

Tachimetr DTM-750 testowany na uniwersytecie w Bonn

Nikon zdaje egzamin

Metody pomiarowe nowoczesnych urządzeń geodezyjnych nie różnią się wiele od metod stosowanych dawniej. Natomiast dużo trudniej jest zinterpretować rezultaty, gdyż większość producentów wbudowuje do mikroprocesora system funkcji korygujących błędy. W takim przypadku otrzymane różnice niekoniecznie odnoszą się do fizycznych efektów i rezultatów pomiarów.

1. Ogólna charakterystyka DTM-750

Na uwagę zasługuje fakt, że ten instrument Nikonu jest nie tylko konwencjonalną stacją, lecz także połowym komputerem kompatybilnym z systemem MS-DOS. Zaś główny procesor NEC V25 (16-bitowy, z zegarem 5 MHz) jest kompatybilny z procesorem INTEL 8086. Poza procesorem V25 instrument wyposażony jest w 6 innych, niezależnie pracujących procesorów: do odczytu kąta, do kompensatora, wyświetlacza, dwóch klawiatur, dalmierza i ostatecznie, nieustannie sprawdzający gotowość instrumentu do właściwej pracy. Tachimetr DTM-750 posiada dwie wewnętrzne karty pamięci PCMCIA. Pierwsza karta typu ROM/RAM posiada napęd A i napęd D. Napęd A jest podzielony na dwie przestrzenie ROM, z czego jedna zawiera oprogramowanie systemu MS-DOS, czyli BIOS, a druga dodatkowe programy pomocnicze systemu (np. program awaryjny). Napęd D jest użyty jako główna pamięć 512 kB (po to, by trzymać oprogramowanie systemowe w przestrzeni SRAM). Druga karta jest kartą pamięci typu EEPROM. Oczywiście struktura ta jest niewidoczna dla użytkownika. Dwa kolejne napędy PCMCIA, tym razem widoczne dla użytkownika, to górny zwany C, używany do wprowadzania programów geodezyjnych, i dolny, zwany B, służący do zapamiętywania danych na karcie pamięci. Pojemność tej pamięci zależy od użytej karty, a system gwarantuje maksymalne bezpieczeństwo danych. Aby w pełni wykorzystać wspomniane zalety instrumentu, producent wyposażył go w graficzny wyświetlacz ciekło-kryształyczny, o rozdzielczości 256x80 pikseli. Dodatkowo w drugim położeniu lunety zainstalowano wyświetlacz pomocniczy 16x4 znaki. Regulacja kontrastu oraz automatyczne włączanie się w temperaturach poniżej 5°C podgrzewania ekranu gwarantują niezawodną



Nikon DTM-750

pracę wyświetlaczy w każdych warunkach klimatycznych. Instrument posiada możliwość oszczędzania baterii (automatyczne wyłączenie) i może być ustawiony w trybie wyłączającym wszystkie funkcje lub tylko dalmierz. Bateria znajduje się w ręczce urządzenia, a stan jej naładowania jest pokazywany na wyświetlaczu.

1.1 System pomiaru odległości

Jak prawie każdy elektroniczny tachimetr również DTM-750 używa do pomiaru odległości metody porównania fazy. W Nikonie zastosowano falę nośną o długości 850 nm (bliska podczerwień) modulowaną częstotliwością 75 MHz, co daje w rezultacie falę pomiarową o długości 2 m i pozwala uzyskać rozdzielczość 0,2 mm. W tachimetrah nowej generacji tak wysoką częstotliwość modulacji zastosowano jedynie w urządzeniu do precyzyjnych pomiarów NET2 firmy SOKKIA. Dokładność DTM-750 podana przez Nikonu wynosi $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppmxD})$, w zakresie temperatur od -10°C do +40°C. Dokładność taką otrzymuje się w

precyzyjnym trybie pomiaru. Instrument posiada również szybszy tryb pomiaru, którego dokładność określa się na $\pm(5 \text{ mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$, przy rozdzielczości 1 mm. Możliwy jest również pomiar w trackingu, który może być użyty do realizacji tyczeń z rozdzielczością 10 mm. Wspomniane metody różnią się ilością wykonywanych pomiarów wewnętrznych, jak również czasem ich trwania.

1.2 System pomiaru kąta

Tachimetr DTM-750 posiada inkrementalny system pomiarowy, z 16 200 promieniście rozchodzącymi się liniami na każdym kole (1 działka = $80''$). Nad kołem znajduje się dioda nadawcza (LED). Światło kierowane jest na szklaną płytkę indeksową, która posiada taki sam wzór linii jak na głównym kole. Światło przechodzi zarówno przez płytkę indeksową, jak i przez koło główne, po czym wykrywana jest przez fotodiodę umieszczoną pod kołem. Uzyskane sygnały, które powstają przy przesunięciu koła względem płytki indeksowej, posiadają przybliżeniu kształt sinusoidalny. Początkowo sygnały użyte są do zliczenia ilości linii odpowiadających przesunięciu kątowemu. To odpowiada zgrubnemu odczytowi kąta z rozdzielczością $80''$. Następnie sygnały E0 i E90 (przesunięty w fazie o 90°) kierowane są do przetwornika analogowo-cyfrowego, gdzie uzyskuje się rozdzielczość $1/16''$. Wykorzystuje się następującą zależność:

$$\varphi = \arctan \frac{E0}{E90}$$

W celu uzyskania wartości kąta procesor łączy pomiar zgrubny z wartością interpolowaną. Odchyłki od pozycji pionowej urządzenia korygowane są za pomocą dwuosioowego kompensatora. Zgodnie ze specyfikacją pracuje on w zakresie $\pm 3'$ z dokładnością $1''$. Rozdzielczość odczytu kąta pionowego i poziomego wynosi $2''$. Producent podaje dokładność pomiaru kąta $\pm 5''$ (odchylenie standardowe wg DIN18723).

1.3 Koncepcja oprogramowania

Jak wspomniano wcześniej, w urządzeniu zastosowano system operacyjny kompatybilny z MS-DOS. Takie rozwiązanie daje możliwość szybkiej obróbki danych, jak również rozszerzenia systemu innymi programami. Może to być zarówno oprogramowanie firmy Nikon o symbolu AP-700, jak również programy użytkownika. Jeśli użytkownik chce utworzyć swoje własne oprogramowanie, powinien zastosować specjalny pakiet dostarczany przez producenta. Pakiet zawiera listę funkcji, które dają możliwość dostępu do operacji wykonywanych przez instrument. Port RS232 umożliwia przepływ danych w dwóch kierunkach.

2. Rezultaty testu

Metody pomiarowe nowoczesnych urządzeń geodezyjnych nie różnią się wiele od metod stosowanych dawniej. Natomiast dużo trudniej jest zinterpretować rezultaty, gdyż większość producentów wbudowuje do mikroprocesora system funkcji korygujących błędy, takie jak błąd interpolacji, błąd cykliczny itp. W takim przypadku otrzymane różnice niekoniecznie odnoszą się do fizycznych efektów i rezultatów pomiarów. Na ile autorzy tej analizy orientują się, Nikon nie stosuje takich funkcji korygujących.

2.1. System pomiaru odległości

Stabilność częstotliwości. Zmiany częstotliwości kwarcu zależne od temperatury redukowane są przez wewnętrzny elektroniczny układ kompensacji temperaturowej. Test daje liniową zależność częstotliwości od temperatury zewnętrznej we wspomnianym zakresie pracy. Zauważalne są różnice $< 0,1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ oraz różnice

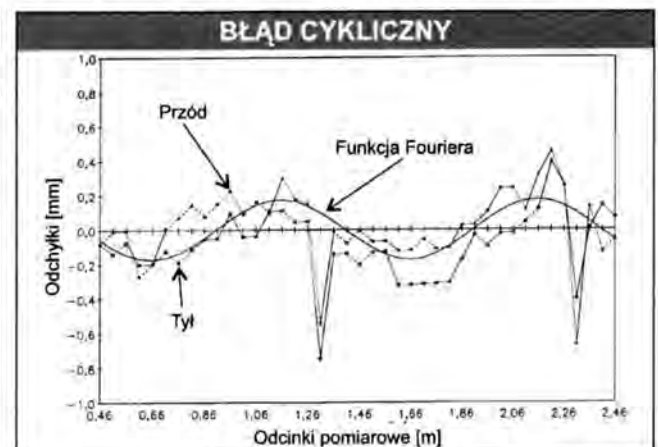
$0,3 \text{ ppm}$ – podczas pierwszych trzech minut pracy zaraz po włączeniu urządzenia.

Rozdzielczość. Test określający odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru dał rezultat $0,16 \text{ mm}$. Testy były wykonywane dla różnych odległości, zarówno w warunkach polowych, jak i laboratoryjnych. Wartość błędu była zawsze poniżej $0,2 \text{ mm}$, czyli poniżej wartości minimalnej rozdzielczości odczytu. Dalszą metodą sprawdzenia systemu pomiaru odległości urządzenia jest tzw. wewnętrzna dokładność. W celu jej wyznaczenia wykonano pomiary do przyzmatu przesuwanego o interwał, który jest mniejszy od rozdzielczości instrumentu. W tym teście przyzmat przesuwano w zakresie 2 mm o interwały równe $0,02 \text{ mm}$. Właściwa pozycja pomiarowa była sprawdzana za pomocą laserowego interferometru firmy Hewlett-Packard, typ 5526. Pomiary były wykonywane w dwóch kierunkach, do przodu i do tyłu (na wykresie poniżej pokazane są wartości średnie wzięte z 5 pojedynczych pomiarów). Uzyskane wartości tworzą funkcję „schodków”, których wysokość i szerokość odpowiada rozdzielczości urządzenia. Taki pomiar daje obraz określający dokładność instrumentu.



Wykonując obliczenia błędów na podstawie metody najmniejszych kwadratów otrzymano błąd rozdzielczości $0,07 \text{ mm}$. To z kolei odpowiada dokładności wewnętrznej równej $0,14 \text{ mm}$.

Błąd cykliczny. Błąd cykliczny może być wyznaczony przez pomiar odległości w odpowiednio dobranym zakresie. Zakres określony jest przez długość zastosowanej w urządzeniu fali (tutaj 2 m). Pomiary zostały wykonane na bazie komparacyjnej Niemieckiego Instytutu Geodezji posiadającej interferometr laserowy. Lustro przesuwane jest o stały interwał w całym zakresie pomiarowym. Różnice między aktualnymi pomiarami a wartościami nominalnymi uzyskanymi za pomocą interferometru użyte są do określenia fun-



kcji błędu cyklicznego za pomocą analizy Fouriera. Maksymalna amplituda znaleziona za pomocą testu błędu cyklicznego wyniosła poniżej 0,2 mm.

Analizując wyniki z rys. na stronie obok można zauważyć odchyłki pojawiające się co pół długości fali (tutaj 1 m) osiągające nawet do 0,7 mm. Ten efekt jest rezultatem odwrócenia sygnału pomiarowego o 180°, gdy przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem wysłanym i odbitym jest w zakresie 90° do 270°. Metoda ta pozwala na uniknięcie dużych błędów pomiarowych, a także uzyskanie bardziej stabilnych rezultatów. Odbywa się to jednak kosztem powstania wspomnianych wcześniej odchyłek. Na szczęście pojawiają się one tylko w zakresie kilku centymetrów w pobliżu połowy długości fali.

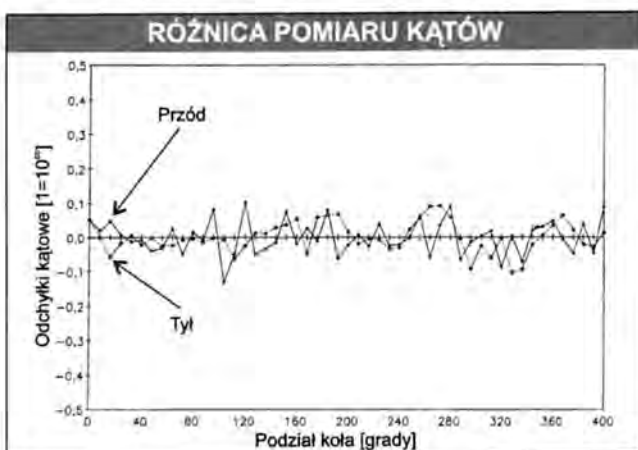
Dokładność pomiaru odległości. Dokładność pomiaru oraz błęd dalmierza były sprawdzane w różnych warunkach atmosferycznych na bazie Bonn-Rottgen przez porównanie nominalnych odległości bazy z odległościami pomierzonymi przez DTM-750. Podana przez producenta dokładność $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppmxD})$ w temperaturze od -10°C do $+40^\circ\text{C}$ przy pomiarze precyzyjnym okazała się nawet zbyt ostrożna i błąd pomiaru odległości w naszym teście nie przekroczył $\pm 0,5 \text{ mm}$.

2.2 System pomiaru kąta

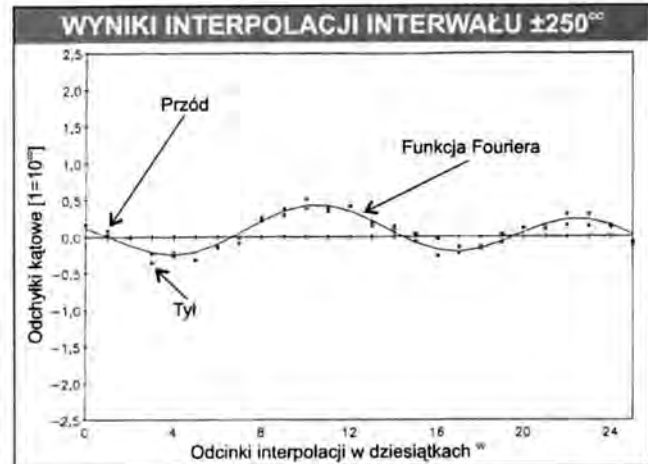
Błąd koła podziałowego. Aby sprawdzić dokładność pomiaru kąta w DTM-750, porównano wykonane pomiary z systemem o wyższej klasie dokładności. Zadanie wykonano jak na rys. poniżej, z zastosowaniem teodolitu firmy WILD T2000S oraz autokolimatora firmy LEITZ. Instrumenty zostały zamocowane jeden na drugim. Błędy wynikające z zamocowania mogą być łatwo „odfiltrowane”, gdyż ich rozkład jest funkcją sinusoidalną o okresie 1.



Jak widać na rys. poniżej wszystkie różnice były mniejsze niż $2''$.



Błąd interpolacji. Ponieważ koło podziałowe posiada 16 200 linii odpowiadających 400 gradom, błąd interpolacji można określić przez pomiar w zakresie $250''$ z krokiem np. $10''$, używając jako referencji cyfrowego kolimatora. Błąd interpolacji jest błędem okresowym. Korzystając z analizy Fouriera oraz metody najmniejszych kwadratów otrzymano rezultaty (rys. poniżej) zgodne ze specyfikacjami Nikon.



2.3 Kompensator

Wbudowany fabrycznie kompensator powinien korygować zmiany odchylenia osi pionowej w odczycie kąta poziomego i pionowego. Przy włączonym kompensatorze składowe odchylenia kąta są w sposób ciągły czytane przez bufor danych. W ten sposób korekcje dla kąta poziomego i pionowego są kalkulowane automatycznie. DTM-750 ma cieczowe kompensatory, które wykrywają oddzielnie składowe po obu osiach. Poziomowanie instrumentu odbywa się za pomocą typowych libelli zamontowanych w instrumencie. Dane cyfrowe elektronicznej libelli mogą być również odczytane na wyświetlaczu.

Przez pochylanie o znane wartości stolika, na którym zamocowano instrument, można było sprawdzić dokładność kompensatora. Podane przez producenta wartości, tzn. $<1''$ w zakresie $\pm 3,5''$, zostały potwierdzone.

3. Wnioski

Rezultaty pomiarów pokazują, że stacja DTM-750 posiada bardzo dobry system pomiaru długości, którego dokładność jest zdecydowanie lepsza niż na to wskazują dane producenta. Również dokładności pomiaru kąta mieszczą się w specyfikacji podanej przez firmę Nikon. Instrument posiada bardzo logiczny i prosty system obsługi, który czyni go komfortowym narzędziem pracy. Wyniki testu potwierdzają doskonałe parametry techniczne oraz funkcje użytkowe Nikon. Natomiast sama idea konstrukcji wytycza nową drogę w tworzeniu instrumentów typu total station.

Opracował Czesław Urbański

Literatura:

W. Schauerte, C. Müller, R. Scholl, *Test results of Nikon's DTM-750 total station*, Vermessungs wesen und Raumordnung, Sonderdruck aus Jahrgang 56 (1994), Zeszyt 4+5, s. 269-284, FERD. DUMMÜLERS VERLAG, Postf. 1480, 53004 Bonn

[Opisany w tym artykule instrument DTM-750 zwyciężył w największym organizowanym w tym roku w Polsce przetargu na dostawę sprzętu geodezyjnego (ogłoszonym przez PKP) – przyp. red.]