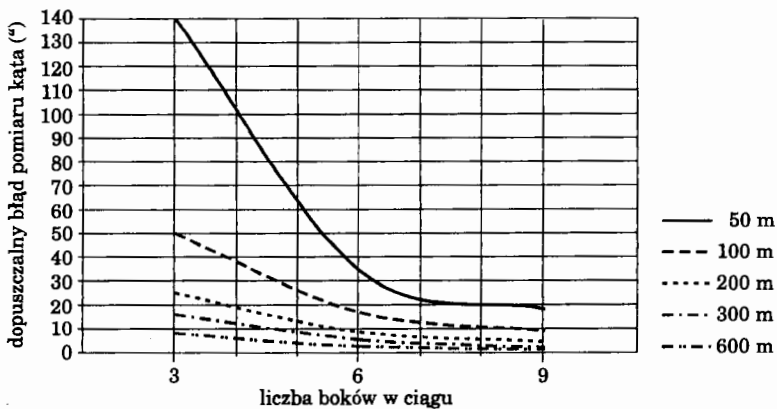
Typ ciągu	Długość boku (km)	Długość ciągu (km)	Liczba ciągów	Liczba punktów		Obs. nadliczbowych	Odl. pkt. nawiaz. (km)	Oblicz. maks. wart. m_d (")
				nawiaz.	wyznacz.			
U3/3/0,05	0,05	0,15	7	6	19	11	0,262	44
U3/3/0,1	0,1	0,3	7	6	19	11	0,52	22
U3/3/0,2	0,2	0,6	7	6	19	11	1,04	11
U3/3/0,3	0,3	0,9	7	6	19	11	1,56	7,2
U3/3/0,6	0,6	1,8	7	6	19	11	3,12	3,6
U3/6/0,05	0,05	0,3	7	6	43	11	0,52	13
U3/6/0,1	0,1	0,6	7	6	43	11	1,04	6,5
U3/6/0,2	0,2	1,2	7	6	43	11	2,08	3,3
U3/6/0,3	0,3	1,8	7	6	43	11	3,12	2,2
U3/6/0,6	0,6	3,6	7	6	43	11	6,24	1,1
U3/9/0,05	0,05	0,45	7	6	67	11	0,78	5,6
U3/9/0,1	0,1	0,9	7	6	67	11	1,56	2,8
U3/9/0,2	0,2	1,8	7	6	67	11	3,12	1,4
U3/9/0,3	0,3	2,7	7	6	67	11	4,68	0,7
U3/9/0,6	0,6	5,4	7	6	67	11	9,36	0,5



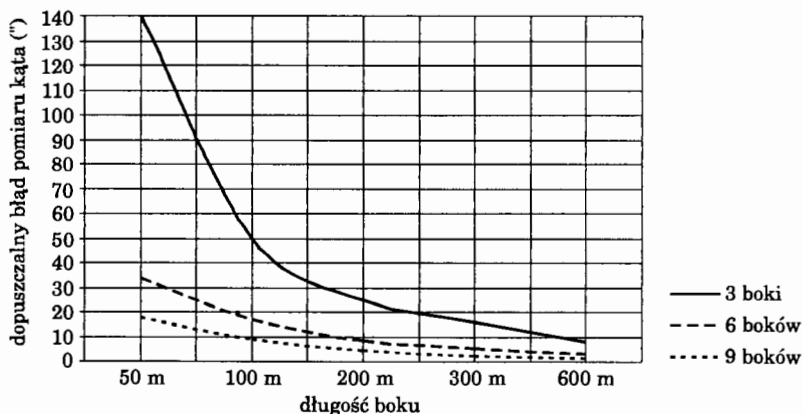
Rys. 12. Zależność błędu pomiaru kątów od liczby boków o stałej długości, w ciągach typu U0
Fig. 12. Relationship between the error of measurement of angles and the number of sides with the fixed length in U0 sequences



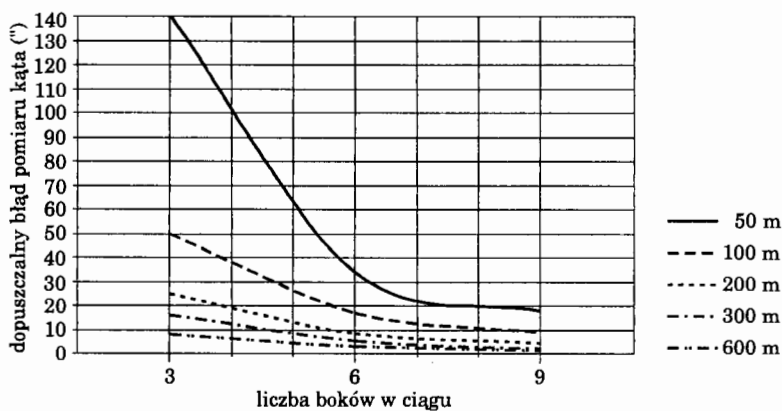
Rys. 13. Zależność błędu pomiaru kątów od długości boków przy stałej ich liczbie, w ciągach typu U0
Fig. 13. Relationship between the error of measurement of angles and the length of sides with the fixed number of sides in U0 sequences



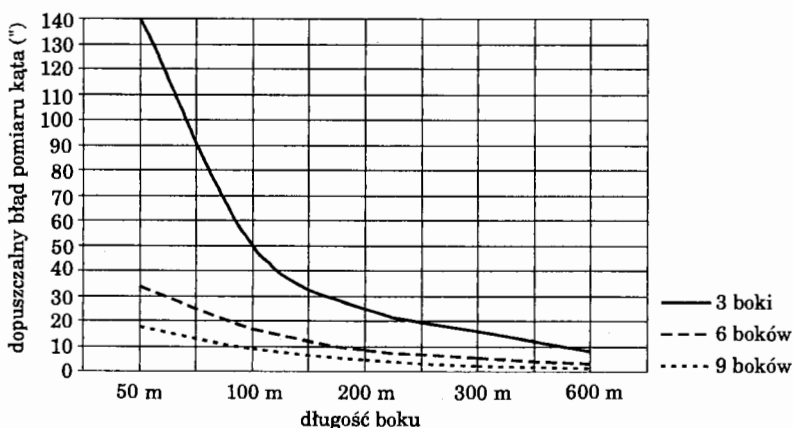
Rys. 14. Zależność błędu pomiaru kątów od liczby boków o stałej długości, w sieciach typu U1
Fig. 14. Relationship between the error of measurement of angles and the number of sides with the fixed length in U1 sequences



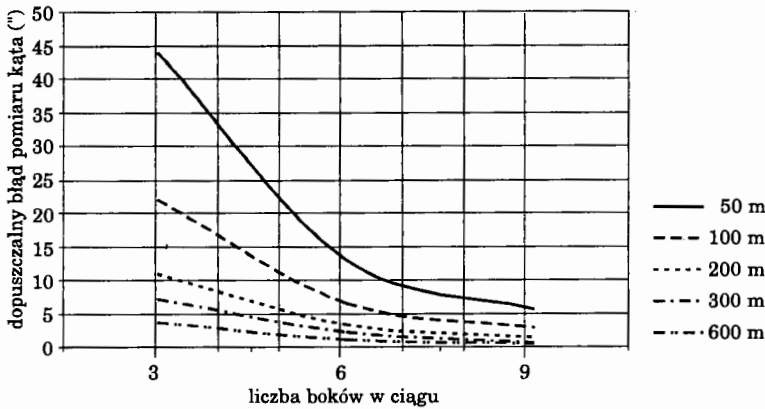
Rys. 15. Zależność błędu pomiaru kątów od długości boków przy stałej ich liczbie, w sieciach typu U1
Fig. 15. Relationship between the error of measurement of angles and the length of sides with the fixed number of sides in U1 sequences



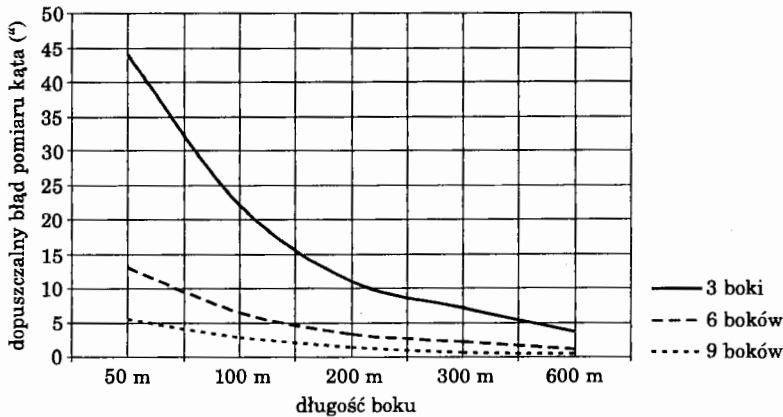
Rys. 16. Zależność błędu pomiaru kątów od liczby boków o stałej długości, w sieciach typu U2
Fig. 16. Relationship between the error of measurement of angles and the number of sides with the fixed length in U2 sequences



Rys. 17. Zależność błędu pomiaru kątów od długości boków przy ich stałej liczbie, w sieciach typu U2
Fig. 17. Relationship between the error of measurement of angles and the length of sides with the fixed number of sides in U2 sequences



Rys. 18. Zależność błędu pomiaru kątów od liczby boków o stałej długości, w sieciach typu U3
Fig. 18. Relationship between the error of measurement of angles and the number of sides with the fixed length in U3 sequences



Rys. 19. Zależność błędu pomiaru kątów od długości boków przy stałej ich liczbie, w sieciach typu U3
Fig. 19. Relationship between the error of measurement of angles and the length of sides with the fixed number of sides in U3 sequences

5. Uwagi końcowe i wnioski

Na podstawie wyników analiz zestawionych w tabelach od 1 do 4 można odpowiedzieć na pytanie, z jaką dokładnością, w konkretnej konstrukcji, należy mierzyć kąty, aby przy założonym błędzie pomiaru długości maksymalny błąd wyznaczenia położenia punktu nie przekroczył ± 3 cm. Wiadomo, że zwiększenie dokładności pomiaru kątów, w stosunku do zestawionych w powyższych tabelach wartości maksymalnych, spowoduje zmniejszenie wartości założonego maksymalnego błędu położenia punktu w rozpatrywanych konstrukcjach.

Przeprowadzone w pracy analizy umożliwiają również wyciągnięcie wniosków ogólniejszych, tj:

- na podstawie wykresów przedstawionych na rysunkach 12, 14, 16 i 18 można odpowiedzieć na pytanie, jaką liczbę boków, o określonej długości i odchyleniu standardowym ± 5 mm, można stosować w rozpatrywanych konstrukcjach oraz z jaką dokładnością mierzyć w danym przypadku kąty, aby maksymalny błąd położenia punktu nie przekroczył założonej wartości ± 3 cm;
- wykresy przedstawione na rysunkach 13, 15, 17, i 19 pozwalają określić długość boków, przy założonej ich liczbie w ciągach i przyjętym odchyleniu standardowym pomiaru długości równym ± 5 mm oraz dokładności pomiaru kątów, aby maksymalny błąd położenia punktu nie przekroczył założonej wartości ± 3 cm.

Na przykład:

- jeżeli w konstrukcjach typu U1 zamierzamy stosować boki o dł. 100 m, przy czym błąd pomiaru kąta określamy na 15", to z rysunku 14 wynika, że rozpatrywaną sieć możemy budować z ciągów zawierających maksymalnie 6 boków;
- jeżeli w konstrukcjach typu U3 zamierzamy stosować 3 boki o dl. 150 m, to na podstawie rysunku 18 błąd pomiaru kąta nie powinien przekroczyć wartości 15";
- jeżeli dysponujemy sprzętem pomiarowym, który pozwala na osiągnięcie pomiaru kąta ok. 20", to w ciągach konstrukcji typu U2 (rys. 16, 17) możemy stosować: 3 boki o dł. 250 m, 4 boki o dl. 200 m, 5 boków o dł. 150 m lub 6 boków o dł. ok. 90 m.

O tym, jaką liczbę boków i jakiej długości można w konkretnym przypadku zastosować, zadecydują uwarunkowania terenowe oraz jakość posiadanego sprzętu pomiarowego.

Przyjęto do druku 1999.02.19

Recenzent prof. dr hab. Zbigniew WIŚNIEWSKI

Piśmiennictwo

References

- Latoś S., Maślanka J., Preweda E. : Analiza dokładności poziomych osnów geodezyjnych zakładanych metodą poligonową z wykorzystaniem tachimetrów elektronicznych. Geodezja, T. 5, AGH, Kraków, 1997
- Latoś S. : Potrzeba i kierunki zmian niektórych kryteriów obowiązujących przepisów pomiarowych w zakresie poziomych osnów geodezyjnych oraz pomiarów sytuacyjnych. Geodezja (w druku), Wyd. AGH, Kraków, 1997
- Latoś S, Preweda E.: Geometryczna interpretacja i własności jednopunktowej oraz globalnej charakterystyki dokładności poziomych sieci geodezyjnych. Geodezja i Urządzenia Rolne, XIV,324, AR, Wrocław, 1997

Latoś S., Preweda E. : Badania nad ustaleniem kryteriów zakładania geodezyjnych osnów pomiarowych. Geodezja, T.4, z.1, AGH, Kraków, 1998

Preweda E. : Ocena dokładności wyznaczenia przestrzennego położenia punktów metodą biegunową. Geodezja, 3, AGH, Kraków, 1997

Zagadnienia optymalizacji sieci geodezyjnych. 1996. Raport BW-2657/ZG/96 opracowany przez R. Kadaję. AR Kraków (maszynopis).

Instrukcja techniczna G-1. Warszawa, 1987.

Instrukcja techniczna G-4. Warszawa, 1981.

Instrukcja techniczna 0-1. Warszawa, 1984.