

Małgorzata Buśko*

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH CECH FUNKCJONALNYCH TACHIMETRÓW ELEKTRONICZNYCH

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach daje się zauważyć znaczący postęp w unowocześnianiu konstrukcji tachimetrów elektronicznych. Od początku rozwój ten następował systematycznie i związany był przede wszystkim z podnoszeniem dokładności wykonywanych pomiarów, jak również ze zmniejszaniem rozmiarów oraz ciężaru tachimetrów. Postęp w rozwoju elektroniki, informatyki i mechaniki precyzyjnej spowodował, że tachimetry można nazywać instrumentami uniwersalnymi, przystosowanymi do wykonywania różnych prac geodezyjnych i inżynierskich. Główne zmiany w ich konstrukcji mają obecnie na celu podnoszenie efektywności oraz komfortu pracy.

Szczególnie dwie innowacje, które zostały wprowadzone do konstrukcji tachimetrów, istotnie zmieniły sposób obsługi instrumentu, jak również możliwości jego wykorzystania.

Pierwszą z nich jest funkcja automatycznego naprowadzania lunety na pryzmat, umożliwiająca automatyczną identyfikację i lokalizację celu (reflektora) przez siatkę celowniczą lunety. Dzięki niej możliwe jest zarówno szybkie wyszukiwanie środka pryzmatu przy zaledwie przybliżonym wycelowaniu w jego kierunku (jedynie za pomocą kolimatora), jak śledzenie reflektora przez tachimetr w przypadku przemieszczania się pryzmatu [2].

Druga innowacja związana jest z wykorzystaniem lasera jako źródła światła, którego impulsy generowane z odpowiednią częstotliwością są stosowane do pomiaru odległości bez użycia pryzmatu; odbicie światła następuje od powierzchni, na którą pada ta wiązka lasera.

Do wymienionych udoskonaleń należy dodać zainstalowane w tachimetrach aplikacje pracujące w systemach MS-DOS lub Windows CE, pozwalające na wykonanie szeregu obliczeń geodezyjnych bezpośrednio na stanowisku tachimetru w terenie.

Istotnym ułatwieniem dla użytkownika jest wyposażenie tachimetrów w kompensatory, które umożliwiają ciągły pomiar wychylenia osi obrotu instrumentu od pionu (w dwóch

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

** Pracę wykonano w ramach badań statutowych nr 11.150.478

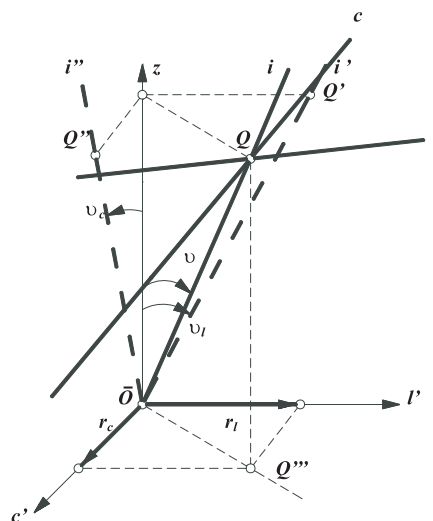
kierunkach), co pozwala na wprowadzanie poprawek ze względu na wychylenie osi głównej instrumentu do mierzonych kierunków poziomych i kątów pionowych.

Celem niniejszego opracowania będzie omówienie wybranych cech funkcjonalnych tachimetrów.

2. Automatyczne uwzględnianie wpływów odchylenia osi obrotu instrumentu od pionu

W teodolitach optycznych najczęściej wbudowane są dwie libelle alidadowe: sferyczna i podłużna, które należy sprawdzić, ewentualne błędy usunąć poprzez rektyfikację i w oparciu o zrektyfikowane libelle (w szczególności podłużną, jako dokładniejszą) doprowadzić oś obrotu instrumentu do pionu. Pomimo wstępnego prawidłowego ustawienia instrumentu może wystąpić odchylenie osi obrotu od pionu, spowodowane najczęściej czynnikami zewnętrznymi. Przyczyną tego zjawiska bywa nasłonecznienie lub niestabilność podłoża.

Nowoczesne tachimetry elektroniczne wyposażone są w kompensatory, które, niezależnie od rozwiązań konstrukcyjnych, umożliwiają pomiar wartości kąta odchylenia osi obrotu instrumentu i od pionu (rys. 1).



Rys. 1. Wychylenie osi głównej instrumentu w rzutach na płaszczyzny odniesienia

Źródło: [5]

Symbole przedstawione na rysunku 1 oznaczają:

- i – oś obrotu instrumentu,
- l – oś celowa lunety,
- c – oś obrotu lunety,
- z – linia pionu,
- v – kąt płaski zawarty pomiędzy osią obrotu instrumentu i oraz linią pionu z ,

- v_l — rzut kąta v na płaszczyznę pionową utworzoną przez oś z oraz oś celową lunety l ,
 v_c — rzut kąta u na płaszczyznę pionową utworzoną przez oś z oraz oś obrotu lunety c ,
 i', i'', l', c' — rzuty ortogonalne osi instrumentu na odpowiednie płaszczyzny odniesienia,
 r_l, r_c — rzuty ortogonalne wektora wychylenia osi głównej OQ na osie l', c' .

Kąt odchylenia osi obrotu instrumentu od pionu oznaczony jest na rysunku 1 jako v .

Najczęściej mierzone są składowe wychylenia osi głównej instrumentu: podłużna – wzdłuż osi lunety, i poprzeczna – prostopadła do niej, które po odpowiedniej „obróbce” przez mikroprocesor są wykorzystywane do poprawy mierzonych kierunków poziomych i kątów pionowych.

Jeden ze sposobów wyznaczenia tych poprawek, oznaczonych jako $\delta\alpha_H$ i $\delta\alpha_V$ został przedstawiony w [3]; wzory końcowe mają następującą postać:

$$\delta\alpha_H = v_c \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{V'} - \frac{1}{2} v_l \cdot v_c \cdot (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha_{V'}) \quad (1)$$

$$\delta\alpha_V = v_l + v_c^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{V'} \quad (2)$$

Oczywisty wydaje się fakt, że kompensatory mierzące odchylenie osi obrotu instrumentu od pionu mogą działać jedynie w określonym zakresie kątowym. Przykładowe rodzaje i zakresy działania kompensatorów wybranych tachimetrów firmy Topcon zestawione są w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry kompensatorów w tachimetrach firmy Topcon

Parametry	Topcon - typ instrumentu		
	Seria GPT 3000(L)N	Seria GPT 8200A	Seria GPT 7000
Typ kompensatora	dwuosiowy	dwuosiowy	dwuosiowy
Rodzaj kompensatora	cieczowy	cieczowy	cieczowy
Zakres kompensatora	$\pm 3'$	$\pm 4'$	$\pm 4'$

3. System automatycznego naprowadzania na cel w tachimetrach elektronicznych

Instrumenty samonaprowadzające pozwalają użytkownikowi na wykorzystanie tej własności w trzech zasadniczych przypadkach [4]:

- 1) odnajdywania przez lunetę wcześniej nieznanego celu, w którym stoi reflektor;
- 2) automatycznego dokładnego nacelowania po wycelowaniu zgrubnym przez użytkownika (za pomocą kolimatora);
- 3) śledzenia celu, czyli podążania lunety tachimetru za przesuwającym się pryzmatem.

Mechanizmy pozwalające na realizację funkcji automatycznego naprowadzania na cel bazują na systemie obejmującym kamerę CCD (ang. *Charge-Coupled Device*) i serwomotory sterowane przez mikroprocesor, który dane do obliczeń przetwarza na podstawie analizy przebiegu wiązki laserowej emitowanej przez tachimetr. Gdy wiązka ta pada na pryzmat, odbija się od niego i powraca do tachimetru. W tachimetrze odbita wiązka przechodzi przez filtr rozdzielający światło dzienne od sygnału w podczerwieni, który pada na matrycę CCD. Powierzchnia kamery CCD jest światłoczuła i składa się z miniaturowych elementów (pikseli) zestawionych w prostokąt o określonej liczbie kolumn i wierszy. Tworzy ona dzięki temu coś w rodzaju macierzy obrazowej [5]. Położenie dowolnego elementu tej „matrycy-macierzy” w stosunku do jej środka łatwo więc określić poprzez zdefiniowanie wskaźnika kolumny i wiersza, w których element się znajduje.

Gdy wiązka odbiła się od centralnej części pryzmatu, czyli wycelowana jest dokładnie, wówczas sygnał (IR) z instrumentu pada na środek matrycy CCD. Jeśli wiązka odbiła się od któregoś z bocznych fragmentów reflektora, sygnał pada na matrycę CCD nie centralnie, ale nieco z boku. Za pomocą zainstalowanego w tachimetrze oprogramowania dokonywane jest przeliczenie tej odległości od środka matrycy CCD na zmianę wartości kątowej kierunku i dzięki tej informacji mikroprocesor steruje serwowotorem, powodując obrót alidady oraz pochylanie lunety w kierunku pryzmatu [7].

Aby wyżej podane przeliczenie dokonane było w sposób prawidłowy, konieczna jest niezmienność położenia matrycy CCD względem osi celowej tachimetru. Ogólnie rzecz ujmując, mamy tu do czynienia z transformacją układu lunety tachimetru wraz z jego osią celową względem układu matrycy CCD. Transformacja ta dotyczy układów przestrzennych, gdzie występują trzy parametry translacji i trzy parametry rotacji. Nasuwa się tu naturalnie pytanie o stabilność powyższego systemu w czasie jego wieloletniego użytkowania, w rozmaitych warunkach terenowych.

Funkcja automatycznego wycelowania, coraz powszechniejsza w obecnie produkowanych tachimetrach, ma wiele zalet. Instrument wraz z pryzmatem staje się rzeczywistym zestawem określanym jako „one man station”, obsługiwany z pozycji zmieniającego swe miejsce reflektora za pośrednictwem modemu radiowego. Zamiast obsługi instrumentu pojawia się jedynie problem jego ochrony. Możliwe jest więc pominięcie w zespole pomiarowym osoby obserwatora, a przynajmniej jego znaczne odciążenie. Nacelowanie nie zależy już od wprawy obserwatora, od stanu jego oczu, zmęczenia itp. Automatyczne nacelowanie jest szybsze, a przynajmniej porównywalne do przeciętnego czasu wycelowania dokonywanego przez obserwatora. Uzyskiwana dokładność nie zależy od zmęczenia, stopnia widoczności celu okiem nieuzbrojonym, złego oświetlenia czy w ogóle braku oświetlenia. Możliwe stają się więc pomiary nocne albo przynajmniej dokończenie sesji pomiarowej na obiekcie, często oddalonym od miejsca zamieszkania, po zapadnięciu zmroku.

Zamieszczone w [6] wyniki pomiarów sieci eksperymentalnej wykonanych tachimetrem TCA2003 firmy Leica z zastosowaniem systemu ATR (ang. *Automatic Target Recognition*) oraz przy wyłączeniu tej funkcji wykazały, że dokładność uzyskana po wyrównaniu sieci była większa przy automatycznym rozpoznawaniu celu. Wynika z tego, że pomiary tachimetrem precyzyjnym z włączoną funkcją ATR mogą być prowadzone nawet przy wyznaczaniu precyzyjnych osnów bądź przy wykonywaniu różnych zadań inżynierskich, wymagających wysokiej dokładności.

Wadą automatycznego nacelowania jest skomplikowany system kontroli i kalibracji położenia matrycy CCD oraz innych urządzeń sterujących przebiegiem sygnału względem osi celowej instrumentu. Użytkownik może w tym obszarze dokonać kontroli w niewielkim tylko zakresie, jest to więc zadanie dla specjalistycznego serwisu.

4. Pomiar odległości tachimetrami elektronicznymi bez użycia pryzmatu

Kolejną innowacją w funkcjonowaniu tachimetrów elektronicznych jest możliwość wykonywania pomiarów odległości bez użycia pryzmatu. Proces pomiarów bezlustrowych zostanie omówiony na przykładzie tachimetrów produkowanych przez firmę Topcon. W tachimetrach tych pomiar odległości realizowany jest poprzez wykorzystanie podwójnego dalmierza z zastosowaniem laserów. Pierwszy z nich realizuje standardowy pomiar odległości na pryzmat z wykorzystaniem sygnału IR. Wiązka pomiarowa jest w tym przypadku szersza w porównaniu z wiązką w pomiarach bezlustrowych. Drugi dalmierz wykorzystuje diodę lasera pulsacyjnego, emitującą wąską wiązkę o wysokiej częstotliwości. Po odbiciu od powierzchni, na którą jest wycelowana, wiązka powraca do tachimetru, gdzie fotodiody rejestrują czas jej przebiegu na drodze instrument – cel – instrument, co pozwala na określenie odległości. W systemie pomiarowym występuje dodatkowo dioda lasera czerwonego, emitująca wiązkę widzialną dla ludzkiego oka, widoczną jako czerwona plamka na obiekcie. Wskaźnik ten w formie plamki służy do identyfikacji punktu pomiarowego podczas pomiarów bezlustrowych bądź do wizualizacji punktu podczas wytyczania.

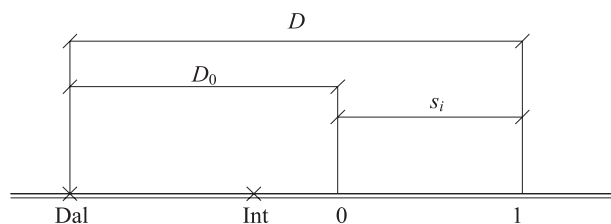
Punkt docelowy podczas pomiarów bezlustrowych rozpoznawany jest jako ten, który jest dokładnie osadzony w środku krzyża nitek lunety, a pomiar odległości realizowany jest względem powierzchni zawierającej ten punkt. Filtrowana jest przy tym większość niepożądanych sygnałów z powierzchni znajdujących się z przodu lub z tyłu mierzonego punktu, dzięki czemu teoretycznie możemy wykonywać pomiary bez pryzmatu nawet przez ogrodzenie z siatki metalowej czy przez zarośla [1].

W praktyce jednak, w przypadkach gdy wiązka lasera pada nie na jedną, jednoznacznie określoną płaszczyznę, a trafia po drodze na inne obiekty, możliwe jest jej rozszczępienie. A zdarzyć się to może właśnie podczas pomiaru przez zarośla, gałęzie czy ogrodzenia; szczególnie przy zogniskowaniu na obiekt dalszy (powierzchnię, do której chcemy mierzyć odległość), przedmioty będące na osi celowej, ale dużo bliżej instrumentu, nie będą w ogóle widoczne. Nie wiadomo wówczas, czy system policzy czas przejścia najmocniejszej części wiązki, czy też policzy czas przejścia tej części wiązki, która najszybciej powróci do instrumentu, czyli odbitej od najbliższej przeszkody. Może się też zdarzyć, że w przypadku rozszczępienia wiązki obydwa wyniki zostaną przez instrument uśrednione.

5. Laboratoryjne i terenowe badanie tachimetrów

Przeprowadzono szereg pomiarów terenowych, których celem było głównie poznanie praktycznych możliwości i ograniczeń wykonywania pomiarów bezlustrowych.

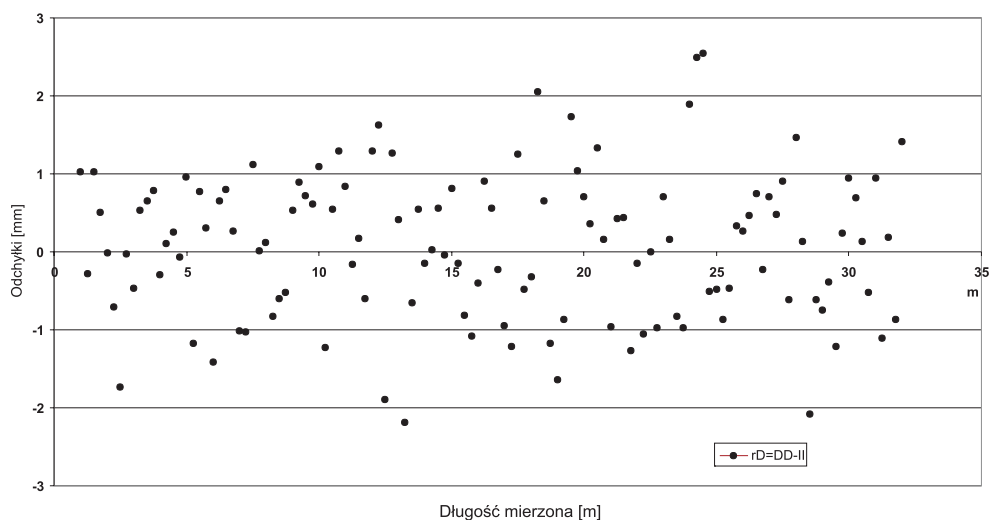
Pomiary laboratoryjne prowadzące do określenia dokładności wyznaczenia długości wykonano tachimetrem Topcon GPT3005(L)N nr 1U0274. Pomiary przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem komparatora przymiarów wraz z interferometrem laserowym HP5529A do wyznaczenia długości odcinków wzorcowych (rys. 2). Przeprowadzone zostały pomiary odcinka testowego o długości 30 m, odcinek ten mierzony był co ok. 0,25 m, zarówno tachimetrem, jak i interferometrem laserowym.



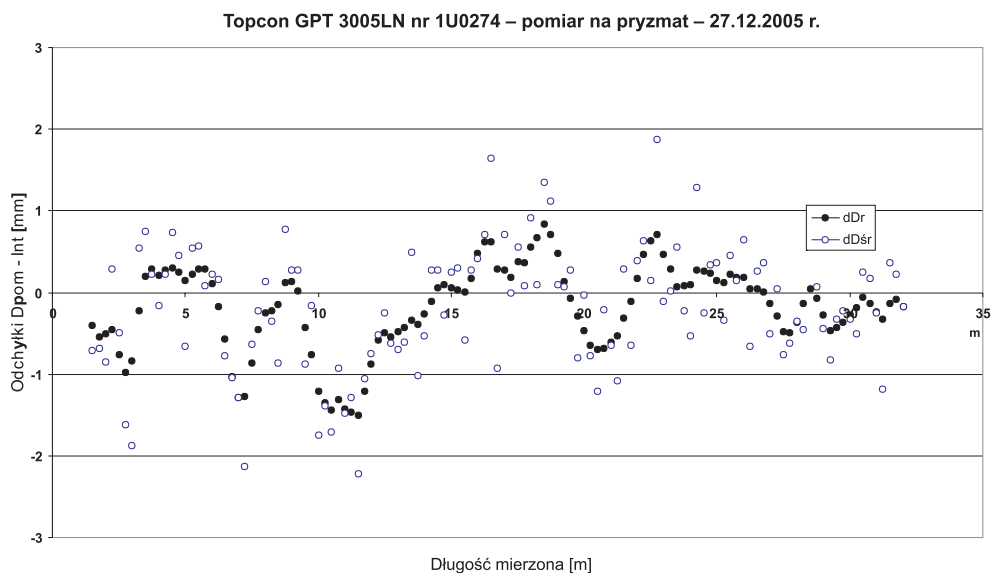
Rys. 2. Usytuowanie dalmierza i interferometru podczas pomiarów testowych: *Dal* – stanowisko dalmierza, *Int* – stanowisko interferometru, 0 – miejsce zerowania interferometru i pierwszy pomiar odległości, dalmierzem (D_0)

Po pierwszym pomiarze każdego odcinka testowego interferometrem i dalmierzem przesuwno pryzmat o około 1 ± 5 mm i wykonywano drugi pomiar. Pierwszy cykl pomiarowy wykonany został z zastosowaniem pryzmatu, drugi cykl został przeprowadzony z zastosowaniem opcji pomiarów bezlustrowych, celowano wówczas na krążek betonowy o płaskiej powierzchni (o średnicy 9,5 cm). Wyniki pomiarów zostały przedstawione na rysunkach 3–5.

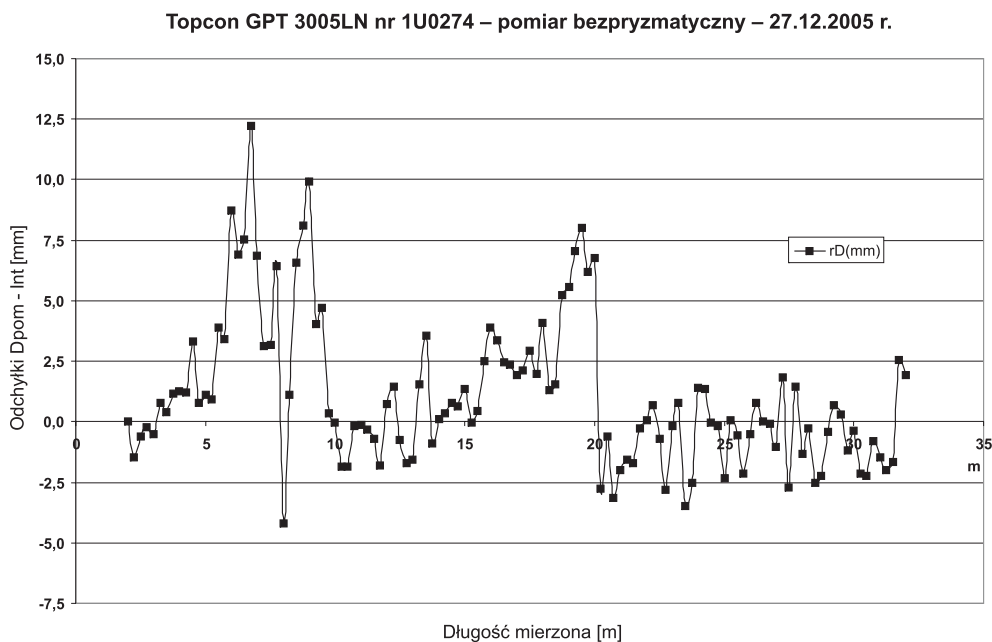
**Wykres różnic wskazań dalmierza i interferometru – na pryzmat
Topcon GPT 3005(L)N nr 1U0274**



Rys. 3. Wykres różnic odległości wyznaczonych wzorem (3)



Rys. 4. Wykres średnich różnic wyznaczonych wzorami (8) i (9)



Rys. 5. Wykres różnic wyników bezpryzmatycznych pomiarów testowych

Na rysunku 3 zestawiono różnice przemieszczeń reflektora obliczone na podstawie pomiarów odległości dalmierzem (D' i D'') i interferometrem (I' i I'').

Różnice te, oznaczone rD , obliczono ze wzoru

$$rD = DD - II \quad (3)$$

gdzie:

$$DD = D' - D'' \quad (4)$$

$$II = I' - I'' \quad (5)$$

Analizując wyniki przedstawione na wykresie, można zauważyć, że różnice przemieszczeń dla krótkich odległości nie przekraczały praktycznie 2 mm (z wyjątkiem pięciu pomiarów).

Traktując te różnice jako błędy prawdziwe, można obliczyć średni błąd tych różnic

$$m_{rD} = \pm \sqrt{\frac{[rDrD]}{n}} = \mp 0,66 \text{ mm} \quad (6)$$

a następnie średni błąd pomiaru odległości krótkich odcinków badanym dalmierzem

$$m_D = \frac{m_{rD}}{\sqrt{2}} = \mp 0,47 \text{ mm} \quad (7)$$

Wykres na rysunku 4 również przedstawia różnice odległości mierzonych tachimetrem i interferometrem na pryzmat, obliczone ze wzoru

$$dDś = dDalśr - dIntśr \quad (8)$$

gdzie:

$dDalśr$ — uśredniona odległość z dwóch pomiarów dalmierzem,

$dIntśr$ — uśredniona odległość z dwóch pomiarów interferometrem.

W celu wygładzenia wykresu, a tym samym lepszego zobrazowania otrzymanych wyników, wartości różnic przedstawiono za pomocą średniej ruchomej o współczynniku $n = 3$, obliczając ją według wzoru

$$dDr = \frac{dDś_{(n-1)} + dDś_{(n)} + dDś_{(n+1)}}{3} \quad (9)$$

Z wykresu tego wynika, że:

- uwidaczniają się wpływy czynników systematycznych na wyniki pomiarów (np. błąd cykliczny),
- znacząca część różnic dDr mieści się w przedziale -1 ± 1 mm i świadczy o wpływie czynników wewnętrznych dalmierza na zróżnicowanie wyników pomiarów.

Wykres na rysunku 5 powstał na podstawie pomiarów bezlustrowych na krążek betonowy o gładkiej powierzchni. Na osi pionowej przedstawione są różnice pomiędzy długościami pomierzonymi dalmierzem i interferometrem, w zależności od mierzonej odległości (oś pozioma). Na podstawie wyników przedstawionych na tym wykresie można wysnuć wniosek, że w dwu interwałach odległości: 5÷10 m i 15÷20 m występują rozbieżności pomiędzy wynikami pomiaru długości dalmierzem i interferometrem, sięgające 12,5 mm. Jeśli przyjmiemy, że długość odcinka s_i (rys. 2) wyznaczona była jako różnica

$$s_i = D_i - D_0 \quad (10)$$

przy założeniu: $m_{D_i} = m_{D_0} = m_D$ otrzymamy

$$m_s = m_D \sqrt{2} \quad (11)$$

Wówczas

$$m_D = \frac{m_s}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

Dla maksymalnej wartości $m_s = \pm 12,5$ mm, wartość $m_D = \pm 8,8$ mm.

Otrzymany wynik obliczeń mieści się w granicach błędów podanego przez producenta (tab. 2). Uzyskanych wyników pomiarów laboratoryjnych nie można uogólniać ze względu na małą liczbę pomiarów doświadczalnych.

Tabela 2. Dokładności pomiaru odległości w wybranych tachimetrach firmy Topcon

Rodzaj pomiaru odległości	Tachimetry seria GPT 3000(L)N	Tachimetry seria GPT 8200A
	dokładność	
Na przyzmat:	± 3 mm + 2 ppm	± 2 mm + 2 ppm
Bez przyzmatu:		
Tryb „standard” odległość do 25 m	± 10 mm	± 10 mm
Tryb „standard” odległość 25÷120 m	± 5 mm	± 3 mm + 2 ppm
Tryb „long” odległość 30÷1200 m	± 10 mm + 10 ppm	± 10 mm + 10 ppm

Kolejny etap badań obejmował pomiary wykonywane w różnych warunkach terenowych, a ich celem było poznanie możliwości i ograniczeń wynikających z prowadzenia pomiarów bezlustrowych. Pomiary te wykonane zostały tachimetrem GPT 3005(L)N, a w mniejszym zakresie tachimetrami z serii GPT7000 i GPT 8200A.

Aby poznać możliwości i ograniczenia wynikające z prowadzenia pomiarów bezlustrowych, wybierano obiekty, do których celowe częściowo były przesłaniające przez zarośla, gałęzie czy ogrodzenia. Wyniki uzyskane podczas tych prób były rozbieżne, co powinno skłaniać do ostrożności przy akceptacji rezultatów w przypadku występowania przeszkód na drodze wiązki pomiarowej. Rozbieżności były duże, w granicach odległości pomiędzy

przeszkodą a ścianą budynku. Wynika z tego, że dalmierz czasem wskazywał odległość do ściany, a czasem do przeszkody, w zależności od tego, na który przedmiot padła większa część wiązki lasera. W niektórych próbach pomiarów wykonywanych tachimetrami serii GPT 7000 i GPT 8200A odległość była automatycznie uśredniona.

Szczególną uwagę należy zwrócić na sposób pomiaru odległości do krawędzi budynków, zwłaszcza gdy nie jest to krawędź zewnętrzna, tylko załamanie budynku, a w tle także jest ściana. Najczęściej zdarza się, że wiązka ulega wówczas rozszczepieniu, a czas przejścia obu jej części odbitych od różnych płaszczyzn, zawierającej mierzoną krawędź i tę w tle, zostaje uśredniony. W ten sposób zostaje wyświetlony wynik pomiaru do powierzchni nie występującej w rzeczywistości. Spośród dalmierzy bezlustrowych firmy Topcon jedynie tachimetry serii GPT 3000(L)N nie uśredniają bezkrytycznie dwóch odległości, gdy różnica pomiędzy nimi przekracza trzykrotną wartość błędu pomiaru.

Należy więc unikać pomiaru odległości bezpośrednio do krawędzi. W przypadku powierzchni prostopadłych do osi celowej lunety odległość należy mierzyć do powierzchni zawierającej krawędź, a do samej krawędzi jedynie kierunku H_z i V . Następnie wykorzystuje się oprogramowanie tachimetru, które pozwala na wyznaczenie odległości do krawędzi. Jeżeli powierzchnia nie jest prostopadła do osi celowej, można skorzystać z funkcji „mimośrodek – płaszczyzny” zawartej w oprogramowaniu. Pomiar odległości wykonuje się wówczas do trzech punktów na płaszczyźnie, na podstawie których w instrumencie zostaje wyznaczone równanie tej płaszczyzny. Następnie należy wycelować do krawędzi, a instrument na podstawie aktualnych kierunków H_z i V obliczy odległość do punktu przecięcia osi celowej ze zdefiniowaną płaszczyzną. Pomiar odległości do naroży budynków przeprowadzany jest w oryginalny sposób przy użyciu jednego z tachimetrów z serii GPT 7000. Tachimetr GPT 7000i jest instrumentem łączącym w sobie tachimetr elektroniczny i najnowszą technologię cyfrową. Miejsce wycelowania widoczne jest nie tylko przez lunetę, ale zobrazowane jest także w postaci zdjęcia na dużym 3,5 calowym ekranie LCD. W instrumencie tym siatka kresek lunety należy wycelować na powierzchnię zawierającą krawędź, ale nie na samą krawędź. Aparat cyfrowy, poprzez badanie kontrastu pomiędzy ścianą a tłem, sam szuka naroży w obrębie widocznego na ekranie LCD prostokąta, obejmującego sąsiedztwo miejsca wycelowania przez lunetę (rys. 6). Odległość mierzona jest zatem bezlustrowo – do jednoznacznej powierzchni, a oprogramowanie oblicza domiary prostokątne od środka krzyża kresek do wykrytego na obrazie naroża, na podstawie których obliczana jest szukana odległość.

Siatka kresek lunety widoczna na ekranie LCD



Rys. 6. Widok ekranu LCD tachimetru GPT 7000i podczas pomiaru do naroży budynku

Tryb bezlustrowy jest szczególnie przydatny w pomiarach do jednoznacznych, ale trudno dostępnych obiektów, typu maszty telefonii komórkowej, wieże kościołów, linie energetyczne. Jest to szybki i wygodny sposób pomiaru w takich przypadkach. Daje też zadowalające dokładności (por. tab. 2).

6. Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, że tachimetry elektroniczne posiadające opisane powyżej funkcje, pozwalające na pomiar odległości bez konieczności stosowania pryzmatu, możliwość automatycznego naprowadzania na cel i system kompensacji wychylenia osi obrotu od pionu – są niezwykle przydatnymi instrumentami w nowoczesnej technologii pomiarowej.

Wyposażenie tachimetrów w kompensatory i odpowiednie oprogramowanie pozwala na uzyskanie, w wyniku przeprowadzonych pomiarów, wartości kierunków poziomych i kątów pionowych poprawionych ze względu na błąd odchylenia osi głównej instrumentu od pionu. Jest to tym bardziej cenne, że w instrumentach klasycznych ewentualny błąd spowodowany wychyleniem osi obrotu instrumentu od pionu w ogóle nie jest kompensowany ani przez technologię pomiaru, ani przez obliczanie poprawek. Korekcja wychylenia osi głównej w trakcie pomiaru może być potrzebna, gdy po początkowym prawidłowym spoziomowaniu instrumentu oś obrotu zaczyna się odchyłać od linii pionu z powodu trudnych warunków terenowych lub atmosferycznych.

Funkcja automatycznego naprowadzania instrumentu na pryzmat wydatnie skraca czas pomiaru oraz zwiększa jego niezawodność. Pozwala także na prowadzenie obserwacji w warunkach, które dla obserwatora mogą być trudne. Umożliwia to na wyeliminowanie błędów grubych i daje wysoką dokładność obserwacji.

Możliwość pomiaru odległości bez użycia pryzmatu znacznie zwiększa efektywność pomiarów, gdyż w wypadku wielu obiektów dotychczas niedostępnych do bezpośrednich pomiarów liniowych pomiary takie mogą być wykonane. Należy jednak zachować pewną ostrożność przy akceptacji wyników pomiaru wykonywanych w trudnych warunkach celowania.

Literatura

- [1] GPT 3000(L)N English Final.pdf [on-line] [dostęp 10 grudnia 2005]. Dostępny na: <http://www.topconeurope.com>
- [2] Hennes M.: *Grundlegende Aspekte zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Robottachymetern*. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Heidelberg, Wichmann Verlag 1999
- [3] Holejko K.: *Precyzyjne elektroniczne pomiary odległości i kątów*. Warszawa, WNT 1987
- [4] Kuhlmann H.: *Sensorik zielverfolgender Tachymeter*. Mitteilungen des Landesvereins Baden-Wuerttemberg des DVW, 46, Jahrgang, Heft 2, Stuttgart, 1999
- [5] Płatek A.: *Elektroniczna technika pomiarowa w geodezji*. Kraków, Wyd. AGH 1995

-
- [6] Sobczyk Z.: *Funkcja automatycznego naprowadzania na cel w tachymetrach elektronicznych*. Półrocznik AGH Geodezja, t. 9, z. 1, 2003
 - [7] Steiger R.: *Verfahren der automatisierten Zielpunkterfassung und -verfolgung*. Hybride Vermessungssysteme. DVW Schriftenreihe, Heft 29, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 1998
 - [8] *Tachimetr elektroniczny serii GPT-3000(L)N, Topcon*. Instrukcja obsługi