

## **ANALIZA DOKŁADNOŚCI POMIARÓW SYTUACYJNYCH WYKONYWANYCH METODĄ BIEGUNOWĄ ORAZ DOMIARÓW PROSTOKĄTNYCH**

Adam Daskocz

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

**Streszczenie.** Współczesne technologie wyznaczania położenia punktów sytuacyjnych są w ogromnej mierze zautomatyzowane i opierają się na metodach: bezpośrednich pomiarów terenowych, technikach satelitarnych, fotogrametrycznych lub przetwarzania graficzno-numerycznego istniejących opracowań kartograficznych.

Niezmiernie ważną w procesie pozyskiwania danych sytuacyjnych do opracowywania map wielkoskalowych (obecnie w zasadzie w formie cyfrowej) lub realizacji innych przedsięwzięć gospodarczych jest kwestia ich dokładności, co w praktyce sprowadza się do respektowania przepisów prawnych oraz zastosowania standardów technicznych obowiązujących w dziedzinie geodezji i kartografii.

W niniejszej pracy odniesiono się do dokładności wyznaczenia położenia punktów sytuacyjnych w wyniku bezpośrednich pomiarów terenowych metodą biegunową i metodą domiarów prostokątnych. Dokładność pomiarów sytuacyjnych skonfrontowano z wymogami obowiązującej instrukcji G-4 oraz zaleceniami zawartymi w projekcie instrukcji G-4.

Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką dokładność (określoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej) szczegółowych pomiarów sytuacyjnych realizowanych z wykorzystaniem współczesnych tachimetrów elektronicznych. Współczesne pomiary sytuacyjne wykonywane tachimetrem elektronicznym zapewniają wyznaczenie położenia pikiety, w zakresie szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej przy ich starannej identyfikacji, z dokładnością rzędu  $0,03 \div 0,05$  m.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono także, iż możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej (przy ich starannej identyfikacji) metodą domiarów prostokątnych z dokładnością nie gorszą niż  $0,05$  m (względem punktów dowiązania pomiaru). Jednakże ze względu na dużą pracochłonność ortogonalnych pomiarów szczegółowych i znikomą możliwość automatyzacji zarówno pomiarów,

---

Praca powstała w ramach badań zleconych przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii w Warszawie (KN-2501-14-05) [http://www.gugik.gov.pl/gugik/w\\_pages/w\\_doc\\_idx.php?loc=2](http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_idx.php?loc=2)

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Adam Daskocz, Katedra Geodezji Szczegółowej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Heweliusza 12, 10-957 Olsztyn, e-mail: [adam.daskocz@uwm.edu.pl](mailto:adam.daskocz@uwm.edu.pl)

jak i zapisu ich wyników – w przypadku pomiarów sytuacyjnych (zwłaszcza tych realizowanych na terenach zurbanizowanych) uzasadnione jest stosowanie metody domiarów prostokątnych jedynie jako metody uzupełniającej; wykorzystywanej w niewielkim zakresie w stosunku do dominującej w pomiarach sytuacyjnych metody biegunowej (wykonywanej z zastosowaniem instrumentów typu *total station*).

**Słowa kluczowe:** G-4, pomiar sytuacyjny, total station, metoda biegunowa i ortogonalna

## WPROWADZENIE

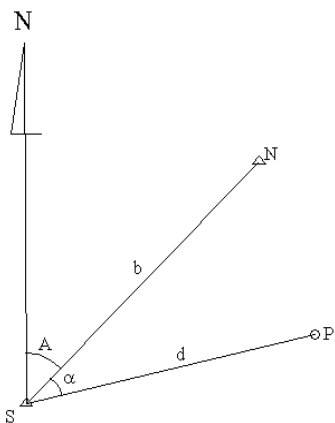
Współczesne technologie wyznaczania położenia punktów sytuacyjnych są w ogromnej mierze zautomatyzowane i opierają się na metodach: bezpośrednich pomiarów terenowych, technikach satelitarnych, fotogrametrycznych lub przetwarzania graficzno-numerycznego istniejących opracowań kartograficznych.

Niezmiernie ważną w procesie pozyskiwania danych sytuacyjnych do opracowywania map wielkoskalowych (obecnie w zasadzie w formie cyfrowej) lub realizacji innych przedsięwzięć gospodarczych jest kwestia ich dokładności, co w praktyce sprowadza się do respektowania przepisów prawnych oraz zastosowania standardów technicznych obowiązujących w dziedzinie geodezji i kartografii.

W niniejszej pracy odniesiono się do dokładności wyznaczenia położenia punktów sytuacyjnych w wyniku bezpośrednich pomiarów terenowych metodą biegunową i metodą domiarów prostokątnych. Dokładność pomiarów sytuacyjnych skonfrontowano z wymogami obowiązującej instrukcji G-4 oraz zaleceniami zawartymi w projekcie nowej instrukcji G-4.

## 1. ANALIZA DOKŁADNOŚCI POMIARU SYTUACYJNEGO METODĄ BIEGUNOWĄ

W metodzie biegunowej wyznaczenie położenia szczegółu sytuacyjnego realizowane jest w oparciu o pomierzoną odległość od stanowiska instrumentu do punktu celowania oraz pomierzony kierunek na ten punkt. Ideę pomiaru sytuacyjnego metodą biegunową przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Idea pomiaru sytuacyjnego metodą biegunową

Fig. 1. Idea of topographic survey of the polar method

Współrzędne wyznaczanego punktu sytuacyjnego ( $P$ ), zgodnie z powyższym rysunkiem, określają następujące zależności:

$$\begin{aligned} X_P &= X_S + d \cdot \cos(A + \alpha) \\ Y_P &= Y_S + d \cdot \sin(A + \alpha) \end{aligned} \quad (1)$$

przy czym

$$A = \text{artg} \left( \frac{Y_N - Y_S}{X_N - X_S} \right)$$

Przyjęte oznaczenia:

- $X_S, Y_S$  – współrzędne stanowiska instrumentu,
- $X_N, Y_N$  – współrzędne punktu nawiazania,
- $A$  – azymut boku osnowy (stanowisko-nawiazanie),
- $d$  – pomierzona odległość do pikiety,
- $\alpha$  – pomierzony kąt poziomy, pomiędzy bokiem osnowy a kierunkiem na pikietę.

Kwadrat błędu położenia wyznaczanego punktu wyraża zależność:

$$m_P^2 = m_X^2 + m_Y^2 \quad (2)$$

gdzie:

- $m_X$  – błąd średni współrzędnej  $X$  punktu sytuacyjnego,
- $m_Y$  – błąd średni współrzędnej  $Y$  punktu sytuacyjnego.

Zgodnie z prawem przenoszenia się błędów średnich Gaussa, traktując wielkości pomierzone i współrzędne punktów osnowy jako zmienne niezależne, wyznaczono na podstawie zależności (1) i (2) błąd położenia punktu sytuacyjnego (pikiety):

$$m_P = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2} = \sqrt{\left( \frac{d^2}{2b^2} + 1 - \frac{d}{b} \cdot \cos \alpha \right) \cdot m_S^2 + \frac{d^2}{2b^2} \cdot m_N^2 + m_d^2 + d^2 \cdot m_\alpha^2} \quad (3)$$

gdzie:

- $b$  – długość boku osnowy (stanowisko-nawiazanie),
- $m_S$  – błąd położenia punktu osnowy (stanowisko),
- $m_N$  – błąd położenia punktu osnowy (nawiazanie),
- $m_d$  – błąd średni pomiaru odległości,
- $m_\alpha$  – błąd średni pomiaru kąta, który – przy założeniu równej dokładności pomiaru kierunków  $S-N$  i  $S-P$  – wynosi  $m_\alpha = \sqrt{2} \cdot m_k$  (gdzie  $m_k$  jest błędem średnim pomiaru kierunku).

W trakcie przekształceń prowadzących do wzoru (3) założono równość błędów średnich  $m_X$  i  $m_Y$  w błędach położenia punktów osnowy:

$$m_{X_S} = m_{Y_S} = \frac{m_S}{\sqrt{2}}$$

$$m_{X_N} = m_{Y_N} = \frac{m_N}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Wzór (3) uwzględnia, obok wpływu błędów pomiaru kąta i odległości, także wpływ błędów położenia punktów dowiązania.

### **Wpływ błędów pomiaru kąta i odległości na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego**

Określenie wpływu błędów pomiaru kąta i odległości na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego wykonano przy założeniu bezbłędności położenia punktów dowiązania:

$$m_{P(pom)} = \sqrt{m_d^2 + d^2 \cdot m_\alpha^2} \quad (5)$$

Analizę przeprowadzono dla:

- wybranych parametrów pomiaru – określonych w tabeli III § 32 obowiązującej instrukcji G-4 z 1983 r. (zgodnie z Rozporządzeniem z 1999 roku w sprawie standardów technicznych dotyczących geodezji, kartografii oraz krajowego systemu informacji o terenie) – tych, które są zgodne ze współcześnie wykorzystywanymi technikami pomiarowymi;
- wymogów dokładności pomiarów sytuacyjnych sformułowanych projekcie instrukcji G-4 z 2002 r.;
- dokładności sytuacyjnych pomiarów szczegółowych, uzyskiwanych z zastosowaniem dostępnych na rynku tachimetrów elektronicznych [Opracowanie 2000, 2001, Pudło 2004] (w pięciu wariantach – konfiguracjach sprzętowych – z ich rozróżnieniem pod względem nominalnej [Lizończyk 2000] dokładności pomiaru kąta i odległości). Przeanalizowano następujące warianty charakteryzujące dokładność pomiarów total station:

I –  $m_\alpha = 3''$  ( $m_k = 2''$ ),  $m_d = 0,002 \text{ m} + 2 \text{ ppm}$

II –  $m_\alpha = 5''$  ( $m_k = 3''$ ),  $m_d = 0,003 \text{ m} + 3 \text{ ppm}$

III –  $m_\alpha = 7''$  ( $m_k = 5''$ ),  $m_d = 0,005 \text{ m} + 3 \text{ ppm}$

IV –  $m_\alpha = 15''$  ( $m_k = 10''$ ),  $m_d = 0,005 \text{ m} + 5 \text{ ppm}$

V –  $m_\alpha = 30''$  ( $m_k = 20''$ ),  $m_d = 0,010 \text{ m} + 5 \text{ ppm}$

Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów pomiaru kąta i odległości obliczono ze wzoru (5). Wyniki zestawiono w tabelach 1a, 1b, 1c (wartości  $m_{P(pom)}$  wyrażono w metrach).

Tabela 1a. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów pomiaru kąta ( $m_\alpha$ ) i odległości ( $m_d$ ) dopuszczalnych zgodnie z wymogami instrukcji G-4

Table 1a. Accuracy of position determination of topographic point due to the angular error ( $m_\alpha$ ) and the distance error ( $m_d$ ) acceptable in accordance with requirements of the G-4 Instruction

$m_\alpha$ ( $m_k$ )	$m_{P(pom)}$ wyznaczony ze wzoru (5) [m] $m_{P(pom)}$ determined basing on the formula (5)														
	Pomierzona odległość do pikiety (d) [m] Surveyed distance to a topographic point (d)														
	10	25	50	75	100	115	140	150	200	400	1350	2000	2250	3500	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
45" (30")	Pomiar odległości – dokładny (sprzęt – dalmierz elektromagnetyczny) $m_d = 0,05$ m (szczegóły I i II grupy)														
	Measurement distance with the EDM $m_d = 0,05$ m (details of the 1 <sup>st</sup> and 2 <sup>nd</sup> accuracy group)														
	0,050	0,050	0,051	0,053	0,055	0,056	0,059	0,060	0,066	0,101	0,299	0,439	-	-	-
45" (30")	Pomiar odległości – dokładny (sprzęt – dalmierz elektromagnetyczny) $m_d = 0,10$ m (szczegóły III grupy)														
	Measurement distance with the EDM $m_d = 0,10$ m (details of the 3 <sup>rd</sup> accuracy group)														
	0,100	0,100	0,101	0,101	0,102	0,103	0,105	0,105	0,109	0,133	0,311	0,448	0,501	0,770	-
1,5' (1')	Pomiar odległości – bezpośredni (sprzęt – ruletka stalowa) $m_d = 0,05$ m (szczegóły I grupy dokładnościowej)														
	Measurement distance with the steel tape $m_d = 0,05$ m (details of the 1 <sup>st</sup> accuracy group)														
	0,050	0,051	0,055	0,060	0,066	0,071	0,079	0,082	0,101	-	-	-	-	-	-
7,5' (5')	Pomiar odległości – bezpośredni (sprzęt – ruletka stalowa) $m_d = 0,05$ m (szczegóły II grupy dokładnościowej)														
	Measurement distance with the steel tape $m_d = 0,05$ m (details of the 2 <sup>nd</sup> accuracy group)														
	0,055	0,074	0,120	0,171	0,224	0,256	0,309	0,331	-	-	-	-	-	-	-
15' (10')	Pomiar odległości – bezpośredni (sprzęt – ruletka stalowa) $m_d = 0,10$ m (szczegóły III grupy dokładnościowej)														
	Measurement distance with the steel tape $m_d = 0,10$ m (details of the 3 <sup>rd</sup> accuracy group)														
	0,109	0,148	0,240	0,342	0,448	0,512	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 1b. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów pomiaru kąta ( $m_\alpha$ ) i odległości ( $m_d$ ) dopuszczalnych zgodnie z zaleceniami projektu instrukcji G-4

Table 1b. Accuracy of position determination of topographic point due to the angular error ( $m_\alpha$ ) and the distance error ( $m_d$ ) acceptable in accordance with requirements of the draft G-4 Instruction

$m_\alpha = 90^\circ$ $m_k = 60^\circ$ Grupa szczegółów Group of details	$m_{P(pom)}$ wyznaczony ze wzoru (5) [m] $m_{P(pom)}$ determined basing on the formula (5)											
	Pomierzona odległość do pikiety (d) [m] Surveyed distance to a topographic point (d)											
	10	25	50	75	100	160	200	250	500	600	800	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I $m_d = 0,07$ m	0,070	0,071	0,073	0,077	0,082	0,099	0,112	0,130	-	-	-	-
II $m_d = 0,20$ m	0,200	0,200	0,201	0,203	0,205	0,212	0,218	0,228	0,296	0,329	-	-
III $m_d = 0,35$ m	0,350	0,350	0,351	0,352	0,353	0,357	0,361	0,367	0,412	0,437	0,494	-

Tabela 1c. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów pomiaru kąta ( $m_\alpha$ ) i odległości ( $m_d$ ) charakteryzujących współczesne tachimetry elektroniczne

Table 1c. Accuracy of position determination of topographic point due to the angular error ( $m_\alpha$ ) and the distance error ( $m_d$ ) characteristic to contemporary electronic tacheometers

Wariant Variant	$m_{P(pom)}$ wyznaczone ze wzoru (5) [m] $m_{P(pom)}$ determined basing on the formula (5)														
	Pomierzona odległość do pikiety ( $d$ ) [m] Surveyed distance to a topographic point ( $d$ )														
	10	25	50	75	100	150	200	250	700	1250	2000	3000	3500	4000	
I	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,011	0,019	0,030	0,044	0,052	0,059	
II	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007	0,018	0,031	0,049	0,074	0,086	0,098	
III	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,009	0,010	0,025	0,043	0,069	0,103	0,120	0,137	
IV	0,005	0,005	0,006	0,008	0,009	0,012	0,016	0,019	0,052	0,092	0,146	0,219	0,256	0,292	
V	0,010	0,011	0,013	0,015	0,018	0,024	0,031	0,038	0,103	0,183	0,292	0,437	0,510	0,583	

### Wpływ błędów położenia punktów osnowy na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego

Z powyższych analiz oraz z wyników prezentowanych w literaturze przedmiotu [Dąbrowski i in. 1998] wynika, że przy charakterystycznych dla współczesnych tachimetrów elektronicznych dokładnościach pomiaru kąta i odległości możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółu sytuacyjnego I grupy dokładnościowej – względem punktów osnowy geodezyjnej (przy starannej identyfikacji szczegółu) – z błędem rzędu  $0,03 \div 0,05$  m.

Uwzględnienie charakterystyk dokładnościowych poziomych osnow geodezyjnych, wykorzystywanych w szczegółowych pomiarach sytuacyjnych, zrealizowano poprzez określenie wpływu błędów położenia punktów dowiązania na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego (przy założeniu bezbłędności pomiaru kąta i odległości):

$$m_{P(os)} = \sqrt{\left( \frac{d^2}{2b^2} + 1 - \frac{d}{b} \cdot \cos \alpha \right) \cdot m_s^2 + \frac{d^2}{2b^2} \cdot m_N^2} \quad (6)$$

Analizę przeprowadzono dla sześciu wariantów, przyjmując do obliczeń wartości błędów położenia punktów:

- I – osnowy odtwarzalnej III klasy (stwierdzony empirycznie  $m_p \leq 0,03m$ ) [Dąbrowski i in. 1992];
- II – osnowy pomiarowej ściśle wyrównanej w nawiązaniu do osnowy odtwarzalnej III klasy (stwierdzony empirycznie  $m_p \leq 0,05$  m) [Dąbrowska i in. 1995a];
- III – osnowy szczegółowej III klasy (założonej przy użyciu systemu satelitarnego zgodnie z projektem instrukcji G-2 z 2001 roku  $m_p \leq 0,07$  m);
- IV – osnowy szczegółowej III klasy (zgodnie z wymogami obowiązującej instrukcji technicznej G-4  $m_p \leq 0,10$  m, jest to jednocześnie dopuszczalny błąd położenia punktu osnowy pomiarowej założonej zgodnie z zaleceniami projektu instrukcji O-1/O-2 z 2001 r.);
- V – osnowy pomiarowej (zgodnie z wymogami obowiązującej instrukcji G-4  $m_p \leq 0,20$  m);
- VI – osnowy pomiarowej dla terenów rolnych i leśnych (zgodnie z wymogami obowiązującej instrukcji G-4  $m_p \leq 0,50$  m).

W zasadniczych przypadkach (oznaczonych literą *a*) założono równość błędów położenia punktów osnowy (stanowiska tachimetru i punktu nawiązania pomiaru  $m_S=m_N$ ). Natomiast w innych (oznaczonych literą *b*) uwzględniono różnice w dokładności położenia punktu osnowy, na którym zlokalizowano stanowisko instrumentu i punktu nawiązania pomiaru – mianowicie założono, że pomiary zorientowane są na punkty poziomej osnowy geodezyjnej wyższej klasy (o mniejszym błędzie położenia punktu).

Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów położenia punktów osnowy określono ze wzoru (6). Obliczenia wykonano, przyjmując wartości: założonej wielkości stosunku ( $d/b$ ) pomierzonej odległości do pikiety do długości boku osnowy (nawiązania) oraz pomierzonego kąta  $\alpha$  (odpowiadającego charakterystycznym wartościom funkcji cosinus). Wyniki zestawiono w tabeli 2, wartości  $m_{P(os)}$  wyrażono w metrach.

Tabela 2. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów położenia punktów osnowy

Table 2. Accuracy of position determination of topographic point due to position errors of points of the control network

Wariant Variant	Pomierzony kąt Surveyed angle	$m_{P(os)}$ wyznaczony ze wzoru (6) [m] $m_{P(os)}$ determined basing on the formula (6)									
		Wielkość stosunku pomierzonej odległości do długości boku osnowy ( $d/b$ ) Proportion surveyed distance to length of base line of the control network ( $d/b$ )									
		0,1	0,5	1	1,5	2	3	4	5	10	15
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I – a $m_S = m_N = 0,03$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08	0,11	0,14	0,29	0,44
	$\alpha = 90^\circ$	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12	0,15	0,30	0,45
	$\alpha = 180^\circ$	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,11	0,14	0,17	0,32	0,47
II – a $m_S = m_N = 0,05$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,05	0,04	0,05	0,07	0,09	0,13	0,18	0,23	0,48	0,73
	$\alpha = 90^\circ$	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,16	0,21	0,25	0,50	0,75
	$\alpha = 180^\circ$	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,18	0,23	0,28	0,53	0,78
II – b $m_S = 0,05$ m $m_N = 0,03$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,05	0,04	0,04	0,05	0,07	0,10	0,14	0,18	0,38	0,59
	$\alpha = 90^\circ$	0,05	0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,17	0,21	0,42	0,62
	$\alpha = 180^\circ$	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,44	0,65
III – a $m_S = m_N = 0,07$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,07	0,06	0,07	0,09	0,12	0,19	0,25	0,32	0,67	1,02
	$\alpha = 90^\circ$	0,07	0,08	0,10	0,13	0,16	0,22	0,29	0,36	0,70	1,05
	$\alpha = 180^\circ$	0,07	0,09	0,12	0,15	0,19	0,25	0,32	0,39	0,74	1,09
IV – a $m_S = m_N = 0,10$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,10	0,09	0,10	0,13	0,17	0,26	0,36	0,46	0,95	1,45
	$\alpha = 90^\circ$	0,10	0,11	0,14	0,18	0,22	0,32	0,41	0,51	1,00	1,50
	$\alpha = 180^\circ$	0,11	0,13	0,17	0,22	0,26	0,36	0,46	0,56	1,05	1,55
IV – b $m_S = 0,10$ m $m_N = 0,07$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,10	0,08	0,09	0,11	0,14	0,22	0,30	0,38	0,81	1,24
	$\alpha = 90^\circ$	0,10	0,11	0,13	0,16	0,20	0,28	0,36	0,44	0,87	1,30
	$\alpha = 180^\circ$	0,11	0,13	0,17	0,20	0,24	0,33	0,41	0,50	0,92	1,36
V – a $m_S = m_N = 0,20$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,19	0,17	0,20	0,26	0,35	0,53	0,72	0,92	1,91	2,91
	$\alpha = 90^\circ$	0,20	0,22	0,28	0,36	0,45	0,63	0,82	1,02	2,01	3,01
	$\alpha = 180^\circ$	0,21	0,26	0,35	0,44	0,53	0,72	0,92	1,11	2,11	3,10
V – b $m_S = 0,20$ m $m_N = 0,10$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,19	0,16	0,16	0,19	0,24	0,38	0,53	0,68	1,46	2,25
	$\alpha = 90^\circ$	0,20	0,22	0,25	0,31	0,37	0,51	0,66	0,82	1,59	2,38
	$\alpha = 180^\circ$	0,21	0,26	0,32	0,40	0,47	0,62	0,77	0,93	1,71	2,50
VI – a $m_S = m_N = 0,50$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,48	0,43	0,50	0,66	0,87	1,32	1,80	2,29	4,77	7,26
	$\alpha = 90^\circ$	0,50	0,56	0,71	0,90	1,12	1,58	2,06	2,55	5,02	7,52
	$\alpha = 180^\circ$	0,53	0,66	0,87	1,09	1,32	1,80	2,29	2,78	5,27	7,76
VI – b $m_S = 0,50$ m $m_N = 0,10$ m	$\alpha = 0^\circ$	0,48	0,40	0,36	0,41	0,52	0,82	1,15	1,50	3,28	5,07
	$\alpha = 90^\circ$	0,50	0,53	0,62	0,74	0,88	1,19	1,53	1,87	3,64	5,43
	$\alpha = 180^\circ$	0,53	0,64	0,79	0,96	1,13	1,47	1,82	2,18	3,97	5,77

### Średni błąd położenia punktu sytuacyjnego wyznaczonego metodą biegunową z uwzględnieniem błędności punktów osnowy geodezyjnej

Średni błąd położenia punktu sytuacyjnego wyznaczonego metodą biegunową, z uwzględnieniem błędności punktów osnowy, określono ze wzoru (3). W niniejszej pracy przedstawiono wyniki uzyskane dla boku nawiązania  $b = 350$  m oraz przy założonych wielkościach stosunku ( $d/b$ ) pomierzonej odległości do pikiety do długości boku osnowy (stanowisko-nawiązanie) wynoszących kolejno: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 12; 15; 20; 40; 70.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki uzyskane dla 1. konfiguracji sprzętowej, pomiar za pomocą tachimetrów o najmniejszych błędach pomiarowych (wartości  $m_P$  wyrażono w metrach). Pomierzone odległości ( $d$ ) do pikiety wyrażono pośrednio poprzez wielkości stosunku  $d/b$  i przyjęte długości boku osnowy, wynoszą one odpowiednio (tab. 3):

Tabela 3. Odległość do pikiety wynikająca z założonych wielkości stosunku  $d/b$  i długości boku nawiązania

Table 3. Distance to a topographic point resultant from proportion  $d/b$  and length of base line of the control network

$d/b$	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	10
$d$ [m]	17,5	35	70	175	350	525	700	1050	1400	1750	2100	2450	3500

Tabela 4. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego metodą pomiaru biegunowego (z uwzględnieniem błędów punktów osnowy) wykonanego z wykorzystaniem I konfiguracji sprzętowej przy długości boku nawiązania  $b=350$ m

Table 4. The accuracy of position determination of topographic point with the polar method survey (with consideration errors of points of the control network) realized using I configuration of equipment and length of base line  $b = 350$  m

$m_S = m_N$	Pomierzony kąt Surveyed angle	$m_P$ wyznaczony ze wzoru (3) [m] $m_P$ determined basing on the formula (3)													
		Wielkość stosunku pomierzonej odległości do długości boku osnowy ( $d/b$ ) Proportion surveyed distance to length of base line of the control network ( $d/b$ )													
		0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0,03 m	$\alpha = 0^\circ$	0,029	0,029	0,028	0,026	0,031	0,041	0,053	0,081	0,110	0,140	0,170	0,200	0,291	
	$\alpha = 90^\circ$	0,030	0,030	0,031	0,034	0,043	0,055	0,068	0,096	0,125	0,155	0,185	0,215	0,306	
	$\alpha = 180^\circ$	0,031	0,032	0,033	0,040	0,052	0,066	0,080	0,109	0,139	0,169	0,199	0,229	0,320	
0,05 m	$\alpha = 0^\circ$	0,049	0,048	0,046	0,043	0,050	0,067	0,087	0,133	0,181	0,231	0,280	0,330	0,480	
	$\alpha = 90^\circ$	0,050	0,050	0,051	0,056	0,071	0,091	0,112	0,159	0,207	0,256	0,306	0,355	0,505	
	$\alpha = 180^\circ$	0,051	0,053	0,056	0,066	0,087	0,109	0,133	0,181	0,230	0,280	0,329	0,379	0,529	
0,07 m	$\alpha = 0^\circ$	0,068	0,067	0,064	0,061	0,070	0,093	0,122	0,186	0,253	0,322	0,391	0,460	0,670	
	$\alpha = 90^\circ$	0,070	0,070	0,071	0,078	0,099	0,126	0,157	0,222	0,289	0,358	0,427	0,496	0,705	
	$\alpha = 180^\circ$	0,072	0,074	0,078	0,093	0,121	0,153	0,186	0,253	0,321	0,391	0,460	0,530	0,739	
0,10 m	$\alpha = 0^\circ$	0,098	0,095	0,092	0,087	0,100	0,133	0,174	0,265	0,361	0,459	0,558	0,657	0,955	
	$\alpha = 90^\circ$	0,100	0,101	0,102	0,112	0,142	0,180	0,224	0,317	0,413	0,511	0,609	0,708	1,006	
	$\alpha = 180^\circ$	0,103	0,105	0,111	0,132	0,173	0,218	0,265	0,361	0,459	0,557	0,656	0,756	1,055	
0,20 m	$\alpha = 0^\circ$	0,195	0,191	0,183	0,173	0,200	0,265	0,347	0,529	0,721	0,917	1,114	1,312	1,909	
	$\alpha = 90^\circ$	0,200	0,201	0,204	0,224	0,283	0,361	0,447	0,633	0,825	1,020	1,217	1,415	2,011	
	$\alpha = 180^\circ$	0,205	0,211	0,223	0,265	0,346	0,436	0,529	0,721	0,917	1,114	1,312	1,510	2,108	
0,50 m	$\alpha = 0^\circ$	0,488	0,477	0,458	0,433	0,500	0,661	0,866	1,323	1,803	2,291	2,784	3,279	4,770	
	$\alpha = 90^\circ$	0,501	0,502	0,510	0,559	0,707	0,901	1,118	1,581	2,062	2,550	3,042	3,536	5,025	
	$\alpha = 180^\circ$	0,513	0,527	0,557	0,661	0,866	1,090	1,323	1,803	2,291	2,784	3,279	3,775	5,268	



### Podsumowanie przeprowadzonych badań i analiz odnośnie dokładności pomiaru sytuacyjnego metodą biegunową

W zakresie wymogów obowiązującej instrukcji G-4 stwierdzono, dla zawartych w niej parametrów dokładnościowych pomiarów, co następuje (tab. 1a):

- 1) w przypadku pomiaru odległości dalmierzem elektromagnetycznym możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółów sytuacyjnych poszczególnych grup, z wymaganą dokładnością położenia punktu (mierzoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej), w następujących odległościach od stanowiska instrumentu: szczegóły I grupy dokładnościowej do 400 m, II grupy dokładnościowej do 1350 m i III grupy dokładnościowej do 2250 m;
- 2) w przypadku pomiaru odległości pryzmiarem wstęgowym możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółów sytuacyjnych poszczególnych grup, z wymaganą dokładnością położenia punktu (mierzoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej), w następujących odległościach od stanowiska instrumentu: szczegóły I grupy dokładnościowej do 200 m, II grupy dokładnościowej do ok. 140 m i III grupy dokładnościowej do ok. 115 m.

W zakresie zalecanych dokładności pomiaru określonych w projekcie instrukcji G-4 stwierdzono (tab. 1b), że możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółów sytuacyjnych poszczególnych grup, z wymaganą dokładnością położenia punktu (mierzoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej), w następujących odległościach od stanowiska instrumentu: w przypadku I grupy dokładnościowej do 160 m (potwierdzono zalecenia projektu), II grupy dokładnościowej do 500 m (w projekcie zaleca się odległość nie większą niż 400 m), natomiast dla III grupy dokładnościowej do 800 m (w projekcie zalecana jest odległość nie większą niż 600 m).

Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką dokładność (określoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej) szczegółowych pomiarów sytuacyjnych realizowanych z wykorzystaniem współczesnych tachimetrów elektronicznych. Współczesne pomiary sytuacyjne wykonywane *total station* (tachimetrem o przeciętnej dokładności, III lub IV wariant konfiguracji sprzętowej) zapewniają wyznaczenie położenia pikiety, w zakresie szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej przy ich starannej identyfikacji, z dokładnością rzędu  $0,03 \div 0,05$  m (tabela 1c, kolumna 10).

Z przeprowadzonych analiz dokładności pomiaru punktu sytuacyjnego wykonanego metodą biegunową wynika, że dla zapewnienia pożądanej dokładności wyznaczenia położenia sytuacyjnego pikiety (z uwzględnieniem błędności punktów osnowy) kluczowe znaczenie ma zachowanie odpowiedniego układu geometrycznego: stanowisko – nawiązanie – pikieta [Dąbrowski i Duskocz 2000].

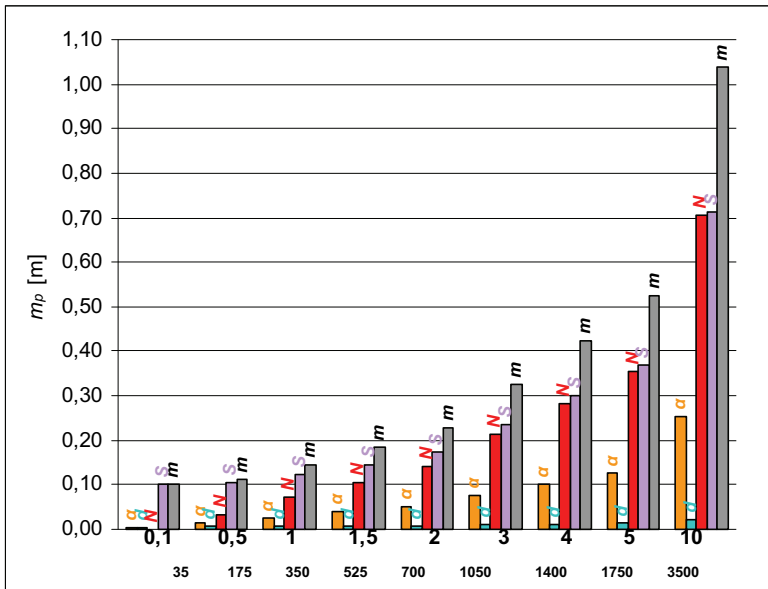
Wielkość wpływu poszczególnych składowych: błędu pomiaru kąta ( $m_\alpha$ ), błędu pomiaru odległości ( $m_d$ ) i błędów położenia punktów osnowy ( $m_S, m_N$ ) oraz stosunku pomierzonej odległości do pikiety do długości boku nawiązania pomiaru ( $d/b$ ) ukazano na rysunku 2.

Zależność przedstawiono dla przypadku wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego metodą biegunową zrealizowanego tachimetrem elektronicznym, charakteryzującym się niezbyt wygórowanymi dokładnościami pomiaru ( $m_\alpha = 15''$ ,  $m_d = 0,005 \text{ m} + 5 \text{ ppm}$ ), w oparciu o poziomą osnowę geodezyjną o dokładności  $m_P = 0,10 \text{ m}$  dla przyjętych

wielkości stosunku ( $d/b$ ) pomierzonej odległości do pikiety do długości boku osnowy (stanowisko-nawiązanie) wynoszących kolejno: 0,1; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 10.

Dodatkowo założono, iż długość boku ( $b$ ) nawiązania pomiaru wynosi 350 m, a pomierzony kąt poziomy (pomiędzy bokiem nawiązania pomiaru a kierunkiem na pikiety)  $\alpha = 90^\circ$  (przyjęcie takiej wartości pomierzonego kąta oznacza założenie średniego wpływu błędów położenia punktów osnowy na dokładność wyznaczenia położenia pikiety).

Na osi pionowej wykresu umieszczono wielkości błędu położenia punktu sytuacyjnego wyrażone w metrach. Na osi poziomej zawarto: w pierwszym rzędzie wielkości stosunku  $d/b$ , natomiast w drugim wielkości pomierzonej odległości ( $d$ ) do pikiety. W etykietach danych zidentyfikowano wpływy błędów poszczególnych zmiennych niezależnych ( $m_\alpha$ ,  $m_d$ ,  $m_N$ ,  $m_S$  – wpisując odpowiednio litery  $\alpha$ ,  $d$ ,  $N$ ,  $S$ ) na bezwzględną dokładność ( $m_P$  – wielkości te oznaczono w etykietach danych literą  $m$ ) wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego (pikiety).



Rys. 2. Wpływ błędu pomiaru kąta ( $m_\alpha$ ) i błędu pomiaru odległości ( $m_d$ ) oraz błędów położenia punktów osnowy ( $m_N$ ,  $m_S$ ) na bezwzględną dokładność pomiaru sytuacyjnego metodą biegunową

Fig. 2. Influence of the angular error ( $m_\alpha$ ) and the distance error ( $m_d$ ) as well as position errors of points of the control network on the absolute horizontal accuracy of the polar method survey

Z wykresu przedstawionego na rys. 2 wynika, że przy założonych błędach pomiarów i błędach położenia punktów osnowy geodezyjnej jedynie przy stosunku  $d/b = 0,1$  możliwe jest wyznaczenie położenia pikiety z dokładnością bezwzględną rzędu 0,10 m. Wyznaczając położenie pikiety oddalonej od stanowiska instrumentu o 700 m (w rozważanej sytuacji  $d/b = 2$ ), błąd jej położenia sytuacyjnego wyniesie  $m_P = 0,23$  m.

Natomiast wyznaczając położenie pikiety oddalonej od stanowiska instrumentu o 3500 m (w rozważanej sytuacji  $d/b = 10$ ), błąd jej położenia sytuacyjnego wyniesie  $m_p = 1,04$  m.

Rozpatrując wielkość wpływu poszczególnych składowych (zmiennych niezależnych), każdej z osobna: błędy pomiaru kąta ( $m_a$ ), błędu pomiaru odległości ( $m_d$ ) i błędów położenia punktów osnowy ( $m_S, m_N$ ), na podstawie rys. 2 stwierdzono, co następuje:

- 1) Jednocześnie ze wzrostem stosunku pomierzonej odległości do pikiety do długości boku nawiązania pomiaru ( $d/b$ ), co w analizowanym przypadku jest jednoznaczne z wyznaczaniem położenia pikiety znajdującej się w większej odległości ( $d$ ) od stanowiska instrumentu, zdecydowanie zwiększa się wpływ składowej wynikającej z tytułu błędu pomiaru kąta ( $m_a$ ). Natomiast wpływ składowej wynikającej z tytułu błędu pomiaru odległości ( $m_d$ ) wzrasta tylko nieznacznie.
- 2) Proporcja wzajemnego stosunku wpływów składowych wynikających z tytułu błędów położenia punktów osnowy geodezyjnej – punktu nawiązania i punktu aktualnego stanowiska instrumentu ( $m_N$  i  $m_S$ ), jednocześnie ze wzrostem wielkości stosunku ( $d/b$ ), zbliża się do jedności (do wartości 1).
- 3) Wyznaczając położenia pikiet znajdujących się w coraz to większej odległości ( $d$ ) od stanowiska instrumentu (w analizowanym przypadku zwiększając wielkość stosunku  $d/b$ ), należy liczyć się ze zdecydowanym spadkiem dokładności pomiaru sytuacyjnego – określonej zarówno wartością błędu bezwzględnego (z uwzględnieniem błędów położenia punktów dowiązania), jak i względną wielkością błędu (wyznaczoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej).

W związku z powyższym należy podkreślić, iż w przypadku rozważania dokładności wyznaczenia położenia pikiety (z uwzględnieniem błędności położenia punktów osnowy) zasadniczy wpływ na nią mają czynniki związane z niedokładnością wykorzystywanych do pomiaru punktów dowiązania.

Ponadto okazuje się, że dominujące znaczenie ma zachowanie odpowiedniego układu geometrycznego: stanowisko – nawiązanie – pikieta, w praktyce odzwierciedlanego przez wielkość stosunku odległości do mierzonej pikiety do długości boku nawiązania pomiaru (optymalnym jest  $d/b \leq 1$ ).

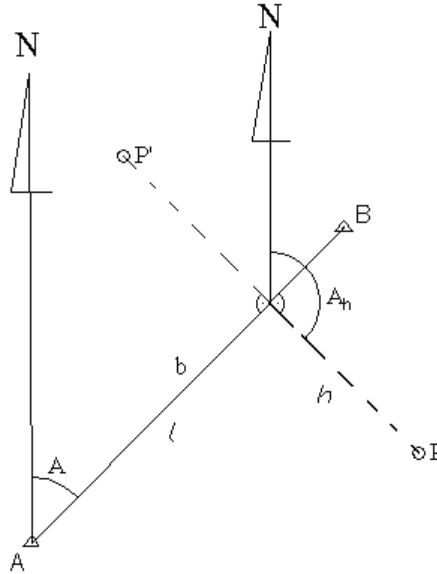
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku pomiarów sytuacyjnych realizowanych na terenach zurbanizowanych możliwość wyznaczenia położenia szczegółów z najwyższą dokładnością (z uwzględnieniem błędności punktów osnowy) zapewnia osnowa III klasy wykonana w technologii odtwarzalnej. Założenie, które – jak wynika z dotychczasowych doświadczeń – w wielu przypadkach eliminuje potrzebę jej rozwijania (przy wykonywaniu szczegółowych pomiarów sytuacyjnych oraz sytuacyjno-wysokościowych [Dąbrowski i Dorzak 1997]) do tradycyjnych ciągów osnowy pomiarowej.

Ponadto punkty osnowy pomiarowej zakładane popularnymi konstrukcjami geodezyjnymi (głównie metodą kąto-liniowych wcięć wstecz) ściśle wyrównywanymi w nawiązaniu do osnowy odtwarzalnej III klasy również charakteryzują się wysoką dokładnością  $m_p \leq 0,04$  m [Dąbrowska i in. 1995b].

Na znaczenie poprawności geometrycznej, konstrukcji geodezyjnych osnów pomiarowych mierzonych tachimetrem elektronicznym, wskazują również inni autorzy [Beluch 1999, Hatowska 1994].

## 2. ANALIZA DOKŁADNOŚCI POMIARU SYTUACYJNEGO METODĄ DOMIARÓW PROSTOKĄTNYCH

W metodzie domiarów prostokątnych wyznaczenie położenia punktu sytuacyjnego realizowane jest w oparciu o pomierzoną rzędną i odciętą tego punktu względem linii pomiarowej, na którą rzutujemy dany punkt sytuacyjny. Ideę pomiaru sytuacyjnego metodą domiarów prostokątnych przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Idea pomiaru sytuacyjnego metodą domiarów prostokątnych  
Fig. 3. Idea of topographic survey of the orthogonal method

Współrzędne wyznaczanego punktu sytuacyjnego ( $P$ ), zgodnie z powyższym rysunkiem, określają następujące zależności:

$$X_P = X_A + l \cdot \cos(A_{AB}) + h \cdot \cos(A_h)$$

$$Y_P = Y_A + l \cdot \sin(A_{AB}) + h \cdot \sin(A_h) \quad (7)$$

przy czym wartości azymutów wynoszą odpowiednio:

– azymut linii pomiarowej

$$A_{AB} = \text{artg} \left( \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \right)$$

– azymut rzędnej (domiaru) do pikiety ( $P$ ) położonej po prawej stronie linii pomiarowej

$$A_h = A_{AB} + 90^\circ$$

– azymut rzędnej (domiaru) do pikiety ( $P'$ ) położonej po lewej stronie linii pomiarowej

$$A_{h'} = A_{AB} + 270^\circ$$

Przyjęte oznaczenia:

- $X_A, Y_A$  – współrzędne punktu początkowego linii pomiarowej,  
 $X_B, Y_B$  – współrzędne punktu końcowego linii pomiarowej,  
 $l$  – pomierzona długość miary bieżącej (odciętej) do pikiety,  
 $h$  – pomierzona długość domiaru (rzędnej) do pikiety.

Kwadrat błędu położenia wyznaczanego punktu wyraża zależność:

$$m_P^2 = m_X^2 + m_Y^2 \quad (8)$$

gdzie:

- $m_X$  – błąd średni współrzędnej  $X$  punktu sytuacyjnego,  
 $m_Y$  – błąd średni współrzędnej  $Y$  punktu sytuacyjnego.

Zgodnie z prawem przenoszenia się błędów średnich Gaussa, traktując wielkości pomierzone i współrzędne punktów dowiązania pomiaru jako zmienne niezależne, wyznaczono na podstawie zależności (7) i (8) błąd położenia punktu sytuacyjnego:

$$m_P = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2} = \sqrt{\left(\frac{l^2 + h^2}{2b^2} + 1 - \frac{l}{b}\right) \cdot m_A^2 + \left(\frac{l^2 + h^2}{2b^2}\right) \cdot m_B^2 + m_l^2 + m_h^2 + h^2 \cdot m_v^2} \quad (9)$$

gdzie:

- $b$  – długość linii pomiarowej,  
 $m_A$  – błąd położenia punktu początkowego linii pomiarowej,  
 $m_B$  – błąd położenia punktu końcowego linii pomiarowej,  
 $m_l$  – błąd średni pomiaru długości miary bieżącej (odciętej) do pikiety,  
 $m_h$  – błąd średni pomiaru długości domiaru (rzędnej) do pikiety,  
 $m_v$  – błąd średni wyznaczenia kierunku prostopadłego do linii pomiarowej (przebiegającego wzdłuż domiaru (rzędnej) do pikiety).

W trakcie przekształceń prowadzących do wzoru (9) założono równość błędów średnich  $m_X$  i  $m_Y$  w błędach położenia punktów dowiązania pomiaru:

$$m_{X_A} = m_{Y_A} = \frac{m_A}{\sqrt{2}}$$

$$m_{X_B} = m_{Y_B} = \frac{m_B}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

Wzór (9) uwzględnia – obok wpływu błędów pomiaru: długości miary bieżącej i długości domiaru do pikiety oraz błędu wyznaczenia kąta prostego – również wpływ błędów położenia punktów osnowy sytuacyjnej (punktu początkowego i końcowego linii pomiarowej) dowiązującej pomiar do poziomej osnowy geodezyjnej.

## Wpływ błędów pomiarowych na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego

Określenie wpływu błędów pomiaru długości miary bieżącej (odciętej) i długości domiaru (rzędnej) do pikiety oraz błędu wyznaczenia kąta prostego na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego wykonano przy założeniu braku błędów położenia punktów dowiązania pomiaru:

$$m_{P(pom)} = \sqrt{m_l^2 + m_h^2 + h^2 \cdot m_\gamma^2} \quad (11)$$

Analizę przeprowadzono dla:

- parametrów pomiaru określonych w tab. II § 28 obowiązującej instrukcji G-4;
- wymogów dokładności pomiarów sytuacyjnych sformułowanych w projekcie instrukcji G-4;
- dokładności sytuacyjnych pomiarów szczegółowych realizowanych z wykorzystaniem przyrządów wstępowych do pomiaru długości odciętej i rzędnej oraz węgielnicy dwuprzymatycznej do wyznaczenia kąta prostego lub z ewentualną możliwością pomiaru długości miary bieżącej (odciętej) tachimetrem elektronicznym – w sytuacji zastosowania metody domiarów prostokątnych jako uzupełniającej w trakcie zdjęcia sytuacyjnego metodą biegunową (w 3 wariantach – konfiguracjach sprzętowych – dla pomiaru liniowego, z ich rozróżnieniem pod względem wielkości błędów pomiarowych).

Tabela 5a. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów pomiaru długości odciętej ( $m_l$ ) i rzędnej ( $m_h$ ) dopuszczalnych zgodnie z wymogami obowiązującej instrukcji G-4 oraz potencjalnych wielkości błędu wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma$ )

Table 5a. Accuracy of position determination of topographic point due to the survey errors of the abscissa length ( $m_l$ ) and of the ordinate length ( $m_h$ ) acceptable in accordance with requirements of the G-4 Instruction as well as potential error of determination of right angle ( $m_\gamma$ )

$m_\gamma$		$m_{P(pom)}$ wyznaczony ze wzoru (11) [m] $m_{P(pom)}$ determined basing on the formula (11)											
		Długość rzędnej do pikiety ( $h$ ) [m] Length of ordinate to a topographic point ( $h$ )											
		0,5	1	2	5	10	15	20	25	30	50	70	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Szczegóły I grupy dokładnościowej $m_l = m_h = 0,05$ m Details of the 1 <sup>st</sup> accuracy group													
1'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	–	–	–	
2'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	0,072	–	–	–	
3'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	0,073	0,074	–	–	–	
Szczegóły II grupy dokładnościowej $m_l = m_h = 0,05$ m Details of the 2 <sup>nd</sup> accuracy group													
1'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	–	
2'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	0,072	0,073	0,076	–	
3'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	0,073	0,074	0,075	0,083	–	
Szczegóły III grupy dokładnościowej $m_l = m_h = 0,10$ m Details of the 3 <sup>rd</sup> accuracy group													
1'	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,142	0,142	0,142	0,142	0,143	
2'	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142	0,144	0,147	
3'	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,142	0,142	0,142	0,143	0,144	0,148	0,154	

Tabela 5b. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów pomiaru długości odciętej ( $m_l$ ) i rzędnej ( $m_h$ ) dopuszczalnych zgodnie z zaleceniami projektu instrukcji G-4 oraz potencjalnych wielkości błędu wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma$ )

Table 5b. Accuracy of position determination of topographic point due to the survey errors of the abscissa length ( $m_l$ ) and of the ordinate length ( $m_h$ ) acceptable in accordance with requirements of the draft G-4 Instruction as well as potential error of determination of right angle ( $m_\gamma$ )

		$m_{P(pom)}$ wyznaczone ze wzoru (11) [m] $m_{P(pom)}$ determined basing on the formula (11)										
$m_\gamma$	Długość rzędnej do pikiety (h) [m] Length of ordinate to a topographic point (h)											
	0,5	1	2	5	10	15	20	25	30	50	70	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Szczegóły I grupy dokładnościowej $m_l = m_h = 0,01$ m Details of the 1 <sup>st</sup> accuracy group												
1'	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,015	0,016	–	–	–
2'	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,017	0,018	0,020	–	–	–
3'	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,017	0,019	0,022	0,026	–	–	–
Szczegóły II grupy dokładnościowej $m_l = m_h = 0,05$ m Details of the 2 <sup>nd</sup> accuracy group												
1'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	–
2'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	0,072	0,073	0,076	–
3'	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	0,073	0,074	0,075	0,083	–
Szczegóły III grupy dokładnościowej $m_l = m_h = 0,10$ m Details of the 3 <sup>rd</sup> accuracy group												
1'	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,142	0,142	0,142	0,142	0,143
2'	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142	0,144	0,147
3'	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,142	0,142	0,142	0,143	0,144	0,148	0,154

Tabela 5c. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od wielkości błędów – pomiaru długości odciętej ( $m_l$ ) i rzędnej ( $m_h$ ) oraz wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma$ ) – występujących przy realizacji współczesnych ortogonalnych sytuacyjnych pomiarów szczegółowych

Table 5c. Accuracy of position determination of topographic point due to the errors of survey – of the abscissa length ( $m_l$ ) and of the ordinate length ( $m_h$ ) as well as error of determination of right angle ( $m_\gamma$ ) – characteristic to contemporary topographic survey of the orthogonal method

		$m_{P(pom)}$ wyznaczone ze wzoru (11) [m] $m_{P(pom)}$ determined basing on the formula (11)										
$m_\gamma$	Długość rzędnej do pikiety (h) [m] Length of ordinate to a topographic point (h)											
	0,5	1	2	5	10	15	20	25	30	50	70	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Błąd pomiaru długości: miary bieżącej $m_l = 0,003m + 3$ ppm, domiaru $m_h = 0,01$ m Error of survey of: the abscissa length $m_l = 0,003m + 3$ ppm, the ordinate length $m_h = 0,01$ m												
1'	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012	0,013	0,014	0,018	0,023
2'	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,031	0,042
3'	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,014	0,017	0,020	0,024	0,028	0,045	0,062
Błąd pomiaru długości: miary bieżącej $m_l = 0,005m + 5$ ppm, domiaru $m_h = 0,02$ m Error of survey of: the abscissa length $m_l = 0,005m + 5$ ppm, the ordinate length $m_h = 0,02$ m												
1'	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,022	0,022	0,025	0,029
2'	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,022	0,024	0,025	0,027	0,036	0,046
3'	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,022	0,024	0,027	0,030	0,033	0,048	0,064
Błąd pomiaru długości: miary bieżącej $m_l = 0,01m + 5$ ppm, domiaru $m_h = 0,03$ m Error of survey of: the abscissa length $m_l = 0,01m + 5$ ppm, the ordinate length $m_h = 0,03$ m												
1'	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,033	0,035	0,038
2'	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,043	0,052
3'	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,033	0,034	0,036	0,038	0,041	0,054	0,069

W przeprowadzonych przez autora analizach [Daskocz 2005b] uwzględniono, że maksymalny błąd wyznaczenia kąta prostego węgielnicy może wynieść  $\pm 6'$  (stwierdzona empirycznie maksymalna wielkość błędu [Kluźniak 1954]). Rozpatrzono również minimalną wielkość tego błędu  $\pm 1'$  (wartość wynikającą tylko z tytułu precyzji szlifów pryzmatów węgielnicy [Leśniok 1979]) oraz przeciętną wielkość błędu  $\pm 3'$ .

Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego (pikiety) w zależności od błędów pomiaru długości odciętej i rzędnej oraz błędu wyznaczenia kąta prostego obliczono ze wzoru (11). W niniejszej pracy, w obliczeniach przyjęto kolejno następujące wielkości błędu wyznaczenia kąta prostego węgielnicy:  $\pm 1'$ ,  $\pm 2'$ ,  $\pm 3'$ . Wyniki zestawiono w tabelach 5a, 5b i 5c (wartości  $m_{P(pom)}$  wyrażono w metrach).

### **Wpływ błędów położenia punktów osnowy na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego**

Określenie wpływu błędów położenia punktów dowiązania na dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego wykonano przy założeniu bezbłędności: pomiaru długości miary bieżącej (odciętej) i długości domiaru (rzędnej) do pikiety oraz wyznaczenia kąta prostego, z zastosowaniem następującej formuły:

$$m_{P(os)} = \sqrt{\left(\frac{l^2 + h^2}{2b^2} + 1 - \frac{l}{b}\right) \cdot m_A^2 + \left(\frac{l^2 + h^2}{2b^2}\right) \cdot m_B^2} \quad (12)$$

Analizę przeprowadzono dla 6 wariantów, przyjmując do obliczeń wielkości błędów położenia punktów:

- I – osnowy odtwarzalnej III klasy (stwierdzony empirycznie  $m_P \leq 0,03$  m) [Dąbrowski i in. 1992];
- II – osnowy pomiarowej ściśle wyrównanej w nawiązaniu do osnowy odtwarzalnej III klasy (stwierdzony empirycznie  $m_P \leq 0,05$  m) [Dąbrowska i in. 1995a];
- III – osnowy szczegółowej III klasy (założonej przy użyciu systemu satelitarnego zgodnie z projektem instrukcji G-2  $m_P \leq 0,07$  m) [Projekt 2001a];
- IV – osnowy szczegółowej III klasy (zgodnie z wymogami obowiązującej instrukcji technicznej G-4  $m_P \leq 0,10$  m, jest to jednocześnie dopuszczalny błąd położenia punktu osnowy pomiarowej założonej zgodnie z zaleceniami projektu instrukcji O-1/O-2) [Projekt 2001b];
- V – osnowy pomiarowej (zgodnie z wymogami obowiązującej instrukcji G-4  $m_P \leq 0,20$  m);
- VI – osnowy pomiarowej dla terenów rolnych i leśnych (zgodnie z wymogami obowiązującej instrukcji G-4  $m_P \leq 0,50$  m).

W zasadniczych przypadkach (oznaczonych literą *a*) założono równość błędów położenia punktów osnowy sytuacyjnego dowiązania pomiaru (punktu początkowego linii pomiarowej i punktu końcowego linii pomiarowej  $m_A = m_B$ ). Natomiast w innych (oznaczonych literą *b*) uwzględniono także możliwość zróżnicowania dokładności położenia punktu początkowego i punktu końcowego linii pomiarowej – mianowicie założono, że linie pomiarowe kończą się na punktach poziomej osnowy geodezyjnej wyższej klasy (o mniejszym błędzie położenia punktu).



Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów położenia punktów osnowy określono ze wzoru (12). W pracy przedstawiono wyniki uzyskane przy długości linii pomiarowej  $b = 300$  m oraz przy założonych wartościach: wielkości stosunku ( $l/b$ ) pomierzonej długości miary bieżącej (odciętej) do długości linii pomiarowej (wynoszące kolejno: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1) oraz długości domiaru (rzędnej) do pikiety (wynoszące kolejno w metrach: 1; 5; 10; 20; 25; 50; 70).

Przyjęte w analizie wielkości długości miary bieżącej ( $l$ ), wyrażone pośrednio poprzez wielkości stosunku  $l/b$  i przyjętą długości linii pomiarowej, wynoszą odpowiednio (tab. 2.2):

Tabela 6. Długość miary bieżącej wynikająca z założonych wielkości stosunku  $l/b$  i długości linii pomiarowej

Table 6. Length of abscissa resultant from proportion  $l/b$  and length of base line of the control network

$l/b$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
$l$ [m]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330

Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego z zależności (12) zestawiono w tabeli 7 (wartości  $m_{P(0s)}$  wyrażono w metrach).

Tabela 7. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego w zależności od błędów położenia punktów osnowy przy długości linii pomiarowej  $b = 300$  m

Table 7. Accuracy of position determination of topographic point due to position errors of points of the control network and using length of base line of the control network  $b = 300$  m

Wariant Variant	Długość rzędnej Length of ordinate	$m_{P(0s)}$ wyznaczony ze wzoru (12) [m] $m_{P(0s)}$ determined basing on the formula (12)										
		Wielkość stosunku pomierzonej odległości do długości boku osnowy ( $l/b$ ) Proportion surveyed distance to length of base line of the control network ( $l/b$ )										
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_A = 0,03$ m $m_B = 0,03$ m	$h = 25$ m	0,029	0,028	0,027	0,026	0,026	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,032
	$h = 50$ m	0,029	0,028	0,027	0,027	0,026	0,027	0,027	0,028	0,029	0,030	0,032
	$h = 70$ m	0,029	0,028	0,028	0,027	0,027	0,027	0,028	0,028	0,029	0,031	0,032
$m_A = 0,05$ m $m_B = 0,05$ m	$h = 25$ m	0,048	0,046	0,045	0,044	0,044	0,044	0,045	0,046	0,048	0,050	0,053
	$h = 50$ m	0,048	0,047	0,045	0,044	0,044	0,044	0,045	0,047	0,048	0,051	0,053
	$h = 70$ m	0,049	0,047	0,046	0,045	0,045	0,045	0,046	0,047	0,049	0,051	0,054
$m_A = 0,05$ m $m_B = 0,03$ m	$h = 25$ m	0,048	0,046	0,044	0,042	0,041	0,040	0,040	0,040	0,040	0,041	0,043
	$h = 50$ m	0,048	0,046	0,044	0,043	0,041	0,041	0,040	0,040	0,041	0,042	0,043
	$h = 70$ m	0,049	0,046	0,045	0,043	0,042	0,041	0,041	0,041	0,041	0,042	0,044
$m_A = 0,07$ m $m_B = 0,07$ m	$h = 25$ m	0,067	0,064	0,062	0,061	0,061	0,061	0,062	0,064	0,067	0,070	0,074
	$h = 50$ m	0,068	0,065	0,063	0,062	0,062	0,062	0,063	0,065	0,068	0,071	0,075
	$h = 70$ m	0,069	0,066	0,064	0,063	0,063	0,063	0,064	0,066	0,069	0,072	0,076
$m_A = 0,10$ m $m_B = 0,10$ m	$h = 25$ m	0,096	0,092	0,089	0,088	0,087	0,088	0,089	0,092	0,096	0,100	0,106
	$h = 50$ m	0,097	0,093	0,090	0,089	0,088	0,089	0,090	0,093	0,097	0,101	0,107
	$h = 70$ m	0,098	0,095	0,092	0,090	0,090	0,090	0,092	0,095	0,098	0,103	0,108

Tabela 7. cd.  
Table 7. cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
IV – b	$h = 25$ m	0,096	0,091	0,088	0,085	0,083	0,082	0,082	0,083	0,084	0,087	0,090
$m_A = 0,10$ m	$h = 50$ m	0,096	0,092	0,089	0,086	0,084	0,083	0,083	0,084	0,085	0,088	0,091
$m_B = 0,07$ m	$h = 70$ m	0,097	0,093	0,090	0,087	0,085	0,084	0,084	0,085	0,086	0,089	0,092
V – a	$h = 25$ m	0,192	0,184	0,179	0,175	0,174	0,175	0,179	0,184	0,192	0,201	0,211
$m_A = 0,20$ m	$h = 50$ m	0,194	0,186	0,181	0,178	0,176	0,178	0,181	0,186	0,194	0,203	0,213
$m_B = 0,20$ m	$h = 70$ m	0,196	0,189	0,184	0,180	0,179	0,180	0,184	0,189	0,196	0,205	0,216
V – b	$h = 25$ m	0,191	0,182	0,174	0,168	0,163	0,159	0,156	0,155	0,156	0,159	0,163
$m_A = 0,20$ m	$h = 50$ m	0,192	0,184	0,176	0,169	0,164	0,160	0,158	0,157	0,158	0,160	0,164
$m_B = 0,10$ m	$h = 70$ m	0,194	0,185	0,178	0,171	0,166	0,162	0,160	0,159	0,160	0,162	0,166
VI – a	$h = 25$ m	0,479	0,460	0,446	0,438	0,435	0,438	0,446	0,460	0,479	0,502	0,528
$m_A = 0,50$ m	$h = 50$ m	0,484	0,466	0,452	0,444	0,441	0,444	0,452	0,466	0,484	0,507	0,533
$m_B = 0,50$ m	$h = 70$ m	0,491	0,473	0,459	0,451	0,448	0,451	0,459	0,473	0,491	0,513	0,540
VI – b	$h = 25$ m	0,477	0,454	0,433	0,414	0,398	0,384	0,374	0,366	0,362	0,362	0,365
$m_A = 0,50$ m	$h = 50$ m	0,479	0,457	0,436	0,418	0,401	0,388	0,377	0,370	0,366	0,366	0,369
$m_B = 0,10$ m	$h = 70$ m	0,483	0,461	0,440	0,422	0,406	0,392	0,382	0,375	0,371	0,370	0,373

### Średni błąd położenia punktu sytuacyjnego wyznaczonego metodą domiarów prostokątnych z uwzględnieniem błędności punktów osnowy geodezyjnej

Średni błąd położenia punktu sytuacyjnego wyznaczonego metodą ortogonalną z uwzględnieniem błędności punktów osnowy (punktu początkowego i końcowego linii pomiarowej), obok wpływu błędów: pomiaru odciętej i rzędnej oraz realizacji kąta prostego, określono ze wzoru (9).

W badaniach uwzględniono trzy konfiguracje sprzętowe (rozdzielone pod względem dokładności: pomiaru odciętej i rzędnej oraz realizacji kąta prostego) [Doskocz 2005b]:

- I) błąd pomiaru długości odciętej i rzędnej ( $m_l = m_h = 0,01$  m) oraz błąd wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma = 3'$ ),
- II) błąd pomiaru długości odciętej i rzędnej ( $m_l = m_h = 0,03$  m) oraz błąd wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma = 5'$ ),
- III) błąd pomiaru długości odciętej i rzędnej ( $m_l = m_h = 0,05$  m) oraz błąd wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma = 10'$ ).

W obliczeniach założono również wielkość stosunku ( $l/b$ ) pomierzonej długości miary bieżącej (odciętej) do długości linii pomiarowej (wynoszącą kolejno: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1) oraz długość domiaru (rzędnej) do pikiety (wynoszącą kolejno: 10; 25; 50; 70).

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki uzyskane dla 1. konfiguracji sprzętowej (charakteryzującej się najwyższą dokładnością pomiaru odciętej i rzędnej oraz realizacji kąta prostego), przy założeniu długości linii pomiarowej równej 100 m. Zestawiono je w tabeli 8 (wartości  $m_p$  wyrażono w metrach).

Tabela 8. Dokładność wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego metodą pomiaru ortogonalnego (z uwzględnieniem błędów punktów osnowy) wykonanego z wykorzystaniem I konfiguracji sprzętowej przy długości linii pomiarowej  $b = 100$  m  
 Table 8. The accuracy of position determination of topographic point with the orthogonal method survey (with consideration errors of points of the control network) realized using I configuration of equipment and length of base line  $b = 100$  m

$m_A = m_B$	Długość rzędnej Length of ordinate	$m_p$ wyznaczony ze wzoru (9) [m] $m_p$ determined basing on the formula (9)											
		Wielkość stosunku pomierzonej odległości do długości boku osnowy ( $l/b$ ) Proportion surveyed distance to length of base line of the control network ( $l/b$ )											
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0,03 m	$h = 10$ m	0,033	0,032	0,032	0,031	0,031	0,031	0,032	0,032	0,033	0,034	0,036	
	$h = 25$ m	0,039	0,039	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,039	0,039	0,040	0,042	
	$h = 50$ m	0,056	0,056	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,056	0,056	0,057	0,058	
	$h = 70$ m	0,072	0,072	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,072	0,072	0,073	0,073	
0,05 m	$h = 10$ m	0,051	0,049	0,048	0,047	0,047	0,047	0,048	0,049	0,051	0,053	0,055	
	$h = 25$ m	0,056	0,054	0,053	0,052	0,052	0,052	0,053	0,054	0,056	0,058	0,060	
	$h = 50$ m	0,071	0,069	0,069	0,068	0,068	0,068	0,069	0,069	0,071	0,072	0,074	
0,07 m	$h = 10$ m	0,069	0,067	0,065	0,064	0,063	0,064	0,065	0,067	0,069	0,072	0,076	
	$h = 25$ m	0,074	0,071	0,070	0,069	0,068	0,069	0,070	0,071	0,074	0,077	0,080	
	$h = 50$ m	0,088	0,086	0,085	0,084	0,084	0,084	0,085	0,086	0,088	0,091	0,094	
	$h = 70$ m	0,104	0,102	0,101	0,100	0,100	0,100	0,101	0,102	0,104	0,106	0,108	
0,10 m	$h = 10$ m	0,097	0,094	0,091	0,089	0,089	0,089	0,091	0,094	0,097	0,102	0,107	
	$h = 25$ m	0,102	0,098	0,096	0,094	0,094	0,094	0,096	0,098	0,102	0,106	0,111	
	$h = 50$ m	0,117	0,114	0,112	0,110	0,110	0,110	0,112	0,114	0,117	0,121	0,125	
	$h = 70$ m	0,134	0,131	0,129	0,128	0,128	0,128	0,129	0,131	0,134	0,137	0,141	
0,20 m	$h = 10$ m	0,193	0,185	0,180	0,176	0,175	0,176	0,180	0,185	0,193	0,202	0,212	
	$h = 25$ m	0,199	0,192	0,186	0,183	0,182	0,183	0,186	0,192	0,199	0,208	0,218	
	$h = 50$ m	0,220	0,214	0,209	0,206	0,205	0,206	0,209	0,214	0,220	0,228	0,238	
	$h = 70$ m	0,245	0,239	0,235	0,232	0,231	0,232	0,235	0,239	0,245	0,252	0,261	
0,50 m	$h = 10$ m	0,480	0,461	0,448	0,439	0,436	0,439	0,448	0,461	0,480	0,503	0,529	
	$h = 25$ m	0,494	0,476	0,462	0,454	0,451	0,454	0,462	0,476	0,494	0,516	0,542	
	$h = 50$ m	0,540	0,524	0,512	0,505	0,502	0,505	0,512	0,524	0,540	0,561	0,585	
	$h = 70$ m	0,595	0,580	0,569	0,563	0,560	0,563	0,569	0,580	0,595	0,614	0,636	

**Podsumowanie przeprowadzonych badań i analiz odnośnie dokładności pomiaru sytuacyjnego metodą domiarów prostokątnych**

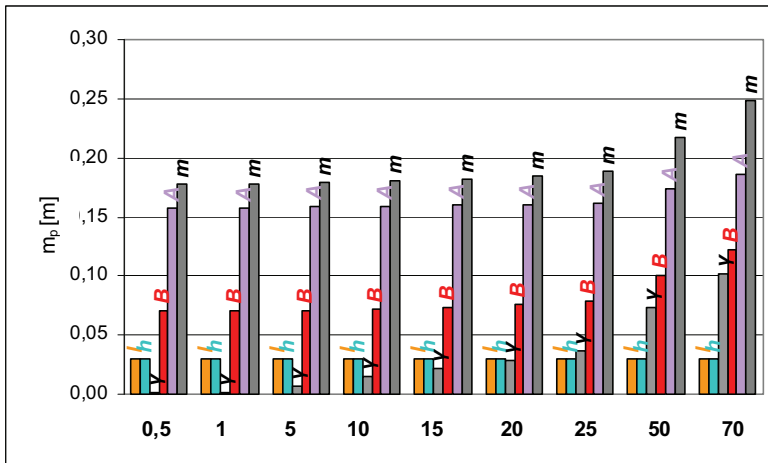
W zakresie obowiązującej instrukcji G-4 potwierdzono poprawność zawartych w niej parametrów dokładnościowych pomiarów. Mianowicie stwierdzono, że – w przypadku wyznaczania położenia szczegółów terenowych poszczególnych grup – możliwe jest zdjęcie sytuacyjne szczegółów z wymaganą dokładnością położenia punktu mierzoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej (tab. 5a).

W zakresie zalecanych dokładności pomiaru określonych w projekcie instrukcji G-4 również potwierdzono poprawność zawartych w nim parametrów dokładnościowych pomiarów (tab. 5b).

Przeprowadzone badania wskazały możliwość zwiększenia wymogów dokładnościowych (określonych względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej) odnośnie do współcześnie realizowanych szczegółowych pomiarów sytuacyjnych metodą domiarów prostokątnych. Ortogonalne pomiary sytuacyjne zapewniają wyznaczenie położenia pikiety przy długości domiaru (rzędnej) ograniczonej do 25 m, w zakresie szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej przy ich starannej identyfikacji, z dokładnością nie gorszą niż 0,05 m (tab. 5c).

Z przeprowadzonych analiz dokładności pomiaru punktu sytuacyjnego wykonanego metodą domiarów prostokątnych wynika, że dla zapewnienia pożądanej dokładności wyznaczenia położenia sytuacyjnego pikiety (z uwzględnieniem błędności punktów osnowy) kluczowe znaczenie ma dokładność położenia punktów osnowy sytuacyjnego dowiązania pomiaru, tj. punktu początkowego linii pomiarowej ( $A$ ) i punktu końcowego linii pomiarowej ( $B$ ) oraz dokładność wyznaczenia kierunku prostopadłego do linii pomiarowej ( $\gamma$ ).

Wielkość wpływu poszczególnych składowych: błędu pomiaru długości miary bieżącej ( $m_l$ ), błędu pomiaru długości domiaru ( $m_h$ ) do pikiety i błędu wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma$ ) oraz błędów położenia punktów osnowy ( $m_A$ ,  $m_B$ ) zaprezentowano na rysunku 4.



Rys. 4. Wpływ błędu pomiaru długości miary bieżącej ( $m_l$ ), błędu pomiaru długości domiaru ( $m_h$ ) do pikiety i błędu wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma$ ) oraz błędów położenia punktów osnowy ( $m_B$ ,  $m_A$ ) na bezwzględną dokładność pomiaru sytuacyjnego metodą domiarów prostokątnych

Fig. 4. Influence of the errors of survey: of the abscissa length ( $m_l$ ), of the ordinate length ( $m_h$ ) and error of determination of right angle ( $m_\gamma$ ) as well as position errors of points of the control network ( $m_B$ ,  $m_A$ ) on the absolute horizontal accuracy of the orthogonal method survey

Zależność przedstawiono dla przypadku wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego metodą domiarów prostokątnych zrealizowanego z wykorzystaniem drugiej konfiguracji sprzętowej ( $m_l = m_h = 0,03$  m,  $m_\gamma = 5'$ ), w nawiązaniu do poziomej osnowy geodezyjnej o dokładności  $m_p = 0,20$  m, dla przyjętych długości domiaru (rzędnej) do pikiety wynoszących kolejno (w metrach): 0,5; 1; 5; 10; 15; 20; 25; 50; 70.

Dodatkowo założono, iż długość linii pomiarowej ( $b$ ) wynosi 100 m a wielkość stosunku pomierzonej długości miary bieżącej (odciętej) do długości linii pomiarowej  $l/b = 0,5$  (co jest jednoznaczne z długością miary bieżącej równą 50 m).

Na osi pionowej wykresu umieszczono wielkości błędu położenia punktu sytuacyjnego wyrażone w metrach. Na osi poziomej zawarto długości domiaru (rzędnej) do pikiety. W etykietach danych zidentyfikowano wpływy błędów poszczególnych zmiennych niezależnych ( $m_l, m_h, m_\gamma, m_B, m_A$  – wpisując odpowiednio litery  $l, h, \gamma, B, A$ ) na bezwzględną dokładność ( $m_p$  – wielkości te oznaczono w etykietach danych literą  $m$ ) wyznaczenia położenia punktu sytuacyjnego (pikiety).

Rozpatrując wielkość wpływu poszczególnych składowych (zmiennych niezależnych), każdej z osobna: błędu pomiaru długości miary bieżącej ( $m_l$ ), błędu pomiaru długości domiaru ( $m_h$ ) do pikiety i błędu wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma$ ) oraz błędów położenia punktów osnowy ( $m_A, m_B$ ), na podstawie powyższego rysunku 4 stwierdzono, co następuje:

- 1) Jednocześnie ze wzrostem długości domiaru ( $h$ ) do pikiety zdecydowanie zwiększa się wpływ składowej wynikającej z tytułu błędu wyznaczenia kąta prostego ( $m_\gamma$ ). Natomiast wpływ składowych wynikających z tytułu błędu pomiaru długości odciętej ( $m_l$ ) i błędu pomiaru rzędnej ( $m_h$ ) utrzymuje się na poziomie niezmiennym.
- 2) Proporcja wzajemnego stosunku wpływów składowych wynikających z tytułu błędów położenia punktów osnowy geodezyjnej – punktu końcowego linii pomiarowej i punktu początkowego linii pomiarowej ( $m_B$  i  $m_A$ ), przy zauważalnym wzroście wpływu obu składowych dla długości domiaru powyżej 20 m, przyjmuje wartości rzędu  $0,4 \div 0,6$ .
- 3) Wyznaczając położenia pikiet znajdujących się w coraz to większej odległości od linii pomiarowej (przy długości rzędnej  $h$  powyżej 20 m), należy liczyć się ze spadkiem dokładności pomiaru sytuacyjnego – określonej zarówno wartością błędu bezwzględnego (z uwzględnieniem błędów położenia punktów dowiązania) jak i względną wielkością błędu (wyznaczoną względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej).
- 4) W przypadku rozważania bezwzględnej dokładności wyznaczenia położenia pikiety zasadniczy wpływ na nią mają czynniki związane z niedokładnością wykorzystywanych do pomiaru punktów dowiązania.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej (przy ich starannej identyfikacji) metodą domiarów prostokątnych (przy długości rzędnej ograniczonej do 25 m) z dokładnością nie gorszą niż 0,05 m (względem punktów dowiązania pomiaru).

W związku z dużą pracochłonnością ortogonalnych pomiarów szczegółowych i znikomą możliwością automatyzacji zarówno pomiarów, jak i zapisu ich wyników – w przypadku pomiarów sytuacyjnych (zwłaszcza tych realizowanych na terenach zurbanizowanych) uzasadnione jest stosowanie metody domiarów prostokątnych jedynie jako metody uzupełniającej; wykorzystywanej w niewielkim zakresie w stosunku do dominującej w pomiarach sytuacyjnych metody biegunowej (wykonywanej z zastosowaniem instrumentów typu *total station*).

## PODSUMOWANIE

Rozpatrując dokładność szczegółowych pomiarów sytuacyjnych realizowanych metodą biegunową względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej, należy uwzględnić, oprócz błędów pomiaru kierunku i odległości do pikiety, również błąd kierunku nawiązania. Zapewnia to weryfikację wymogów instrukcji technicznych w zakresie dopuszczalnych odległości od stanowiska instrumentu do szczegółu sytuacyjnego. W ramach prezentowanych badań stwierdzono, że parametry pomiaru określone w tab. III instrukcji G-4 są zbyt liberalne. Mianowicie, wyznaczenie szczegółu sytuacyjnego I grupy dokładnościowej (zgodnie z warunkami pomiaru zawartymi w instrukcji G-4) powinno być realizowane w przypadku pikiet oddalonych od stanowiska tachimetru elektronicznego nie dalej niż 400 m (tab. 1a). Przyjęte w Instrukcji G-4 parametry pomiaru nie pozwalają na pomiar szczegółów I grupy przy długościach celowych rzędu 700 m.

Natomiast warunki pomiaru biegunowego zawarte w §19 projektu instrukcji G-4 są nieadekwatne do parametrów dokładnościowych współczesnych tachimetrów elektronicznych – np. I lub II konfiguracja sprzętowa przyjęta w niniejszej pracy ( $m_a = 3''$ ,  $m_d = 0,002 \text{ m} + 2 \text{ ppm}$  lub  $m_a = 5''$ ,  $m_d = 0,003 \text{ m} + 3 \text{ ppm}$ ). W świetle przeprowadzonych badań należy zauważyć, iż możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej (przy ich starannej identyfikacji) w odległościach do 700 m od stanowiska tachimetru nawet z dokładnością rzędu  $0,01 \pm 0,02 \text{ m}$  względem najbliższych punktów poziomej osnowy geodezyjnej (tab. 1c, kol. 10).

Badania zrealizowane w zakresie szczegółowych pomiarów sytuacyjnych wykonywanych metodą domiarów prostokątnych, potwierdziły poprawność parametrów określonych w obowiązującej instrukcji G-4 oraz w jej projekcie z 2002 roku.

Natomiast w sytuacji użycia metody ortogonalnej jako metody uzupełniającej, w pomiarach sytuacyjnych realizowanych metodą biegunową z wykorzystaniem współczesnych tachimetrów elektronicznych, możliwe jest wyznaczenie położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej (przy ich starannej identyfikacji, dla długości domiaru do pikiety ograniczonej do 25 m) z dokładnością rzędu  $0,02 \pm 0,04 \text{ m}$  względem punktów dowiązania pomiaru (tab. 5c, kol. 9).

W praktyce geodezyjnej sytuacyjne pomiary terenowe wykonywane są za pomocą nie tylko jednorodnych zestawów pomiarowych, w zakresie stosowanych tachimetrów elektronicznych i przyrządów zwrotnych.

Ponadto położenie punktów szczegółowych i pomiarowych osnów geodezyjnych często wyznaczone jest z niewystarczającą dokładnością [Latoś 2000, Dąbrowski i Dorskocz 2000].

Jak widać z zaprezentowanych wyników analiz, istnieje potrzeba weryfikacji obowiązujących wymogów instrukcyjnych w zakresie przyjętych parametrów pomiaru sytuacyjnego metodą biegunową oraz dopuszczalnych błędów położenia punktów osnów geodezyjnych. Działania te są niezbędne w celu zapewnienia realizacji zadań geodezji gospodarczej na obowiązującym poziomie dokładności [Latoś 2000, Dorskocz 2005a].

**PIŚMIENNICTWO**

- Beluch J., 1999. Accuracy aspect of the densification of geodetic network by means of free stations. *Geodezja i Kartografia*, T. XLVIII, Z. 1–2, 19–37.
- Dąbrowska D., Dąbrowski W., Lewandowicz E., Nojak J., Wierciński T., 1995a. Sytuacyjna mapa numeryczna z pomiarów bezpośrednich – pierwsze doświadczenia nauczania technologii, [w:] V Konferencja Naukowo-Techniczna – *Systemy Informacji Przestrzennej*. Warszawa 9–10 listopada, 339–342.
- Dąbrowska D., Dąbrowski W., Lewandowicz E., Nojak J., Wierciński T., 1995b. Propozycja nauczania technologii mapy numerycznej z pomiarów bezpośrednich. Streszczenie referatu, [w:] Materiały Seminarium p.t. – Wspomaganie komputerowe nauczania przedmiotów komunikacyjnych i geodezyjnych na Wydziałach Budownictwa Lądowego. Gliwice 16–17 listopada, „50-lecie Politechniki Śląskiej”, s. 81.
- Dąbrowski W. i in., 1992. Osnowa odtwarzalna III klasy m. Bielsko-Biała zrealizowana z wykorzystaniem techniki GPS. *Prz. Geod.* Nr 5, 9–11.
- Dąbrowski W., Dorzak A., 1997. Perspektywy rozwoju technologii osnów odtwarzalnych w świetle 12-letnich doświadczeń. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Seria: Geodezja i Urządzenia Rolne XIV*, Nr 324, 99–112.
- Dąbrowski W., Dąbrowska D., Lewandowicz E., Wierciński T., 1998. Doświadczalne wyznaczenie dokładności mapy numerycznej z pomiarów bezpośrednich. [w:] VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – *Systemy Informacji Przestrzennej*. Warszawa 19–21 maja, Tom 1, 99–102.
- Dąbrowski W., Doskocz A., 2000. Osnowy za mało dokładne. *GEODETA* Nr (62) 7, 68–69.
- Doskocz A., 2005a. Analiza dokładności obliczenia pola powierzchni ze współrzędnych. *Prz. Geod.* Nr 4, 3–6.
- Doskocz A., 2005b. Ekspertyza dotycząca zasad i dokładności pomiarów wykonywanych metodą biegunową i metodą domiarów prostokątnych przy pomocy nowoczesnego sprzętu pomiarowego oraz zasad wykorzystywania wyników tych pomiarów dla potrzeb ewidencji gruntów i budynków w nawiązaniu do obowiązującej instrukcji G-4. Maszynopis powielony (62 s.), Opracowanie wykonane na zamówienie Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii z siedzibą w Warszawie.
- Hatowska D., 1994. Osnowa pomiarowa dla celów pomiarów szczegółowych przy pomocy Total Station, [w:] Konferencja Naukowo-Techniczna – *Automatyzacja procesu pozyskiwania danych i tworzenia mapy cyfrowej*. Olsztyn – Kikity 11–12 marca, 6 s.
- Instrukcja techniczna G-1. Pozioma osnowa geodezyjna. GUGiK.
- Instrukcja techniczna G-4. Pomiary sytuacyjne i wysokościowe. GUGiK.
- Kluźniak S., 1954. *Geodezja*. Tom I. PWN, Warszawa.
- Latoś S., 2000. O potrzebie i kierunkach zmian niektórych przepisów w zakresie poziomych osnów geodezyjnych i szczegółowych pomiarów sytuacyjnych. *Prz. Geod.* Nr 3, 3–8.
- Leśniok H., 1979. *Wykłady z geodezji I*. Tom 1. PWN, Warszawa.
- Lizończyk M., 2000. Nominalna dokładność instrumentów pomiarowych a ich dokładność użytkowa – rozważania związane z lekturą normy PN/ISO 8322, *Prz. Geod.* Nr 3, 15–17.
- Opracowanie, 2000. *Opracowanie Redakcji Magazynu: Tachimetry elektroniczne*. *GEODETA* Nr (67) 12, 43–49.
- Opracowanie, 2001. *Opracowanie Redakcji Magazynu: Kup pan tachimetr*. *GEODETA* Nr (79) 12, s. 13–19.
- Projekt, 2001a. Projekt Instrukcji technicznej G-2. Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami. Główny Urząd Geodezji i Kartografii.
- Projekt, 2001b. Projekt Instrukcji technicznej O-1/O-2: Ogólne zasady wykonywania prac geodezyjnych i kartograficznych. Główny Urząd Geodezji i Kartografii.
- Projekt, 2002. Projekt Instrukcji technicznej G-4: Pomiary sytuacyjne i wysokościowe. Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

Pudło M., 2004. Rok nowych tachimetrów. *GEODETA* Nr (115) 12, 41–48.

Rozporządzenie Ministra Spraw Wew. i Administracji z dnia 24 marca 1999 r. w sprawie standardów technicznych dotyczących geodezji, kartografii oraz krajowego systemu informacji o terenie (Dz. U. Nr 30, poz. 297).

## ANALYSIS OF THE HORIZONTAL ACCURACY OF THE POLAR AND THE ORTHOGONAL SURVEY METHODS

**Abstract.** Present technologies of determination of position a topographic points in a huge measure are automated and are based on methods: direct land measurements, satellite or photogrammetric techniques or the methods of graphical-and-digital processing of existing cartographical works.

In the process of producing of large scale map data (at present in digital form) or realization of different economic tasks, is the most important matter of their accuracy. This means in practice respecting the legal recipes as well as use of technical standards valid in field of geodesy and cartography.

This paper presents the analysis of accuracy of position determination of topographic points using direct measurements of the polar and the orthogonal methods. Accuracy of topographic survey was confronted with requirements of valid G-4 Instruction as well as recommendations contained in draft of (new) G-4 Instruction.

Performed investigations confirmed high accuracy (with respect to the closest points of horizontal geodetic control network) of detailed topographic surveys realized with contemporary electronic tacheometers. Present topographic surveys with a total station provide the determination of topographic point (from 1<sup>st</sup> accuracy group with the careful their identification) with the accuracy of  $0,03 \div 0,05$  m.

Conducted investigations confirmed also that it is possible to determinate topographic features the 1<sup>st</sup> accuracy group (with the careful identification) realized with the orthogonal method survey with the accuracy not worse than 0,05 m (with respect to points of the control network). However according to large time absorbing of detailed surveys of the orthogonal method and scarce possibility of automation, both the measurements and record of their results - in case of topographic surveys (especially these realized on urban areas) the applying the orthogonal method will be well-founded only as supplementary method. This method is used in a small range in relation to predominant in topographic surveys of the polar method (realized with the total station instruments).

**Key words:** G-4, topographic survey, Total Station, polar and orthogonal methods

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 25.09.2008

Do cytowania – For citation: Doskocz A., 2008. Analiza dokładności pomiarów sytuacyjnych wykonywanych metodą biegunową oraz domiarów prostokątnych. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 7(3), 47–70.