

Stanisław Latoś *, Edward Preweda *

USTALENIE KRYTERIÓW DOKŁADNOŚCIOWYCH WYZNACZANIA POŁOŻENIA PUNKTÓW POZIOMEJ OSNOWY POMIAROWEJ PRZY WYKORZYSTANIU TACHYMETRÓW ELEKTRONICZNYCH **

1. Wprowadzenie

Pozyskiwanie danych do bazy geometrycznej SIT-u, szczególnie w warstwie ewidencji gruntów, w chwili obecnej w Polsce, odbywa się głównie na podstawie analitycznego opracowania wyników bezpośrednich pomiarów geodezyjnych, prowadzonych w oparciu o punkty poziomej osnowy geodezyjnej szczegółowej, a najczęściej pomiarowej. Położenie tych punktów może być wyznaczone z odpowiednią dokładnością, w zależności od konstrukcji geometrycznej tworzących je sieci oraz ustalonej, możliwej do osiągnięcia w praktyce, dokładności pomiaru ich elementów. W ramach prowadzonych na szeroką skalę analiz dokładnościowych sieci modelowych, zbliżonych kształtem, geometrią i konstrukcją do spotykanych najczęściej w praktyce, tworzonych z elementów mierzonych za pomocą używanych coraz częściej w produkcji tachymetrów elektronicznych [5), [6] i [7], stwierdzono możliwość uzyskania wyznaczenia położenia punktów tych sieci z wysoką dokładnością, przewyższającą często kilkakrotnie wielkość dozwoloną w obowiązujących w tym względzie obecnie instrukcjach pomiarowych [2], [3] i [4]. Powstaje więc potrzeba określenia realnego rzędu dokładności, z jaką należy mierzyć elementy wspomnianych konstrukcji, aby zapewnić możliwość wyznaczenia położenia ich punktów z dokładnością wymaganą w produkcji dla pozyskiwania danych do bazy geometrycznej SIT-u, nie zawsze zgodnej z wymaganiami obowiązujących w tym zakresie w chwili obecnej przepisów pomiarowych. Rozwiązanie tego problemu będzie tematem niniejszej pracy.

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Opracowanie powstało w wyniku prac badawczych prowadzonych w ramach grantu Nr 9 TI2E 014 08

2. Uwarunkowania co do struktury, konstrukcji i dokładności osnów pomiarowych

Bazę geometryczną SIT-u stanowią wszystkie szczegóły terenowe. Aby baza ta spełniała stawiane przed nią obecnie i w przyszłości zadania, dokładność pomiaru szczegółów powinna być rzędu dokładności wymaganej dla szczegółów, dla których wymagana jest najwyższa precyzja. Z analizy potrzeb i zadań systemu informacji o terenie wynika, że ta najwyższa precyzja wymagana jest przy wyznaczaniu położenia punktów granicznych. Wynika to z potrzeby zapewnienia wyznaczenia położenia tych punktów z precyzją spełniającą żądania właścicieli wyznaczanych przez nie nieruchomości podczas ustalania w terenie zasięgu prawa ich własności oraz w miarę dokładnych pól powierzchni poszczególnych działek, występujących na rynku nieruchomości. W chwili obecnej za zadawalającą dla powyższych celów przyjmuje się dokładność na poziomie ± 5 cm, co zapewnia obliczenie wielkości pola powierzchni S typowej, przeciętnej działki budowlanej z błędem rzędu $0,5\% S$.

Osiągnięcie w praktyce wspomnianej powyżej dokładności uzależnione jest zawsze zarówno od wyznaczenia, z adekwatną do tego celu dokładnością, położenia punktów geodezyjnej osnowy poziomej, stanowiących bazę ich pomiaru, zdefiniowaną kowariancją $Cov(X_{osn})$, jak i dokładnością pomiaru elementów wyznaczających położenie tych punktów, charakteryzowaną za pomocą kowariancji $Cov(L)$. Zależność tę można umownie zapisać w formie wzoru

$$Cov(X_{osn}) + Cov(L) \leq Cov(X_{gr}) \quad (1)$$

gdzie $Cov(X_{gr})$ oznacza kowariancję wyznaczenia położenia punktów granicznych. Najczęściej w praktyce położenie punktów granicznych wyznacza się z konstrukcji jednoznacznych, w oparciu o punkty poziomej osnowy pomiarowej. W takim przypadku $Cov(X_{gr})$ dla współrzędnych punktów granicznych określimy w prosty sposób, zgodnie z prawem przenoszenia się kowariancji. Przyjmując, że kowariancje elementów wyznaczających punkty graniczne są równe zeru oraz że współrzędne punktów osnowy pomiarowej i elementy wyznaczające punkty graniczne są niezależne, czyli

$$Cov(X_{osn}, L) = Cov \begin{pmatrix} X_{osn} \\ L \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Cov(X_{osn}) & 0 \\ 0 & Cov(L) \end{bmatrix} \quad (2)$$

zgodnie z prawem przenoszenia się kowariancji, macierz kowariancji $Cov(X_{gr})$ dla współrzędnych punktów granicznych wyznaczymy z zależności

$$Cov(X_{gr}) = \mathbf{F}^T Cov(X_{osn}, L) \mathbf{F} \quad (3)$$

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

Jeżeli przy wyznaczeniu punktów granicznych występować będą obserwacje nadliczbowe, wówczas model matematyczny w części stochastycznej będzie analogiczny do przedstawionego powyżej, natomiast część funkcjonalna wyrażona będzie przez równania poprawek typu

$$\varepsilon = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{L} \quad (4)$$

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

$$\mathbf{Cov}(X_{gr}) = \sigma^2(\mathbf{A}^T \mathbf{Cov}(X_{osn}, \mathbf{L})^{-1} \mathbf{A})^{-1} \quad (5)$$

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

Dla określonej macierzy kowariancji punktów granicznych $\mathbf{Cov}(X_{gr})$ i przy ustalonej macierzy kowariancji $\mathbf{Cov}(\mathbf{L})$ dla typowych konstrukcji pomiarowych należałoby wyznaczyć „maksymalną” wartość macierzy kowariancji $\mathbf{Cov}(X_{osn})$ osnowy pomiarowej, mając na uwadze konieczność spełnienia warunku (1).

W dotychczasowej praktyce geodezyjnej zakłada się najczęściej bezbłądność punktów nawiazania, czyli, w rozważanym zagadnieniu, bezbłądność punktów osnowy pomiarowej. Oceniamy, na podstawie przeprowadzonych analiz typowych konstrukcji stosowanych do pomiaru szczegółów sytuacyjnych, że w takim przypadku położenie punktów granicznych można wyznaczać z dokładnością nie mniejszą niż ± 3 cm. Przy założeniu równości wariancji V_x i V_y maksymalna wariancja dla współrzędnej punktu granicznego nie przekracza wartości rzędu 5 cm^2 , co zapiszemy

$$V(X_{pkt}) \leq 5 \quad (6)$$

Przyjmując, że błąd położenia punktów granicznych nie powinien przekroczyć wartości ± 5 cm, możemy, przy założeniu jak powyżej, napisać

$$V(X_{pkt})_{\max} \leq 12,5 \quad (7)$$

Na podstawie zależności (6) możemy oszacować z dużym prawdopodobieństwem, że dla spełnienia warunku (7) maksymalna wariancja punktów osnowy pomiarowej nie może przekroczyć wartości rzędu $7+8 \text{ cm}^2$.

Reasumując, dla zapewnienia punktom granicznym dokładności na poziomie ± 5 cm, przy założeniu dokładności pomiaru elementów wyznaczających punkty graniczne zapewniającej zrealizowanie warunku (6), punkty osnowy pomiarowej nie mogą być obciążone błędem położenia większym niż $3+4$ cm.

Dla stwierdzenia możliwości spełnienia przez osnowę pomiarową postawionego powyżej postulatu i ustalenia dla niej warunków, jakie powinny być spełnione, zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i kryteriów dokładnościowych pomiaru

jej elementów, należy na wstępie uwzględnić istniejącą w Polsce strukturę w zakresie geodezyjnych osnów poziomych oraz genezę ich powstawania. Wynika to stąd, że wymienione powyżej parametry dokładnościowe powinny mieć charakter wielkości bezwzględnych, gdy tymczasem większość z nich obecnie traktowana jest jako wielkości względne, określone w stosunku do przyjmowanych za bezbłędne punktów nawiazania*.

W Polsce dla celów praktycznych rozpatrywane osnowy dzieli się na podstawowe I klasy, szczegółowe klasy II i III oraz pomiarowe, rozwiązywane dotychczas jako trzyczędowe [2] i [4]. Wymienione osnowy w praktyce zakłada się sukcesywnie, kolejno od najwyższej klasy czy rzędu w dół do coraz to niższych, z przyjęciem w każdym przypadku punktów nawiazania (wyższych klas) za bezbłędne. Nietrudno zauważyć, że charakterystyki dokładnościowe tak wyznaczanych osnów są parametrami względnymi. Tymczasem, w świetle wymogów tworzonego SIT-u, ustalona dokładność pozyskiwania danych do jej bazy (na poziomie 5 cm) powinna być traktowana jako wartość bezwzględna, na którą wpływają błędy wyznaczenia punktów kolejno każdej klasy, rodzaju i rzędu osnowy, od najwyższej do najniższej.

Dla rozpatrzenia powyższego problemu przypomnijmy charakterystyki dokładnościowe i zasady konstrukcji tych osnów w Polsce. W ostatnich latach dokonano modernizacji, czy raczej założenia nowej osnowy podstawowej i szczegółowej, głównie II klasy, której celem było przeniesienie na punkty tych sieci jednorodności i dokładności rzędu zerowego EUREF-POL'92. Dla punktów tych wyznaczono współrzędne geocentryczne w układzie ETRF-89 z dokładnością bezwzględną pozycji rzędu 1 cm. Współrzędne te przeliczono na obowiązujący w Polsce układ współrzędnych 1965 [1] i [8]. Punkty te stanowią podstawę rozwiązywania osnów szczegółowych III klasy. Wymieniona powyżej wielkość błędu wyznaczenia położenia punktów nawiazania upoważnia w praktyce w zupełności do uznania tych punktów przy nawiazaniu osnów III klasy za bezbłędne.

Osnowy szczegółowe III klasy są obecnie rozwiązywane powszechnie metodą satelitarną lub poligonową. W pierwszym przypadku szacuje się dokładność wyznaczenia położenia punktów tak wyznaczanych na rząd od 1 do 3 cm, przeciętnie 2 cm, w drugim zaś – przy odpowiednim reżimie geometrycznym konstrukcji tworzących je sieci i pomiaru ich elementów – z dokładnością rzędu od 1 do 5 cm, przeciętnie 2 do 3 cm [5] i [7]. Ze względu na charakter punktów nawiazania (ich wysoką dokładność), wymienione powyżej wartości można uznać w praktyce za wielkości bezwzględne oraz za możliwe do pominięcia przy dalszych rozważaniach, biorąc pod uwagę założony poziom dokładności wyznaczenia położenia punktów granicznych.

* Potwierdzenie powyższego założenia znajdujemy w niektórych przepisach pomiarowych dotyczących rozpatrywanego problemu, które podają niektóre kryteria dokładnościowe sieci niższych klas i rzędów czy dopuszczalne wielkości błędów wyznaczenia położenia szczegółów sytuacyjnych względem uważanych za bezbłędne punktów nawiazania.

Przejdźmy z kolei do rozpatrzenia wpływu niedokładności wyznaczenia punktów osnów pomiarowych na błąd wyznaczenia położenia punktów granicznych.

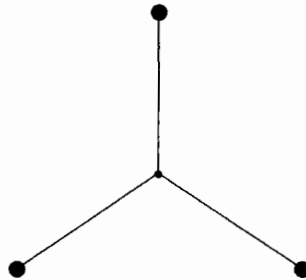
Nie ulega wątpliwości, że dotychczasowa trzyczęściowa struktura omawianych osnów nie tylko nie może zapewnić osiągnięcia założonej na wstępie dokładności wyznaczenia położenia punktów granicznych, ale w chwili obecnej jest również nieuzasadniona z powodów ekonomicznych i funkcjonalnych, szczególnie w aspekcie możliwości, jakie stwarza powszechne stosowanie tachymetrów elektronicznych, zarówno przy ich zakładaniu, jak i prowadzeniu z nich pomiaru szczegółów terenowych.

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, na podstawie analiz i rozważań w tym zakresie, zaproponowano ograniczenie ilości rzędów osnowy pomiarowej do dwóch, dostosowując jej kształt geometryczny, technologię realizacji oraz dokładność pomiaru jej elementów do potrzeb oraz wymogów SIT i dokładności używanego w produkcji nowoczesnego sprzętu pomiarowego oraz ich funkcjonowania w praktyce [7].

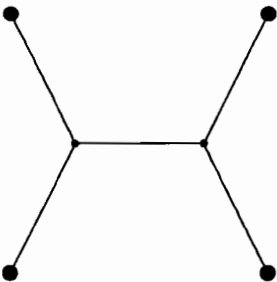
Zgodnie z powyższą propozycją, osnowy 1-go rzędu powinny być rozwiązywane głównie w postaci najprostszyc konstrukcji geodezyjnych, takich jak: pojedyncze ciągi poligonowe dwustronnie nawiązane (rys. 1) lub najwyżej jedno-, dwuwęzłowe układy (rys. 2, 3 i 4), pojedyncze punkty lub niewielkie ich grupy wyznaczane różnego rodzaju wcięciami geodezyjnymi (rys. 5 i 6) czy metodą domiarów.



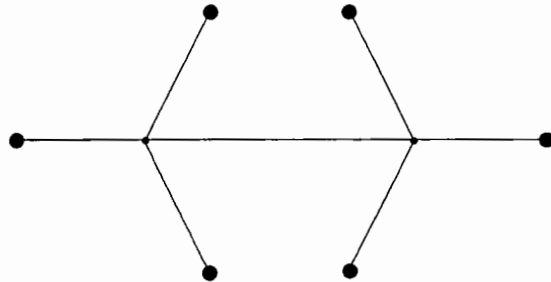
Rys. 1. Ciąg typu U0



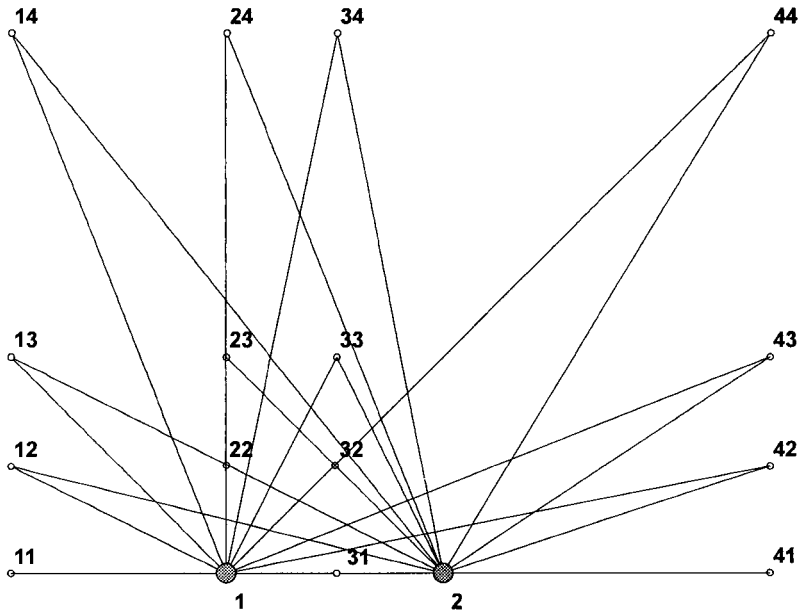
Rys. 2. Sieć typu U1



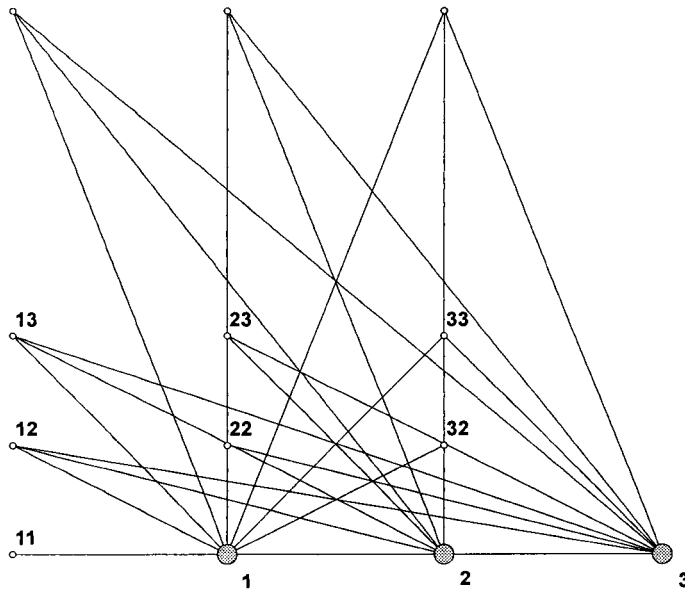
Rys. 3. Sieć typu U2



Rys. 4. Sieć typu U3



Rys. 5. Wcięcia typu W1



Rys. 6. Wcięcia typu W2

W chwili obecnej, w sporadycznych przypadkach, położenie tych punktów może być wyznaczane również techniką satelitarną. Wzajemne odległości punktów tych osnów powinny wynosić od około 50 do 300 m, w zależności od warunków terenowych (rozdrobienia gruntów, sposobu ich zainwestowania, ukształtowania pionowego) oraz projektowanej technologii pomiarów szczegółowych i rodzaju sprzętu pomiarowego, jaki ma być użyty. Punkty osnowy 1-go rzędu mogą być wykorzystywane jako stanowiska pomiarowe przy pomiarach szczegółów sytuacyjnych wszystkich grup dokładnościowych lub jako punkty nawiazania zakładanych w oparciu o nie osnów pomiarowych 2-go rzędu.

Poziomą osnowę pomiarową 2-go rzędu mogą tworzyć punkty wyznaczone w sposób analogiczny jak w sieci 1-go rzędu, ale w konstrukcjach najprostszycy geometrycznie (pojedyncze ciągi poligonowe lub wcięcia geodezyjne), nawiazanych do punktów sieci 1-go rzędu czy 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, wyznaczane powszechnie metodą biegunową z punktów wyższych klas i rzędów. Punkty osnów tego rzędu mogą być wykorzystywane tylko jako stanowiska pomiarowe lub, przy pomiarach szczegółów metodą domiarów prostokątnych, jako punkty wyznaczające linie pomiarowe.

Niezależnie od rzędu osnowy, kryteria geometryczne konstrukcji rozpatrywanych sieci i dokładność pomiaru ich elementów powinny być ustalone tak, aby zapewnić przy ich przestrzeganiu błąd wyznaczenia położenia punktów granicznych nie przekraczający ustalonego powyżej poziomu 5 cm, zwłaszcza że jego część pochodząca tylko z ograniczonej dokładności pomiaru szczegółów dochodzić może do 3 cm.

Jak wcześniej wspomniano, warunek taki będzie zachowany, jeżeli spełniona zostanie zależność (6).

3. Syntetyczny opis dokonanych analiz i badań

Z zależności (3) i (5) wynika, że weryfikację zapisu (6) można najprościej przeprowadzić drogą empiryczną. Opracowano w tym celu odpowiedni algorytm i dokonano szeregu analiz wspomnianych konstrukcji, a wyniki przedstawiono w formie tabel i wykresów pozwalających na wyciągnięcie na ich podstawie wniosków ogólnych.

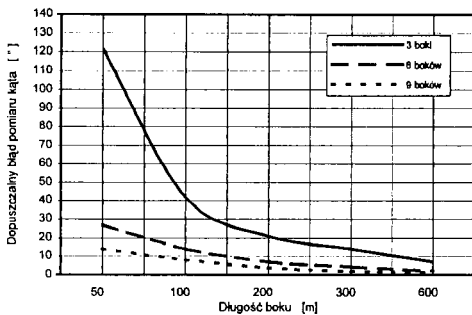
Analizy dokładnościowe konstrukcji poligonowych wykonane przy ustalonych (powszechnie spotykanych w produkcji) układach ciągów oraz liczbie i długości występujących w nich boków, a także ustalonej (możliwej do osiągnięcia w praktyce) dokładności pomiaru odległości, pozwoliły ustalić, z jaką dokładnością w konkretnych warunkach należy mierzyć kąty wierzchołkowe, aby maksymalny błąd wyznaczenia położenia punktu osnowy nie przekroczył 3 cm. Przy założonej dokładności pomiaru szczegółowego na poziomie 3 cm zagwarantuje to wyznaczenie położenia punktu granicznego na ustalonym poziomie 5 cm. Analizą objęto konstrukcje przedstawione na rysunkach 1 + 4, na których odcinki łączące punkty nawiazania i węzłowe oznaczają ciągi o określonej liczbie i długości boków.

Analogiczne analizy wykonano dla różnego rodzaju przypadków wcięć, przedstawionych schematycznie na rysunkach 5 i 6, przy wzajemnej odległości punktów

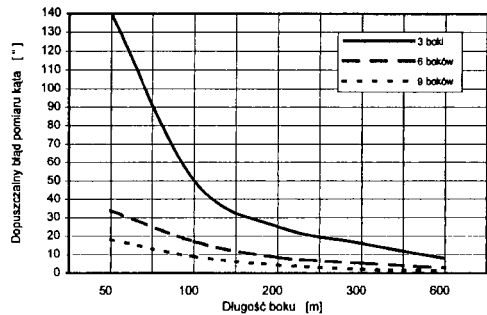
nawiązania 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 i 0,6 km. Przyjęto, że będą to konstrukcje kątowo-liniowe, rozwiązywane z wykorzystaniem „dobrego” tachymetru elektronicznego o błędzie standardowym pomiaru długości m_d określonym z zależności $m_d = \pm(5 + 3 \text{ ppm})$, zaś w przypadku wcięć – również tachymetru niższej klasy – o błędzie standardowym $m_d = \pm(10 + 5 \text{ ppm})$. Uzyskane wyniki zestawiono w załączonych tabelach od 1 do 8, a charakterystyczne z nich przedstawiono na wykresach (rys. 7 + 12).

Tabela 1. Wyniki badań modelowych ciągów typu U0
 $m_{p\max} = \pm 3 \text{ cm}$, $m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$

Typ ciągu	Długość boku [km]	Długość ciągu [km]	Liczba ciągów	Liczba punktów		Obs. nadliczbowych	Odl. pkt. nawiąz. [km]	Oblicz. maks. wart. m_α ["]
				nawiąz.	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



Rys. 7. Zależność błęd pomiaru kątów od długości boków przy stałej ich liczbie, w ciągach typu U0



Rys. 8. Zależność błęd pomiaru kątów od liczby boków o stałej długości, w sieciach typu U1

Tabela 2. Wyniki badań modelowych sieci typu U1

$$m_{pmax} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$$

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. Wyniki badań modelowych sieci typu U2

$$m_{pmax} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$$

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	4	12	7	1,04	25
U2/3/0,3	0,3	0,9	5	4	12	7	1,56	16
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	42	7	4,68	2,3
U2/9/0,6	0,6	5,4	5	4	42	7	9,36	1,5

Tabela 4. Wyniki badań modelowych sieci typu U3

$$m_{p\max} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm 5 \text{ mm}$$

Typ ciągu	Długość boku [km]	Długość ciągu [km]	Liczba ciągów	Liczba punktów		Obs. nadliczbowych	Odl. pkt. nawiąz. [km]	Oblicz. maks. wart. m_α ["]
				nawiąz.	wyznac.			
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

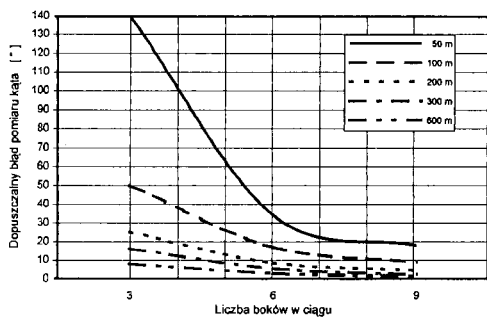
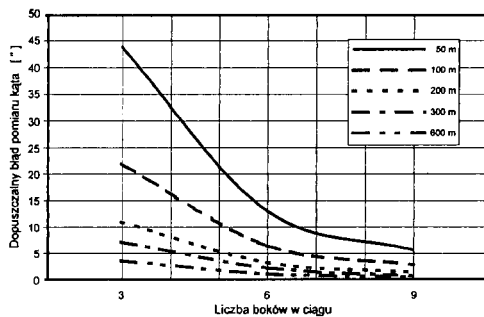
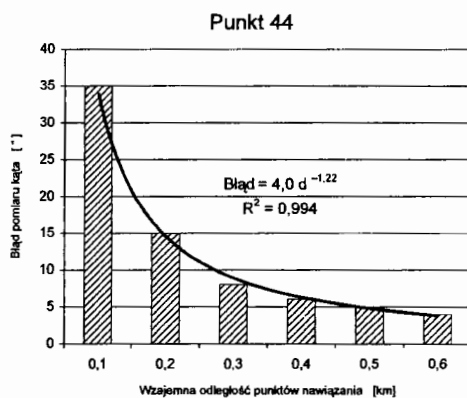
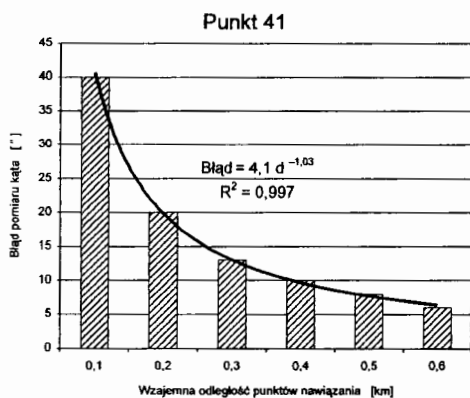
**Rys. 9.** Zależność błędu pomiaru kątów od długości boków przy stałej ich liczbie, w sieciach typu U2**Rys. 10.** Zależność błędu pomiaru kątów od liczby boków o stałej długości, w sieciach typu U3

Tabela 5. Wyniki badań modelowych wcięć typu W1
 $m_{pmax} = \pm 3 \text{ cm}$, $m_d = \text{const} = \pm(5 + 3 \text{ ppm})$

Numer punktu	Obliczona maksymalna wartość m_α [°] przy wzajemnej odległości punktów nawiazania wynoszącej						Uwagi
	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	
11	30	15	10	7	6	5	Brak podanej wartości błędu pomiaru kąta oznacza, że dokładność pomiaru kąta jest praktycznie nieistotna.
12	50	23	14	10	7	6	
13	—	—	—	12	10	7	
14	—	19	11	6	5	4	
22	—	—	—	—	—	—	
23	—	—	—	—	—	—	
24	—	—	—	210	10	6	
31	—	62	41	30	25	20	
32	—	—	—	—	—	—	
33	—	—	—	—	—	—	
34	—	—	—	16	10	6	
41	40	20	13	10	8	6	
42	45	21	14	10	8	6	
43	45	22	14	10	7	6	
44	35	15	8	6	5	4	



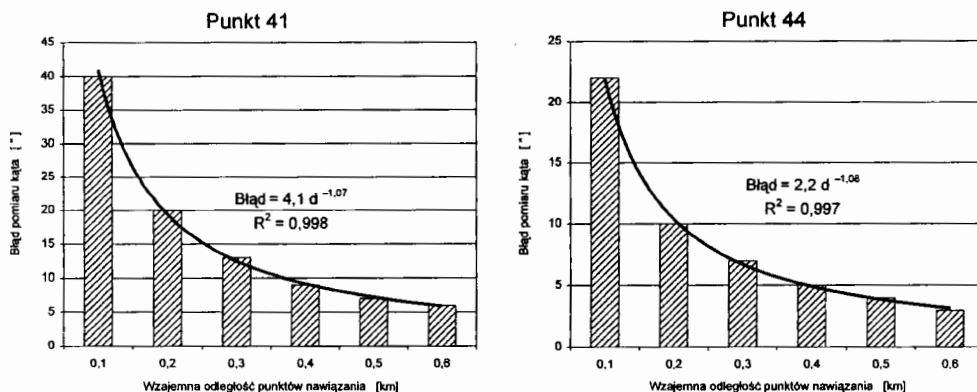
Rys. 11. Zależność maksymalnego błędu pomiaru kąta od odległości – wcięcia typu W1

Tabela 6. Wyniki badań modelowych wcięć typu W2
 $m_{pmax} = \pm 3 \text{ cm}$, $m_d = \text{const} = \pm(5 + 3 \text{ ppm})$

Numer punktu	Obliczona maksymalna wartość m_α ["] przy wzajemnej odległości punktów nawiązania wynoszącej						Uwagi
	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	
11	37	18	12	9	7	6	Brak podanej wartości błędu pomiaru kąta oznacza, że dokładność pomiaru kąta jest praktycznie nieistotna.
12	—	—	50	23	12	10	
13	—	—	—	—	—	—	
14	—	—	—	—	—	11	
22	—	—	—	—	—	—	
23	—	—	—	—	—	—	
24	—	—	—	—	—	—	
32	—	—	—	—	—	—	
33	—	—	—	—	—	—	
34	—	—	—	—	—	—	

Tabela 7. Wyniki badań modelowych wcięć typu W1
 $m_{pmax} = \pm 3 \text{ cm}$, $m_d = \text{const} = \pm(10 + 5 \text{ ppm})$

Numer punktu	Obliczona maksymalna wartość m_α ["] przy wzajemnej odległości punktów nawiązania wynoszącej						Uwagi
	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	
11	30	15	10	7	5	4	Brak podanej wartości błędu pomiaru kąta oznacza, że dokładność pomiaru kąta jest praktycznie nieistotna.
12	31	15	10	7	6	5	
13	33	15	10	7	5	4	
14	21	10	6	4	3	3	
22	—	—	—	—	—	—	
23	—	—	—	—	—	—	
24	32	13	8	6	4	3	
31	—	60	40	30	24	20	
32	—	—	—	—	—	—	
33	—	—	—	—	—	—	
34	33	15	9	6	5	3	
41	40	20	13	9	7	6	
42	38	19	13	9	7	6	
43	36	17	11	8	6	5	
44	22	10	7	5	4	3	



Rys. 12. Zależność maksymalnego błędu pomiaru kąta od odległości – wcięcia typu W2

Tabela 8. Wyniki badań modelowych wcięć typu W2

$$m_{pmax} = \pm 3 \text{ cm}, m_d = \text{const} = \pm(10 + 5 \text{ ppm})$$

Numer punktu	Obliczona maksymalna wartość m_α [°] przy wzajemnej odległości punktów nawiązania wynoszącej						Uwagi
	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	
11	36	18	12	9	7	6	Brak podanej wartości błędu pomiaru kąta oznacza, że dokładność pomiaru kąta jest praktycznie nieistotna.
12	43	21	13	10	7	6	
13	60	28	16	11	8	6	
14	50	18	11	7	5	4	
22	—	—	—	—	—	—	
23	—	—	—	—	—	—	
24	—	—	26	14	9	6	
32	—	—	—	—	—	—	
33	—	—	—	—	—	—	
34	—	—	—	—	10	9	

4. Podsumowanie wyników analiz i wnioski końcowe

Na podstawie danych zawartych w załączonych tabelach oraz powyższych wykresach można udzielić odpowiedzi na pytanie, z jaką dokładnością, w konkretnej konstrukcji poligonowej, należy mierzyć kąty, aby, przy założonym błędzie pomiaru długości, maksymalny błąd wyznaczenia położenia punktu osnowy pomiarowej nie przekroczył ± 3 cm. Oczywiście jest, 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, a tym samym błędu położenia punktów granicznych.

Przeprowadzone w pracy analizy pozwalają również na wyciągnięcie wniosków ogólniejszych, a mianowicie:

- ustalenie, jaka liczba boków, o określonej długości i błędzie pomiaru, może wystąpić w rozpatrywanych konstrukcjach oraz z jaką dokładnością mierzyć w danym przypadku kąty, aby maksymalny błąd położenia punktu osnowy nie przekroczył założonej wartości ± 3 cm;
- określenie, jakiej długości boki można stosować przy założonej ich liczbie w ciągach i przyjętym błędzie pomiaru długości oraz z jaką dokładnością wykonywać pomiar kątów, aby maksymalny błąd położenia punktu osnowy nie przekroczył założonej wartości ± 3 cm;
- ustalenie, jaki typ wcięcia w danych warunkach można zastosować, z jaką dokładnością należy mierzyć długości, czy i w jakich konstrukcjach mierzyć kąty poziome i z jaką dokładnością, aby maksymalny błąd położenia punktu nie przekroczył wartości ± 3 cm.

O tym, które konstrukcje i w jakim zakresie wybrać do zastosowania w praktyce, powinny zdecydować uwarunkowania terenowe oraz rodzaj i jakość posiadanego sprzętu pomiarowego.

Literatura

References

- [1] Baran W.: O potrzebie i możliwościach utworzenia krajowej trójwymiarowej sieci geodezyjnej. Mat. VII Sesji Nauk-Tech. nt. Aktualne problemy naukowe i techniczne prac geodezyjnych. Korbielów, październik 1991.
- [2] Instrukcja techniczna G-1. Warszawa 1987.
- [3] Instrukcja techniczna G-4. Warszawa 1981.
- [4] Instrukcja techniczna O-1. Warszawa 1984.
- [5] Latoś S., Maślanka J., Preweda E.: Analiza dokładności poziomych osnów geodezyjnych zakładanych metodą poligonową z wykorzystaniem tachymetrów elektronicznych. Geodezja, AGH, Kraków, 1997
- [6] Latoś S., Preweda E.: Geometryczna interpretacja i własności jednopunktowej oraz globalnej charakterystyki dokładności poziomych sieci geodezyjnych. Geodezja i Urządzenia Rolne, XIV, 324, 1997
- [7] Latoś S., Preweda E.: Badania nad ustaleniem metod i kryteriów zakładania geodezyjnych poziomych osnów pomiarowych. Geodezja, 4, 1, AGH, Kraków, 1998
- [8] Szeliga K., Bojar Z., Pachelski W., Uchański J.: Raport o stanie geodezji i kartografii w Polsce. Praca niepublikowana. Warszawa 1994.

Recenzent

prof. dr hab. inż. Józef Czaja