

System terenowej kontroli długości podziału łąt niwelacyjnych

Bliziej geodety

JERZY JANUSZ, WOJCIECH JANUSZ, MIECZYŚLAW KOŁODZIEJCZYK

Przy wyznaczaniu osiadań wysokich obiektów hydrotechnicznych od wielu lat nierozwiązany pozostaje problem zagwarantowania niezmienności skali wyników uzyskiwanych na podstawie okresowych pomiarów kontrolnych sieci niwelacyjnych. Zaburzenia skali mające charakter systematyczny występują również w precyzyjnej niwelacji państwowej na terenach o dużych różnicach wysokości. Jednak ich szkodliwe konsekwencje uwydatniają się w pomiarach osiadań, gdyż uniemożliwiają dokonywanie wiarygodnej interpretacji wyników – niezbędnej do oceny stanu bezpieczeństwa badanego obiektu.

● Problem do rozwiązania

Błędy systematyczne skali pionowej powodowane są przede wszystkim przez zmiany długości podziału łąt, które powstają pod wpływem czynników zewnętrznych, głównie zmian wilgotności i temperatury korpusów łąt [2-4]. Z tego powodu osiadania reperów o różnicy wysokości rzędu 100 m mogą być obciążone błędami systematycznymi dochodzącymi do 10 mm, tj. o rząd większymi od błędów przypadkowych. Aby przeciwdziałać tak dużym błędom systematycznym, trzeba poddawać łąty okresowym komparacjom i wprowadzać do wyników pomiarów niwelacyjnych poprawki z tego tytułu. Wieloletnie doświadczenia produkcyjne pokazały jednak, że spełnienie tych zaleceń nie zawsze przynosiło poprawę wyników pomiarów. Sceptyczne opinie naukowców i praktyków na temat efektywności poprawek komparacyjnych powodowały, że zalecenie okresowej komparacji łąt używanych do pomiarów osiadań nie było konsekwentnie przestrzegane.

Przez długi okres nie podejmowano wnikliwych badań przyczyn zdarzającej się nieefektywności poprawek komparacyjnych – nie były znane bliższe zależności zmian długości podziału łąt od zmian temperatury, wilgotności i czasu oraz mechanicznych właściwości łąt (materiału użytego do budowy korpusu, teoretycznej wartości kompensacji wpływu zmian jego długości na długość podziału). Nie było też pełnej świadomości, że

korozja i zanieczyszczenie mechanizmu naciągu taśmy inwarowej mogą spowodować przy zmianach długości korpusów łąt duże zmiany długości podziału na taśmie. Zjawisko takie wykryto podczas badań [4] i *post factum* na jednym z obiektów hydrotechnicznych, gdzie duże różnice między wynikami pomiarów jesiennych i wiosennych interpretowano jako rezultat zmian stanu wilgotności i przemarzania podłoża,

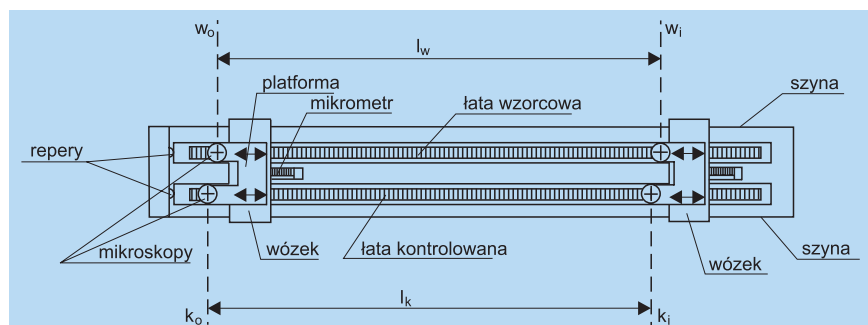
a nie zmian skali (długości podziałów) łąt z drewnianymi korpusami, zachodzących pod wpływem ich „zimowania” w pomieszczeniach zbyt suchych. Produkowane obecnie łąty w obudowie aluminiowej lub z tworzyw sztucznych nie podlegają tego rodzaju ujem-

nym wpływom sezonowych zmian wilgotności, lecz narażone są na równie niekorzystne wpływy zmian temperatury.

W renomowanej literaturze poświęconej niwelacji precyzyjnej (np. [8]) problem zmian długości podziału łąt poruszany jest w sposób lakoniczny. Również producenci łąt nie instruuja nabywców, jak eksploatować łąty, aby spełniały one funkcję precyzyjnego nośnika miary długości! Wśród geodetów przedstawione powyżej problemy wywoływały niejednokrotnie uczucie bezradności i powodowały, że o możliwości kontroli stałości skali niwelacji precyzyjnej wypowiada się wiele negatywnych i nieracjonalnych opinii. Jedną z nich przypisuje np. wstrząsom transportowym szczególnie szkodliwe oddziaływanie na długość taśmy inwarowej. Ten argument (słuszny tylko w przypadku łąt z zatartym systemem naciagowym, który „odblokowuje” się w transporcie) przez wiele lat ograniczał skuteczne utrzymywanie kontroli nad skalą

wyznaczeń wysokościowych. Był to koronny argument przeciwników transportowania łąt do laboratoriów komparacyjnych (chętnie przyjmowany, bowiem dzięki niemu wykonawcy nie ponosili dodatkowego wysiłku organizacyjnego i finansowego).

Osiadania reperów o różnicy wysokości 100 m mogą być obciążone błędami systematycznymi nawet do 10 mm, tj. o rząd większymi od błędów przypadkowych. Dlatego łąty trzeba poddawać okresowym komparacjom laboratoryjnym i dodatkowo – kontrolom terenowym.



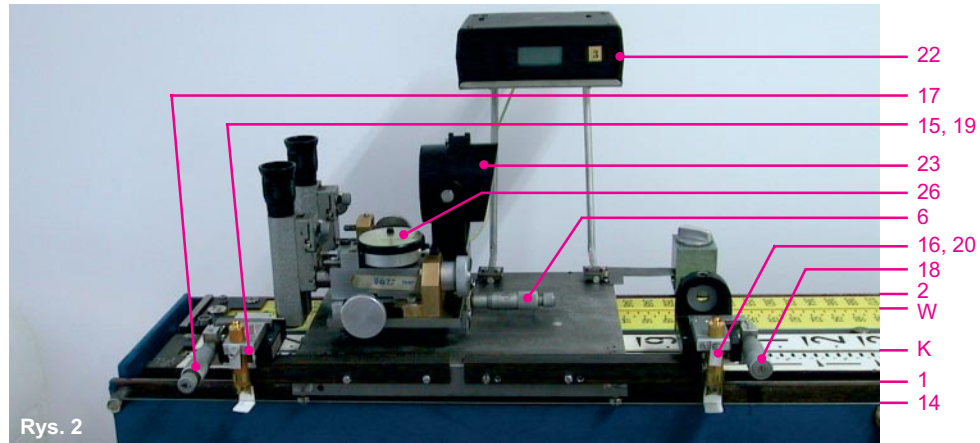
Rys. 1. Schemat stanowiska do terenowej kontroli łąt

W efekcie ugruntowało się stosowanie zasady, aby łąty używanych do pomiarów osiadań nie komparować. Z reguły nie stosuje się też żadnych sposobów planowego ograniczania zmian długości korpusów łąt ani konserwacji mechanizmów naciagowych. W tej sytuacji może się zdarzyć, że w wynikach pomiarów pojawiają się duże, niewykryte błędy systematyczne. W praktyce błędy takie ujawniają się w pomiarach długookresowych, szczególnie ostro przy wymianie kompletów łąt spowodowanej zmianą wykonawcy lub wyeksploatowaniem łąt. Jeżeli działaniu takiemu nie towarzyszy komparacja lub pomiar „prześciowy” łątami nowymi i dotychczas używanymi, to następuje zerwanie ciągłości wyników wieloletnich obserwacji osiadań kontrolowanego obiektu.

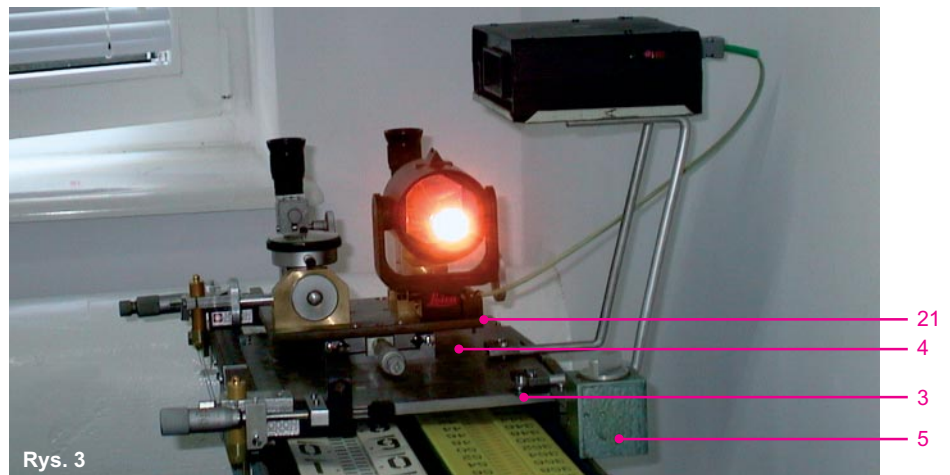
Dlatego proponujemy przyjęcie zasady, aby łąty do precyzyjnych pomiarów osiadań wysokiego obiektu hydrotechnicznego piętrzącego wodę nie należały do wykonawcy pomiarów, lecz stanowiły element kontrolnego wyposażenia tego obiektu i nie były stosowane gdzie indziej. Ma to na celu maksymalne przedłużenie żywotności kompletu łąt poprzez ograniczenie intensywności ich eksploatacji i zagwarantowanie prawidłowego przechowywania między pomiarami.

Uważamy, że niezależnie od stosowania powyższej zasady łąty należy komparować laboratoryjnie i dodatkowo – w miejscu wykonywania pomiarów – sprawdzać niezmienną długość ich podziału. Dotychczas takie sprawdzenia terenowe można było wykonywać przez porównanie długości podziału łąt komparowanych z łątami quasi-wzorcowymi pozostającymi na badanym obiekcie (wykorzystywanymi wyłącznie do pomiarów porównawczych i przechowywanymi w warunkach minimalizujących zmienność długości ich korpusów i podziałów). Była to kontrola niepełna, umożliwiająca sprawdzenie, czy nie nastąpiła zmiana długości podziału łąt używanych do pomiaru osiadań, lecz niewystarczająca do wyznaczania różnic między długością podziału łąt a długością wzorcową. Ponadto porównania takie charakteryzowały się pracochłonnością i małą dokładnością, polegały bowiem na równoczesnym pomiarze łątami kontrolowanymi i quasi-wzorcowymi dużej różnicy wysokości między reperami porównawczymi. W licznych publikacjach [1, 9, 10] zwraca się także uwagę na potrzebę dokonywania terenowych kontroli łąt do niwelacji precyzyjnej wykorzystywanej w badaniach geofizycznych.

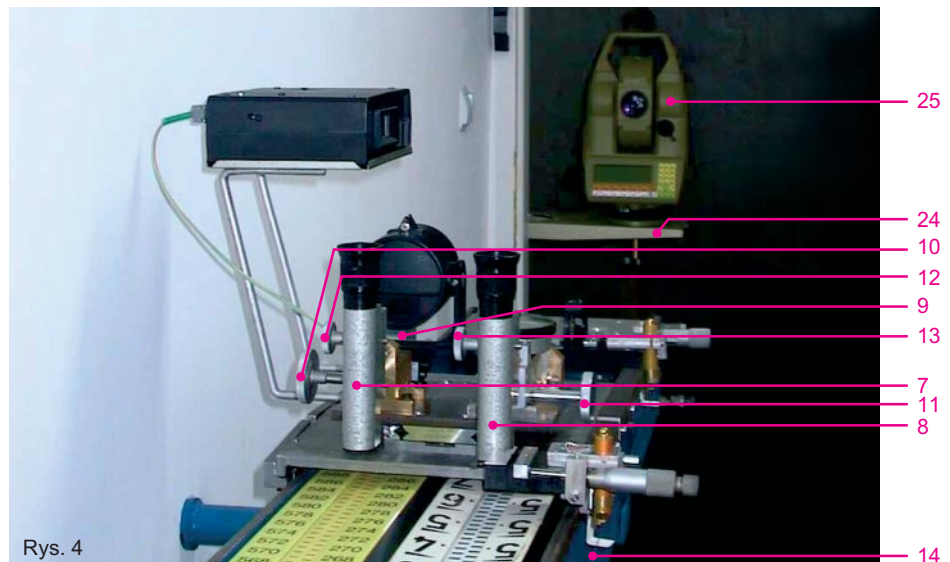
Analizując przedstawione powyżej w zarysie główne problemy i niedoskonałości systemu kontroli skały wyznaczeń wysokościowych, doszliśmy do wniosku, że uzu-



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

Rys. 2-4. Stanowisko do terenowej kontroli łąt: **W** – łąta wzorcowa, **K** – łąta kontrolowana, **1** – szyna prowadząca, **2** – szyna podpierająca, **3** – wózek, **4** – platforma, **5** – aretaż wózka, **6** – śruba mikrometryczna przesuwu platformy, **7** – mikroskop do obserwacji łąty wzorcowej, **8** – mikroskop do obserwacji łąty kontrolowanej, **9** – tuleja centrująca, **10** – pokrętka przesuwu poziomego mikroskopu łąty wzorcowej, **11** – pokrętka przesuwu poziomego mikroskopu łąty kontrolowanej, **12** – pokrętka przesuwu pionowego mikroskopu łąty wzorcowej, **13** – pokrętka przesuwu pionowego łąty kontrolowanej, **14** – struna, **15**, **16** – diody laserowe, **17**, **18** – mikrometry przesuwu diod laserowych, **19**, **20** – ekrany, **21** – sensor nachyleń wózka/platformy, **22** – MUPI, **23** – lustro dalmiercze, **24** – stolik ustawczy tachimetru elektronicznego/interferometru, **25** – tachimetr TC 2003, **26** – czujnik przesuwu mikroskopu łąty kontrolowanej

pełnieniem laboratoryjnych komparacji łąt powinny być kontrole łąt na obiekcie badań wykonywane przez porównania z łątami pełniącymi funkcję wzorców roboczych – na poziomie dokładności komparacji laboratoryjnych. W przypadku, gdy łąty quasi-wzorcowe mogą być w terenie okresowo porównywane z wzorcem metra, przez co stają się wzorcami roboczymi, powstaje możliwość komparowania w terenie wszystkich łąt, bez konieczności wożenia ich do laboratoriów.

Byłoby dobrze, gdyby system taki opierał się na wykorzystaniu przenośnego interferometru laserowego, przywożonego okresowo do miejsc kontroli terenowej, gdzie następowałoby w umówionym terminie kontrolowanie większej liczby łąt. Jednak system taki nie byłby wystarczająco elastyczny i ekonomiczny, dlatego poszukiwaliśmy rozwiązania skutecznego również w przypadku, gdy interferometr nie jest osiągalny lub jest dostępny jedynie sporadycznie – do kontroli wzorców roboczych.

● Stanowisko do terenowej kontroli łąt

Zaproponowany przez nas system terenowej kontroli łąt można stosować w miejscach lub w pobliżu miejsc ich wykorzystania. Stanowisko do terenowej kontroli łąt umożliwia:

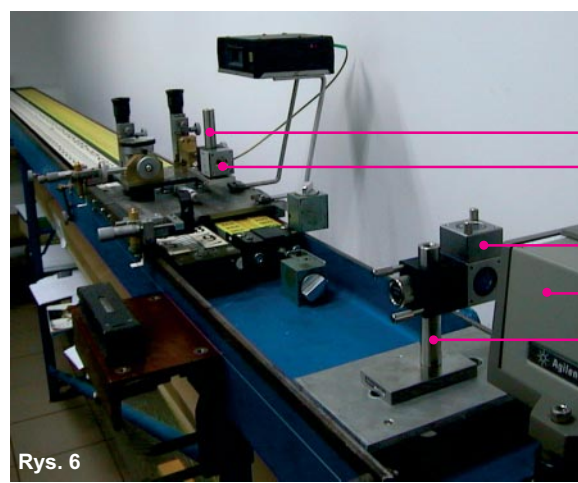
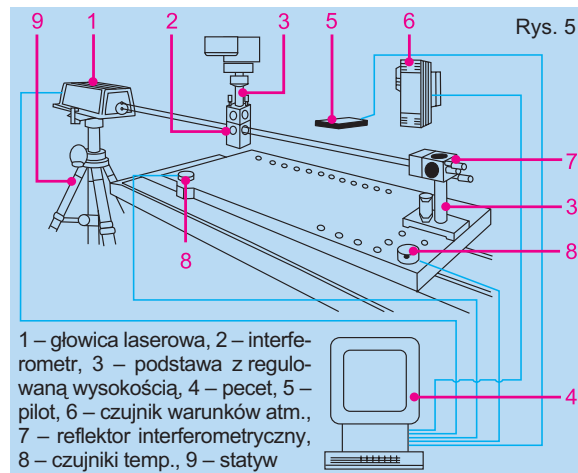
- pomiar porównawczy długości podziałów łąt kontrolowanych z długością łąty pełniącej funkcję wzorca roboczego (oraz wyznaczenie różnicy miejsc zera w komplecie łąt kontrolowanych),
- pomiar długości wzorca roboczego przy użyciu interferometru laserowego,
- pomiar długości łąt kontrolowanych przy użyciu interferometru laserowego.

Proponowane rozwiązanie powinno zaspokajać zarówno potrzeby praktyczne (udzielanie informacji niezbędnych do oceny stanu bezpieczeństwa obiektów budowlanych), jak i naukowe (związane z badaniami geofizycznymi na terenach o dużych deniwelacjach). Jeśli wynikną również możliwości zastosowania go w pomiarach precyzyjnej niwelacji państwowej – tym lepiej. Stanowisko do terenowej kontroli (schemat na rys. 1) pozwala na wyznaczenie różnic między odległościami l_{Wt} i l_{Kt} jednoimiennych kresk na łącie wzorcowej W i łącie kontrolowanej K .

Jako wzorec roboczy dla prototypowego stanowiska wykorzystano łątę firmy Leica zaopatrzoną w certyfikat kalibracji dokonanej w Geodatisches Institut, Technische Universität München. Według certyfikatu odchyłka systematyczna podziału tego wzorca różni się od rozstawu nominalnego zanedbywalnie, znacznie poniżej błędów średnich fabrycznego naniesienia kresk podziału.

Długość podziału łąty wzorcowej została sprawdzona na omawianym stanowisku, w pozycji poziomej, przy użyciu interferometru laserowego. Wyniki potwierdziły zgodność aktualnej długości podziału łąty wzorcowej z certyfikatem oraz wysoką precyzję naniesienia kresk podziału. Zgodność ta wystąpiła pomimo zmiany pozycji łąty z pionowej na poziomą. Należy podkreślić, że w przypadku, gdyby sprawdzanie łąt na stanowisku odbywało się bezpośrednio przez wyznaczanie rozstawu kresk za pomocą interferometru, to jego wynik mógłby różnić się od poprawnego, odpowiadającego pionowej pozycji łąty. Jeżeli jednak łąta wzorcowa jest komparowana laboratoryjnie w pozycji pionowej, a następnie używana jako wzorec roboczy do komparowania łąt w pozycji poziomej, to wynik takiej komparacji jest poprawny, bowiem ewentualny wpływ zmiany pozycji łąty wzorcowej i łąt kontrolowanych na zmiany długości podziałów jest jednakowy.

Zaprojektowane i wykonane stanowisko (rys. 2-4) zainstalowano w przygotowanym do tego celu pomieszczeniu Instytutu Geodezji i Kartografii w piwnicy gmachu przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie. Na rys. 5-6 pokazano stanowisko z zainstalowanym dodatkowym wyposażeniem do interferometrycznego pomiaru odległości. Stanowisko do terenowej kontroli długości podziału łąt wykonane zostało w postaci

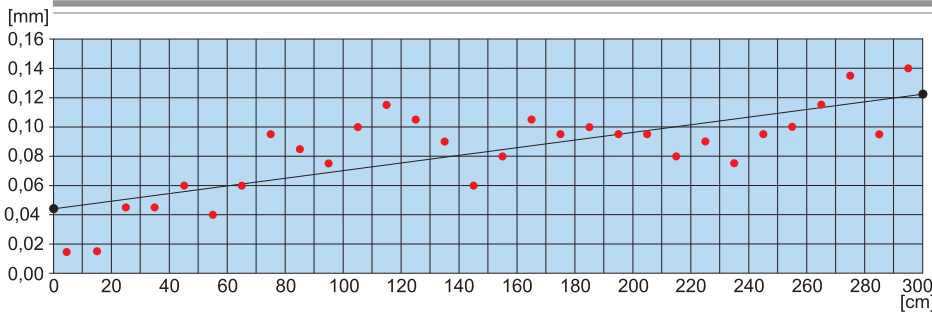


Rys. 5-6. Stanowisko z dodatkowym wyposażeniem do interferometrycznego pomiaru odległości

łoża z dwuteowego profilu stalowego, usytuowanego w pozycji poziomej, w którym układa się równolegle do siebie łątę wzorcową (W) i łątę kontrolowaną (K), opierając je stopkami o repery przytwierdzone do początku łoża. Ilustracje 2-4 zawierają ujęcia fragmentów stanowiska, pokazujące z różnych stron zasadnicze jego wyposażenie umożliwiające porównywanie długości podziałów łąt. Szyny (1), (2) powinny być prostoliniowe w płaszczyźnie poziomej i pionowej, lecz w rzeczywistości mają one nieuniknione odchyłki. Zastosowano więc dodatkowe wyposażenie pomiarowe umożliwiające bieżące lub okresowe wyznaczanie odchyłń szyn od prostoliniowości w płaszczyźnie poziomej i pionowej oraz obliczanie wartości skrętów poziomych i różnic nachylenia wózka (3) ustawianego w dowolnych miejscach na szynach. Dane te są niezbędne do obliczania poprawek redukcyjnych do mierzonych długości podziału komparowanych łąt.

Szczegółowe omówienie elementów stanowiska i ich przeznaczenia oraz technologii komparacji łąt zawarte jest w pracy [11].

Istotą wykorzystania systemu jest możliwość zastąpienia w bieżących kontrolach terenowych interferometru laserowego wzorcem roboczym i używania interferometru tylko okresowo do sprawdzania długości łąt pełniących funkcję wzorców roboczych.



LINEAR REGRESSION $Y + v = Ax + B$	
PARAMETER A =	0,0261 mm/m
STD. ERROR σ / PAR. A =	0,0042 mm
PARAMETER B =	0,0442 mm
STD. ERROR σ / PAR. B =	0,0073 mm
STD. ERROR σ / VAL. Y =	0,0200 mm
REGRESSION SUM σ / $v^2 =$	0,0153 mm
RESIDUAL SUM σ / $v^2 =$	0,0112 mm ²

**Podział 1- 59 łąty ZEI SS nr 4206
sprawdzono na komparatorze IGIK**

– rozstaw kresek jest większy od nominalnego średnio $0,026 \pm 0,004$ mm/m
– błąd średni równomierności rozmieszczenia kresek jest mniejszy od $\pm 0,020$ mm

Rys. 7. Wyjątki ze świadectwa komparacji łąt (z wykresem regresji) wydawanego przez IGIK

● Sprawdzanie łąt przez porównanie z łątą wzorcową

Łatę wzorcową W i łątę kontrolowaną K układamy poziomo, równoległe do siebie w przeznaczonych na nie częściach łoża i dociskamy ich stopki do reperów osadzonych na początku łoża. Sprawdzanie podziału łąty kontrolowanej odbywa się przez obserwację dwoma sprzężonymi mikroskopami wzajemnej odległości – wzdłuż osi przesuwu wózka (3) – kolejnych par jednoimiennych kreszek podziału łąty wzorcowej W i kontrolowanej K . Pomiarowi podlegają wszystkie kreski podziałów obu łąt lub kreski wybrane – na przykład w odstępach co 5 lub 10 cm. Średnie wartości $(K-W)_{sr}$ – z pomiaru poszczególnych par kreszek w dwóch położeniach łąt – zostają wykorzystane do obliczenia parametrów A, B równania regresji:

$$y + v = Ax + B, \quad \text{gdzie:}$$

A – parametr określający względne, systematyczne odchylenie rozstawu kreszek podziału łąty kontrolowanej w stosunku do rozstawu kreszek podziału łąty wzorcowej, w mm/m;

x – odległość rozpatrywanej kreski podziału od stopki, wyrażona w metrach;

y – zaobserwowane odchylenie położenia kreski podziału kontrolowanego od pozycji nominalnej ($y = (K-W)_{sr}$ lub $y = (K-W) + \text{poprawka}$ ze względu na skręt osi wózka), w mm;

v – poprawka wyrównawcza wyrażająca odległość punktu o współrzędnej y od prostej regresji, w mm.
Wartość parametru B jest bez znaczenia dla oceny łąt, bowiem zależy od początkowego ustawienia mikroskopów (7), (8) względem siebie i od układu odniesienia poprawek ze względu na skręt osi wózka.

Świadectwo komparacji (rys. 7) składa się z części archiwalnej (Calibration data) i części przeznaczonej dla użytkownika łąty (Calibration report). Przy sprawdzaniu tej łąty przyjęto, iż obserwowaniu podlegają różnice $(K-W)$ kreszek w odstępach co 10 cm. W świadectwie podane są podstawowe parametry mające znaczenie dla oceny stanu kontrolowanej łąty, a mianowicie:

■ wyznaczona odchyłka systematyczna A rozstawu kreszek podziału łąty kontrolowanej w stosunku do rozstawu nominalnego, wyrażona w mm/m,

■ błąd średni m , obliczony na podstawie poprawek v , od którego jest mniejszy błąd m_K równomierności rozmieszczenia kreszek łąty kontrolowanej.

Ponadto w świadectwie pokazany jest w formie liczbowej i graficznej rozrzut położenia sprawdzonych kreszek podziału w stosunku do prostej regresji, obrazującej średnią odchyłkę systematyczną (proporcjonalną) podziału łąty kontrolowanej. Informacja ta może mieć dla wykonawcy pomiarów znaczenie (zwłaszcza gdy duże odchyłki grupują się w określonych strefach podziału), ponieważ umożliwia takie ustawianie niwelatora i łąt, aby pominąć wykonywanie odczytów w tych strefach.

● Zakończenie

Pokazane tu prototypowe stanowisko po przejściu niezbędnych badań okazało się przydatne i służy od lipca 2002 roku do dokonywania laboratoryjnej komparacji łąt do niwelacji precyzyjnej. Komparowaniu podlegają obydwa podziały każdej łąty oraz odchylenia stopek łąt od prostopadłości do osi podziału i różnice miejsc zera łąt w kompletach, które na życzenie właścicieli łąt mogą być usuwane przez frezowanie i szlifowanie stopek.

Utworzenie systemu terenowej kontroli łąt może nastąpić przez „powielenie” takiego stanowiska według dokumentacji opracowanej w IGIK. Umożliwiłoby to zwiększenie częstotliwości wykonywania komparacji łąt do niwelacji precyzyjnej stosownie do potrzeb technicznych. Przy wykorzystaniu takich stanowisk realne staje się komparowanie łąt na miejscu, bez zbędnej straty czasu, natychmiast po zdarzeniach, w wyniku których łąty mogłyby ulec uszkodzeniu, a nie dopiero po powstaniu możliwości przewiezienia ich do stacjonarnego laboratorium komparacyjnego.

Zakład Geodezji Stosowanej Instytutu Geodezji i Kartografii oferuje zainteresowanym instytucjom wykonanie stanowisk i prowadzenie na nich w ustalonych terminach kontroli łąt wzorcowych oraz przeszkolenie personelu stałych zespołów, które podjęłyby się prowadzenia kontroli łąt samodzielnie lub pod opieką i przy współpracy z IGIK.

Dr hab. Jerzy Janusz, prof. Wojciech Janusz oraz **inż. Mieczysław Kołodziejczyk** są pracownikami Instytutu Geodezji i Kartografii

Literatura

1. Cieślak J., Ząbek Z., Kalinowska B., Margański S., *Problemy zabezpieczenia skali sieci niwelacji precyzyjnej*, Sympozjum nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”, Komitet Geodezji PAN, Warszawa 1977;
2. Janusz J., *Mechaniczne własności łąt do niwelacji precyzyjnej (dane techniczne i metodyka badań)*, „Prace IGIK” z.1 (80), 1988;
3. Janusz J., *Metody i urzędzenia służące do zmniejszenia błędów systematycznych niwelacji precyzyjnej*. Biuletyn IGIK w „Przeglądzie Geodezyjnym” 1/1989;
4. Janusz J., *Wpływ wilgotności na niestabilność łąt do niwelacji precyzyjnej*, „Geodezja i Kartografia” 2/1991;
5. Janusz W., *Zniekształcenia skali w niwelacyjnych sieciach kontrolnych*, „Przegląd Geodezyjny” 4-5/1980;
6. Janusz W., *Problemy identyfikacji stałego poziomu odniesienia w kontrolnych sieciach niwelacyjnych*, „Przegląd Geodezyjny” 9/1986;
7. Janusz J., Janusz W., *Stanowiska do porównywania łąt do niwelacji precyzyjnej*, Biuletyn IGIK w „Przeglądzie Geodezyjnym” 1/1988;
8. *Niwelacja precyzyjna*, Praca zbiorowa, PPWK Warszawa 1971;
9. Ząbek Z., *Wady precyzyjnych łąt niwelacyjnych – problem skali sieci niwelacyjnej*, Sympozjum nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”, Komitet Geodezji PAN, Warszawa 1980;
10. Ząbek Z., *Badanie zmian długości precyzyjnych łąt niwelacyjnych w terenie*, Sympozjum nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”, Komitet Geodezji PAN, Warszawa 1983;
11. Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., *Terenowy komparator łąt do niwelacji precyzyjnej*, przygotowano do opublikowania w wydawnictwie „Prace IGIK”.