

ROMAN OSTROWSKI

WYNIKI PRAC EKSPERYMENTALNYCH BAZOWYM TACHYMETREM REDUKCYJNYM BRT-006

(Z prac Zakładu Geodezji Gospodarczej)

Pomiar szczegółów dokonywany jest zwykle u nas przy zastosowaniu metody ortogonalnej. Używana jest ona ze względu na możliwość osiągania wymaganych dokładności bez konieczności posiadania drogiego i skomplikowanego sprzętu. Jednak ze względu na szybko wzrastający w ośrodkach miejskich ruch uliczny pieszy i kołowy oraz mechanizację robót na placach budów, stosowanie metody ortogonalnej staje się coraz bardziej uciążliwe i pracochłonne, a w niektórych przypadkach nawet niemożliwe.

W Zakładzie Geodezji Gospodarczej IGiK, w ramach tematu z zakresu modernizacji klasycznych metod pomiarów szczegółów, wykonane zostały prace mające na celu zastosowanie bazowego tachymetru redukcyjnego BRT-006 do tych pomiarów. Pomiary polowe przeprowadzone zostały pod kątem określenia dokładności i pracochłonności prac polowych w porównaniu z metodą ortogonalną.

Bazowy tachymetr redukcyjny BRT-006 produkowany jest w Zakładach Zeissa w Jenie. Konstrukcja jego jest ulepszeniem dalmierza „TELETOP”, przy czym założeniem jej jest zachowanie bazowej dokładności osiągniętej metodą ortogonalną, przy jednoczesnym wyeliminowaniu stron ujemnych tej metody.

Wyeliminowanie z pomiarów węgielnicy, taśmy i ruletki zostało dokonane przez wprowadzenie metody biegunowej i optycznego pomiaru odległości, a zastosowanie urządzenia redukcyjnego pozwala na automatyczną redukcję pomierzonej odległości do poziomu. Dalszym usprawnieniem pomiaru jest konstrukcja dalmierza dwuobrazowego ze zmienną długością bazy w instrumencie, dzięki czemu można wyeliminować ciężkie łaty, nie zawsze dające się ustawić w celu.

Pomiar odległości za pomocą omawianego instrumentu wykonany zostaje przez uzyskanie efektu koincydencji dwóch obrazów celu, powstałych przez przebieg promieni przez dwa pryzmaty (pentagony). Określona długość bazy „b” na szynie bazowej jest 1/200 mierzonej odległości, gdyż wielkość kąta paralaktycznego γ jest tak dobrana, aby był spełniony warunek:

$$\operatorname{ctg} \varphi = \frac{\rho^{\circ}}{\gamma^{\circ}} = \frac{636619,8^{\circ}}{3183 \cdot 1^{\circ}} = 200. \text{ Jak widać z podanej zależ-}$$

ności stała mnożna dalmierza wynosi 200, jednak przez odpowiednie wyskalowanie szyny bazowej możliwe jest odczytywanie rzeczywistej odległości.

Założenia konstrukcyjne przewidują, że dokładność pomiaru nie powinna przekraczać 0,06‰ mierzonej odległości, a dokładność wyznaczenia kierunku nie może być mniejsza niż $\pm 60^{\circ}$. Jest to warunkiem zachowania dokładności metody ortogonalnej w przypadku zastąpienia jej metodą biegunową. Zagwarantowane to jest możliwością odczytu na szynie bazowej długości boku z dokładnością ± 1 cm, przy dwukrotnej koincydencji obrazu oraz odpowiednią dokładnością podziału koła poziomego.

Wykonane w Zakładzie Geodezji Gospodarczej IGiK prace miały na celu stwierdzenie czy instrument BRT-006 może zastąpić metodę ortogonalną przy pomiarze szczegółów pod względem dokładności oraz określenie pracochłonności prac polowych.

Działanie urządzenia dalmierczego instrumentu BRT-006 sprawdzono na założonej bazie kontrolnej, o długości 60 m, podzielonej na 5-metrowe odcinki. Pomiar rzeczywistych ich długości zredukowanych do poziomu wykonano skomparowaną taśmą stalową z dokładnością nie przekraczającą ± 5 mm. Ze względu na to, że poszczególne różnice po-

między długościami pomierzonymi taśmą a dalmierzem przekraczały dopuszczalną (0,06‰ mierzonej długości) oraz obciążone były błędem systematycznym, wykonano rektyfikację kąta paralaktycznego, a następnie dokonano sprawdzenia na bazie kontrolnej. Poniżej zamieszczone wyniki pomiaru ilustrują uzyskane dokładności, przy czym dane z pomiaru dalmierzem są średnimi z 6 podwójnych koincydencji.

Tablica 1

Odległość pomierzona taśmą m	Odległość śred. pom. dalmierzem m	Różnica odległości m	Dopuszczalna odchyłka 0,06‰ m	Średni błąd poj. spostrzeżenia m
5,000	5,000	0,0	$\pm 0,003$	0,0
10,000	10,003	-0,003	$\pm 0,006$	$\pm 0,005$
15,000	15,000	0,0	$\pm 0,009$	0,0
20,000	19,997	+0,003	$\pm 0,012$	$\pm 0,005$
25,000	25,003	-0,003	$\pm 0,015$	$\pm 0,014$
30,005	30,015	-0,010	$\pm 0,018$	$\pm 0,022$
35,005	35,000	+0,005	$\pm 0,021$	$\pm 0,016$
40,000	40,001	-0,001	$\pm 0,024$	$\pm 0,013$
45,005	45,003	+0,002	$\pm 0,027$	$\pm 0,025$
50,000	50,000	0,0	$\pm 0,030$	$\pm 0,007$
55,000	54,993	+0,007	$\pm 0,033$	$\pm 0,005$
60,005	59,997	+0,008	$\pm 0,036$	$\pm 0,014$
		$\Sigma = +0,008$		$\Sigma = \pm 0,010$

Pomiar kontrolny wykonany został w dobrych warunkach atmosferycznych przy pochmurnej pogodzie. Jako celu użyto tarczy o białym tle z czarną pionową kreską, ustawionej na statywie centrycznie nad wyznaczonymi poszczególnymi odcinkami bazy kontrolnej. Różnice długości poszczególnych odcinków pomierzonych taśmą i dalmierzem są bardzo małe pomimo tego, że największe różnice pomiędzy odczytami dochodziły do 5 cm. Występowanie tych różnic charakteryzują najlepiej obliczone średnie błędy pojedynczego spostrzeżenia, z których największy osiągnął wartość $\pm 0,025$ m. Wartości obliczonych różnic odległości oraz średnich błędów pojedynczego spostrzeżenia nie są obciążone błędami systematycznymi a jedynie błędami przypadkowymi (odpowiednie sumy bliskie zeru), co świadczy o właściwym wykonaniu rektyfikacji i prawidłowości działania urządzenia redukcyjnego.

Dla porównania dokładności pomiaru szczegółów pomierzonych metodą ortogonalną i biegunową tachymetrem BRT-006, założono zamknięty poligon, w którym kąty pomierzono teodolitem. Zeiss Theo 010, a boki taśmą stalową. Poligon założono na terenie łatwym dla zapewnienia jak największej dokładności, a to dlatego, by błędy osnowy miały możliwie najmniejszy wpływ na dokładność pomiaru szczegółów.

W oparciu o założoną osnowę pomierzono szczegóły przy zastosowaniu metody ortogonalnej, przy czym dla zapewnienia kontroli niektóre punkty były zdejmowane z dwóch boków poligonowych. Czołówki pomierzono bezpośrednio. Następnie te same punkty pomierzono metodą biegunową tachymetrem BRT-006, stosując markowanie celów za pomocą małych tarcz z pionową kreską.

Różnice pomiędzy długościami czołówek z pomiaru bezpośredniego a obliczonymi ze współrzędnych dla obu metod zestawiono poniżej.

Czołówki pomierzone bezpośrednio	Czołówki obliczone ze współrz.		Różnice	
	met. ortogonalna	met. biegunowa BRT	met. ort.	instr. BRT
m	m	m	m	m
5,60	5,58	5,61	+0,02	-0,01
8,12	8,12	8,09	0,0	+0,03
7,28	7,27	7,29	+0,01	-0,01
5,57	5,55	5,56	+0,02	+0,01
13,50	13,52	13,49	-0,02	+0,01
7,00	7,02	7,03	-0,02	-0,03
3,74	3,77	3,76	-0,03	-0,02
6,61	6,60	6,59	+0,01	+0,02
8,85	8,87	8,82	-0,02	+0,03
13,10	13,06	13,14	+0,04	-0,04
6,66	6,66	6,64	0,0	+0,02
8,80	8,80	8,78	0,0	+0,02
8,00	8,04	8,02	-0,04	-0,02
3,70	3,70	3,71	0	-0,01
2,17	2,16	2,16	+0,01	+0,01
2,63	2,64	2,63	-0,01	0,0
2,54	2,54	2,54	0,0	0,0
10,87	10,88	10,86	-0,01	+0,01

Kontrolą dokładności wykonanych prac pomiarowych w metodzie ortogonalnej są długości pomierzonych bezpośrednio czołówek. Porównanie różnic pomiędzy tymi czołówkami daje obraz osiągniętych dokładności dla obu metod. Jak widać z przedstawionych wyników, różnice są obciążone błędami przypadkowymi pomiaru i mieszczą się w dopuszczalnych granicach dokładności. Świadczy to, że obie metody są jednakowo dokładne, a wartości różnic kwalifikują je do wykonywania pomiarów dla opracowania planów, poczynając od skali 1:250.

Dla porównania zgodności obu metod obliczono ze współrzędnych również odchyłki liniowe położenia punktów dla

obu metod według wzoru: $m_p = \pm \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$.

Wartości tych odchyłek, uporządkowane według wymaganych dokładności pomiaru dla opracowania planów w skalach 1:250, 1:500 i 1:1000 zestawiono w tablicy poniżej.

Wartość odchyłki liniowej położenia punktu	Ilość punktów	%
$m_p = \pm \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$		
0—2,5 cm	14	35,9%
2,6—5,0 cm	16	41,0%
5,1—10,0 cm	8	20,5%
ponad 10,0 cm	1	2,6%
Razem	39	100,0%

Wartości odchyłek liniowych położenia punktów nie odzwierciedlają otrzymanych rzeczywistych dokładności, a jedynie określają wzajemną zgodność pomiaru obu metod, ponieważ otrzymane wyniki są obciążone błędami przypadkowymi, wielkości których nie można jednoznacznie określić. Dane przedstawione w obu tablicach wskazują ten sam

rzęd dokładności pomiarów wykonanych dwiema metodami.

Przy pomiarze metodą ortogonalną długości rzędnych nie przekraczały 20 m, natomiast przy pomiarze metodą biegunową tachymetrem BRT-006 — pomierzono szczególnie w granicach zasięgu dalmierza instrumentu, tj. od 2—60 m. Wszystkie cele markowano za pomocą tarcz celowniczych.

Przeprowadzone próby pomiaru szczegółów bez użycia tarcz ustawionych w celu wykazywały różnice w pomiarze odległości od 0—10 cm, co tłumaczy się różnymi warunkami wykonywanych koincydencji, zależnymi od wyrazistości krawędzi i tła, na które one się rzutowały.

Przy wykonywaniu pomiarów dla obu metod rejestrowana była ich pracochłonność. Na terenie płaskim i o małym ruchu ulicznym pieszym i kołowym okazało się, że pomiar instrumentem BRT-006, przy markowaniu wszystkich celów tarczą, jest o około 20% szybszy od metody ortogonalnej. Przewaga w czasie nad metodą ortogonalną będzie wzrastać w miarę występowania trudności spowodowanych ukształtowaniem terenu lub natężeniem ruchu ulicznego.

Użycie łat ustawianych w celu, będących dodatkowym wyposażeniem instrumentu BRT-006 zwiększa zasięg dalmierza od 60—240 m. Przy zachowaniu według założeń konstrukcyjnych następujących dokładności:

— przy odległości 120 m — dokładność pomiaru wynosi $\pm 0,072$ m
— przy odległości 180 m — dokładność pomiaru wynosi $\pm 0,108$ m
— przy odległości 240 m — dokładność pomiaru wynosi $\pm 0,144$ m

Są to dokładności, które można jednak uzyskać przy dobrych warunkach atmosferycznych (pogoda pochmurna bez wibracji, nie zakłócony przebieg celowej) oraz przy posiadaniu wprawy i doświadczenia. W każdym razie należy się liczyć z niespodziewanymi odskokami obniżającymi dokładność pomiaru. W związku z tym łatę dodatkowe można używać w tych przypadkach, gdzie są mniejsze wy-

magania dokładnościowe, np. przy zdjęciach sytuacyjnych dla planów o mniejszych skalach (1:2000 — 1:5000) oraz przy zdjęciach tachymetrycznych.

Duże zastosowanie może mieć instrument BRT-006 przy pracach rolnych, a mianowicie po wykonaniu pomiaru zasadniczej osnowy poligonowej, pozostałe prace, jak pomiar ciągów sytuacyjnych, zdjęcia granic własności, sytuacji, mogą być wykonywane wyłącznie za pomocą tego instrumentu. Możliwość wyeliminowania przy tego rodzaju pracach taśmy w dużym stopniu ułatwia pomiar, utrudniony często ze względu na zasiewy, podmokłe grunty lub ukształtowanie terenu. Dla odległości do 60 m należałoby stosować tyczkę z umieszczoną centrycznie na wysokości około 150 m małą tarczą z kreską pionową oraz libelą pudełkową, co zapewni większą dokładność pomiaru odległości.

Wykonywanie pomiarów sytuacyjnych i inwentaryzacyjnych instrumentem BRT-006 na placach budów, w czasie wykonywania robót ziemnych i budowlanych, gdzie ze względu na intensywny ruch pojazdów oraz różnego rodzaju wykopy i nasypy, utrudniające i obniżające dokładność pomiaru bezpośredniego, da również pozytywne rezultaty.

Wyniki przeprowadzonych prac pozwoliły na ustalenie następujących wniosków:

1. Bazowy tachymetr redukcyjny BRT-006 pozwala całkowicie wyeliminować bezpośrednie pomiary dla opracowania planów, poczynając od skali 1:250, co zostało stwierdzone przez porównanie dokładności pomierzonych odległości dalmierzem instrumentu z odległościami wyznaczonymi na bazie kontrolnej,

2. Warunkiem osiągnięcia wystarczających dokładności jest wykonanie dokładnego i sumiennego sprawdzenia i rektyfikacji urządzenia dalmierczego. Wykonanie rektyfikacji ma na celu ustawienie pryzmatu nieruchomego pod takim kątem paralaktycznym, aby została zachowana dokładność pomiaru odległości także przy uwzględnieniu właściwości wzrokowych danego obserwatora.

3. Wystarczająca dokładność podziału koła poziomego oraz optycznego pomiaru odległości umożliwia pomiar ciągów sytuacyjnych, poligonowych klasy D oraz szczegółów sytuacyjnych. Zapewnia to wszechstronność zastosowania tego instrumentu przy wykonywaniu prac geodezyjnych (pomiaru szczegółów, inwentaryzacja urządzeń, prace rolne, tachymetria).

4. Możliwość użycia dodatkowych lekkich łat bazowych, zwiększających zasięg dalmierza, a także odpowiednio dokładny podział koła pionowego rozszerza możliwości zastosowania instrumentu do wykonywania zdjęć tachymetrycznych oraz sytuacyjnych dla planów o skalach mniejszych (powyżej 1:1000).

5. Możliwość wyłączania urządzenia redukcyjnego pozwala na pomiar odległości ukośnych.

6. Prosta obsługa instrumentu i możliwość otrzymania natychmiastowych wartości odległości zredukowanych do poziomu, nie wymagających żadnych dodatkowych obliczeń.

7. Większa szybkość wykonywania pomiaru niż przy metodzie ortogonalnej (przy zachowaniu tej samej dokładności), wzrastająca proporcjonalnie do trudności terenowych. Ma to duży związek z ekonomią pomiaru.

8. Wyeliminowanie konieczności posiadania wykwalifikowanych pomiarowych, niezbędnych przy pomiarze metodą ortogonalną.

Ujemnymi stronami wykonywania prac instrumentem BRT-006 jest wysoki koszt instrumentu w porównaniu ze sprzętem używanym przy metodzie ortogonalnej oraz konieczność uzupełnienia zespołu pomiarowego przez technika, obowiązkiem którego jest prowadzenie dziennika obserwacyjnego i szkicu polowego.

Pomiar odległości instrumentem BRT-006 podlega wszystkim błędom właściwym pomiarom optycznym, wynikającym z warunków atmosferycznych. Ze względu jednak na to, że błąd pomiaru odległości jest proporcjonalny do mierzonej wielkości w tym instrumentcie (zmienna długość bazy i stały kąt paralaktyczny), zależność ta jest bardziej korzystna niż przy innych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Powoduje to jednak konieczność zwracania uwagi na warunki atmosferyczne, a przy ich niekorzystnym układzie należy ograniczyć długość mierzonej wielkości.

Ważne jest także osłanianie instrumentu od bezpośredniego nasłonecznienia, powodującego duże odchyłki, które jak wykazały badania, dochodzą do 0,4% mierzonej odległości.

LITERATURA

J. Szymoński — Instrumentoznawstwo geodezyjne, cz. III. Katalog firmy Zeiss-Jena.