

Komparator łat kodowych

WOJCIECH JANUSZ, JERZY JANUSZ, MIECZYŚLAW KOŁODZIEJCZYK

łaty do niwelacji precyzyjnej z tradycyjnym, równomiernym podziałem podlegają okresowym kontrolom polegającym na wyznaczaniu przypadkowych i systematycznych odchyłek rozmieszczenia kresek podziału w stosunku do rozmieszczenia wzorcowego [6], [7]. Bardziej złożony jest problem dokonywania okresowych kontroli łat przystosowanych do niwelatorów cyfrowych – z zakodowanym, nierównomiernym rozmieszczeniem i zróżnicowaną grubością kresek.

Wynika to stąd, że w przypadku łaty kodowej rozmieszczenie kresek i dobór ich grubości spełniają graficznie algorytm, którego rozszyfrowanie i przetworzenie do systemu metrycznego nie jest dokonywane przez obserwatora, lecz przez odpowiednio zaprogramowany niwelator cyfrowy. Niwelator taki „odczytuje” widoczny fragment podziału łaty przy użyciu kamery CCD, porównuje go z obrazem całej podziałki kodowej zgromadzonej w pamięci, oblicza i podaje w formie cyfrowej odległość pionową od stopki łaty do miejsca horyzontu osi celowej.

Dostęp do informacji o powiązaniu funkcjonalnym podziału na łacie kodowej i systemu odczytowego niwelatora jest zastrzeżony. Z tego powodu nikt poza producentem nie może określić osobno wartości następujących potencjalnych błędów poszczególnych urządzeń:

1. systematycznej niezgodności długości kodu wzorcowego instrumentu z długością wzorcową – błędu skali niwelatora cyfrowego,
2. systematycznej niezgodności długości kodu łaty (podziału) z długością wzorcową – błędu skali łaty,

3. przypadkowych odchyłek naniesienia kresek podziału (kodu) łaty w stosunku do długości wzorcowej lub kodu wzorcowego niwelatora.

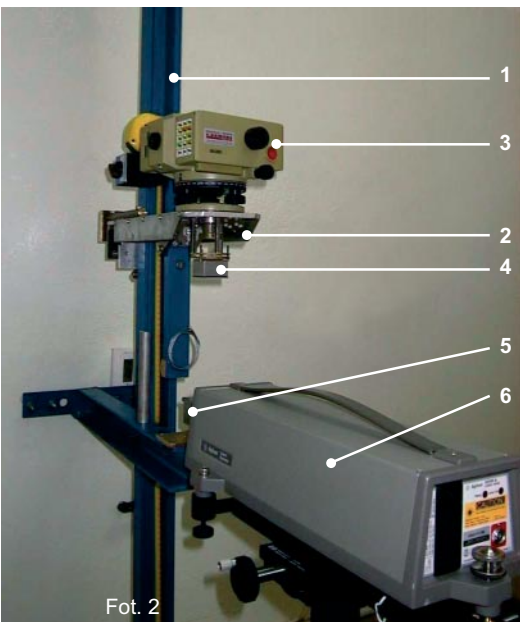
Błąd skali łaty, a prawdopodobnie także błąd skali instrumentu, mogą zmieniać

się w czasie. Błędy 1, 2 i 3 nakładają się podczas pracy zestawem przyrządów, co oznacza, że nawet w przypadku gdy podział łat kodowych jest wolny od odchyłek przypadkowych i systematycznych, to wskutek błędu skali instrumentu, mierzone przewyższenie będzie obciążone błędem systematycznym.

Dlatego dla umożliwienia analitycznej eliminacji wpływu kombinacji błędów 1 i 2 z wyników pomiarów należy w ramach komparacji wyznaczać wartość współczynnika skali zestawu niwelator cyfrowy – łata kodowa. Pomiar komparacyjny powinien także określić wartość błędu przypadkowego odczytu łaty kodowej w warunkach laboratoryjnych (odpowiednik błędu średniego naniesienia podziału na łacie tradycyjnej) oraz określić wartości błędów grubych pojawiających się przy odczytach skrajnych fragmentów łaty.



Fot. 1. Niwelator cyfrowy NA3003 firmy Leica ustawiony na przemieszczanym pionowo wózku komparatora oraz komparowana łata GPCL3 (w głębi)



Fot. 2

● Komparator pionowy

Autorzy niniejszego artykułu opracowali sposób postępowania polegający na sprawdzaniu, czy różnice wysokości mierzone niwelatorem cyfrowym i łatami kodowymi nie mają nadmiernych odchyłek o charakterze systematycznym (wyrażonych w systemie metrycznym), i na wyznaczeniu wartości tych odchyłek. Potrzeba sprawdzania opartego na takich zasadach wyrażona została w wielu publikacjach, między innymi w [12].

Możliwość takiego sprawdzania podziału – na poziomie dokładności komparacji laboratoryjnej – wynika z danych technicznych niwelatorów cyfrowych i z eksperymentu, w toku którego potwierdzono, że przy krótkiej, niezakłóconej celowej można uzyskać błąd średni odczytu łaty kodowej rzędu $\pm 0,01$ mm, tj. zbliżony do błędu nacełowania na krawędź kreski podziału łaty za pomocą mikroskopu stosowanego w komparatorze do kontroli łat tradycyjnych. Ta cecha pomiaru elektronicznego została wcześniej wykorzystana w Finnish Geodetic Institute w Helsinkach do budowy komparatora łat kodowych opisanego w pracy [12]. Komparator ten oraz dwa inne o podobnej konstrukcji znajdujące się w Europie, wymagają dysponowania przestrzenią o wysokości 7 m, w której przesuwana jest pionowo badana łata.

Komparator pionowy do łat kodowych opracowany w Zakładzie Geodezji Stosowanej IGiK (fot. 1, 2 i 3) zbudowano na zasadzie odmiennej niż w [12], unieruchamiając komparowaną łatę i umożliwiając pionowe przemieszczanie niwela-

tora cyfrowego. Dzięki temu, przy wykorzystaniu funkcji inwersu odczytów łaty, można go stosować w pomieszczeniach o wysokości nieznacznie większej od długości komparowanych łat (3,05 m). W przypadku, gdy nie korzystamy z inwersu odczytów, komparator wymaga pomieszczenia o wysokości 4 m lub dwóch pomieszczeń znajdujących się nad sobą z otworem w stropie umożliwiającym przestawianie łaty na reper wyżej położony w celu komparowania dolnego fragmentu łaty.

Komparator zbudowano w sposób umożliwiający sprawdzanie zestawów łat kodowych o zróżnicowanych kodach i niwelatorów cyfrowych produkowanych przez różne firmy. Składa się on z prostoliniowej, pionowo usytuowanej i unieruchomionej prowadnicy (1), po której może poruszać się wózek (2) z platformą do ustawiania na niej niwelatora cyfrowego (3). W odległości poziomej 2,05 m od prowadnicy – nieznacznie większej od minimalnej odległości ogniskowania obrazu łaty w lunecie niwelatora (Leica) – ustawiona jest nieruchomo, w pozycji pionowej sprawdzana łata kodowa. Do wózka (2) współosiowo z niwelatorem przytwierdzone jest od spodu lustro zwrotne (4) interferometru zaś do podpory prowadnicy (1) przytwierdzony jest interferometr laserowy (5). W pobliżu prowadnicy ustawiony jest na statywie rzutnik laserowy (6). Komparator ten przystosowany jest również do sprawdzania łat z podziałem równomiernym. [Szczegółowy opis budowy i pracy komparatora zawarty jest w przygotowanej do druku pracy [13] – red.]

● Zasady pracy z użyciem komparatora

Przy użyciu tego komparatora jednoczesnemu pomiarowi niwelacyjnemu i interferometrycznemu podlegają pionowe odległości między pozycją wyjściową wózka komparatora i kolejnymi jego pozycjami. W tym celu:

■ ustawiamy wózek na prowadnicy tak, aby oś celowa niwelatora cyfrowego znalazła się na poziomie h_0 , wykonujemy niwelatorem odczyt $h_{0, niw}$ na łacie kodowej oraz równocześnie interferometryczny pomiar odległości pionowej $h_{0, int}$ retroreflektora od interferometru, po czym odczyt interferometru zerujemy;

■ przesuwamy wózek po prowadnicy tak, aby oś celowa niwelatora cyfrowego znalazła się na poziomie h_i , wykonujemy niwelatorem na łacie kodowej odczyt $h_{i, niw}$ oraz równocześnie na interferometrze od-

czyt $h_{i, int} = Dh_{i, int}$ różnicy wysokości lustra w stosunku do jego poziomu $h_{0, int} = 0,0$ mm;

■ obliczamy różnicę

$$dh_i = (h_{i, niw} - h_{0, niw}) - Dh_{i, int} = Dh_{i, niw} - Dh_{i, int}$$

Dokładność pomiaru interferometrem jest co najmniej o jeden rząd wyższa niż błąd $Dh_{i, niw}$ pomiaru niwelatorem, można zatem przyjąć, że błąd różnicy dh_i wynika w przeważającym stopniu z błędu (odchyłki) wyznaczenia różnicy wysokości niwelatorem cyfrowym na łacie kodowej.

Wózek z niwelatorem jest podczas komparowania ustawiany kolejno na poziomach różniących się w przybliżeniu o stałe interwały (np. co 10 cm, 5 cm lub gęściej w zależności od przyjętego stopnia szczegółowości badania podziału łaty) i przy tych ustawieniach wykonuje się równocześnie: odczyty niwelatorem cyfrowym na łacie kodowej i interferometrem odczyty różnic wysokości położenia lustra zwrotnego. W rezultacie otrzymuje się zbiór różnic dh_i przewyższających w stosunku do początkowego h_0 poziomu ustawienia niwelatora, służący do wyznaczenia błędu średniego i odchyłki systematycznej różnic wysokości mierzonych niwelatorem cyfrowym z wykorzystaniem łaty kodowej.

Dla każdej pomierzonej różnicy dh_i układamy równanie poprawki typu:

$$dh_i + v_i = Ax_i + B,$$

gdzie: x_i – wysokość położenia horyzontu niwelatora nad stopką łaty.

Rozwiązujemy tak utworzony układ równań liniowych metodą najmniejszych kwadratów, otrzymując w rezultacie parametry A, B prostej regresji i poprawki v_i umożliwiające oszacowanie błędu przy-



Fot. 3

padkowego odczytu łąty kodowej w warunkach laboratoryjnych (naniesienia i wyznaczenia pozycji „kreski” kodu), np. według wzoru:

$$m_{dh} = \bar{\sigma} [v]/n-1.$$

Parametr A określa systematyczną różnicę długości tzw. metra średniego, tj. błąd skali zestawu (systemu pomiarowego) niwelatora cyfrowy – łąta kodowa.

Otrzymane poprawki v kształtują się także pod wpływem błędów pracy kompensatora niwelatora cyfrowego. Należy więc podkreślić, że przy omawianym sposobie komparacji z przemieszczaniem niwelatora sprawdza się dodatkowo poprawność działania kompensatora niwelatora cyfrowego.

● Wyniki wstępnych badań

Zbudowany komparator zainstalowano w pomieszczeniu IGiK o wysokości 3,08 m. Obróbka mechaniczna prowadnicy oraz jej pionowanie wykonane zostały z taką dokładnością, a dociśnięcie wózka do prowadnicy z taką siłą, aby przesuwowi wózka z niwelatorem wzdłuż prowadnicy (w pełnym zakresie pomiarowym) nie towarzyszyły przechylenia i drgania powodujące przekroczenie zakresu pracy kompensatora niwelatora. Spełnienie takich wymagań związane jest z koniecznością utrzymania niezbędnej stabilności położenia lustra zwrotnego, zapewniającej ciągłość pomiaru interfero-

metrycznego w pełnym zakresie pomiarowym, tj. przesuwu wózka tam – powrót. Zmiany nachylenia wózka przy jego ustawieniach na zróżnicowanych wysokościach prowadnicy w całym zakresie pracy komparatora wyznaczono w dwóch prostopadłych płaszczyznach, umieszczając opracowany w IGiK pochylomierz elektroniczny PN 31 na wózku i zmieniając wysokości położenia wózka na zainstalowanej prowadnicy.

Przeprowadzono wiele prób, przy których zwracano szczególną uwagę na obserwację ewentualnych zakłóceń przebiegu i wyników komparacji łąt pod wpływem możliwych drgań oraz wzajemnych przemieszczeń pionowych prowadnicy i łąty, których na szczęście nie stwierdzono

Oceny te potwierdziły się podczas komparowania czterech łąt GPCL i niwelatora NA3003. Komparacje wykazały małe odchyłki systematyczne łąt oraz wysoką jakość ich sprawdzania na omawianym komparatorze, wyrażającą się wysoką zgodnością pomiarów w dwóch seriach oraz uzyskaniem bardzo małego rozrzutu wartości v . Otrzymane przy tych komparacjach wartości poprawek v , błędy „podziału” m_{dh} oraz odchylenia systematyczne podziału A wyrażone w systemie metrycznym i ich błędy średnie m_A zestawiono w tabeli. Podkreślenia wymaga zwłaszcza możliwość wyznaczania na tym komparatorze parametru A z błędem średnim $m_A = \pm 3$ mm/m.

Otrzymane wartości świadczą o bardzo dobrej jakości niwelatora cyfrowego NA3003 i łąt GPCL firmy Leica.

Ważną i korzystną cechą użytkową omawianego komparatora jest całkowite wyeliminowanie błędów osobowych i możliwość pełnego zautomatyzowania porównań różnic wysokości mierzonych niwelatorem cyfrowym na łącie kodowej i interferometrem, bez konieczności precyzyjnego nacelowywania przez obserwatora na „kreski” podziału łąty.

W celu skomparowania łąt kodowych na komparatorze w IGiK konieczne jest dostarczenie niwelatora cyfrowego, z którym łąty współpracują.

Literatura

1. Feist W. K., Gurtler T. i inni, *Die neuen Digitalnivelliere DiNi 10 und DiNi 20*, „Vermessungswesen und Raumordnung” 57/2, April 1995;
2. Ingensand H., *The Wild NA2000, the first digital level in the world*, „AVN” 6, June 1990;
3. Ingensand H., *The evolution of digital leveling techniques-limitations and new solutions*, „The importance of heights”, Gavle, Sweden, 1999;
4. Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., *System terenowej kontroli długości podziału łąt niwelacyjnych*, GEODETA 1/2003;
5. Janusz J., Janusz W., *Stanowisko do terenowej kontroli długości podziału łąt niwelacyjnych*, VI Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”, Warszawa-Białobrzegi, 27-28 marca 2003;
6. Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., *Terenowy komparator łąt do niwelacji precyzyjnej*, przygotowano do wydawnictwa „Seria Monograficzna” nr 7, IGiK, Warszawa 2003;
7. Praca zbiorowa, *Niwelacja precyzyjna*, PPWK Warszawa-Wrocław, 1993;
8. Maurer W., Schnadelbach K., *Bestimmung der Systemgenauigkeit der digitalen Nivelliere NA2000/NA3000*, „In Festschrift Schelling. Mitt. Geod. Inst. TU”, Graz, 78, 1993;
9. Reithofer A., *Überprüfung des Digitalnivelliersystems Wild NA3000/GPCL*, „Festschrift Schelling. Mitt. Geod. Inst. TU”, Graz, 78, 1993;
10. Rueger J. M., Brunner F. K., *On System Calibration and Type Testing of Digital Levels*, „Zeitschrift für Vermessungswesen”, 4/2000;
11. Pokrzywa A., Mróz J., Szczytko T. i inni, *Technologie kompleksowego sprawdzania łąt niwelacyjnych z wykorzystaniem interferometru laserowego HP 5529 A*, „Geodezja”, t. 6, z. 1, AGH Kraków, 2000;
12. Takalo M., Rouhiainen P., *On System Calibration of Digital Levels*, „Proceedings of the 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission”, Espoo, Finland, 1-5 Oct, 2002;
13. Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., *System komparacji łąt kodowych opracowany w IGiK w Warszawie*, przygotowano do wydawnictwa „Seria Monograficzna” nr 7, IGiK, Warszawa 2003.

Typ, nr łąty	GPCL3 29700	GPCL3 29698	GPCL2 29656	GPCL2 29638	WYKRESY	
	v [mm]				v [mm]	
2,7	3	6				
2,6	4	7				
2,5	-14	8				
2,4	-3	-1				
2,3	-2	-1				
2,2	-1	-10				
2,1	0	-9				
2,0	1	2				
1,9	-2	-17	7	-5		
1,8	-11	-6	-3	6		
1,7	-15	-1	-2	12		
1,6	1	0	18	4		
1,5	7	-9	9	-10		
1,4	18	2	-1	-3		
1,3	5	12	-10	-7		
1,2	11	13	-9	0		
1,1	17	9	-9	-4		
1,0	3	0	-8	3		
0,9	15	5	-8	-6		
0,8	6	11	3	6		
0,7	-3	-8	3	-3		
0,6	-12	-7	-6	4		
0,5	0	-6	-5	0		
0,4	-19	4	5	2		
0,3	-8	-5	6	-2		
0,2			16	10		
0,1			-3	-4		
m_{dh} [mm]	10	8	6	8		
A [mm/m]	-12	-8	-15	-6		
m_A [mm/m]	3	2	2	3		