

ISBN 83-916216-6-9

INSTYTUT GEODEZJI I KARTOGRAFII

SERIA MONOGRAFICZNA NR 7

JERZY JANUSZ
WOJCIECH JANUSZ
MIECZYŚLAW KOŁODZIEJCZYK

**WZORCOWANIE
NIWELATORÓW CYFROWYCH
I ŁAT KODOWYCH ORAZ ŁAT
Z PODZIAŁEM RÓWNOMIERNYM**

Warszawa 2003



Rada Wydawnicza
przy Instytucie Geodezji i Kartografii
Editorial Council

at the Institute of Geodesy and Cartography

Adam Linsenbarth (przewodniczący, chairman),
Andrzej Ciołkosz (zastępca przewodniczącego, deputy chairman),
Teresa Baranowska, Stanisław Białousz (Wydział Geodezji i Kartografii PW),
Wojciech Janusz, Jan R. Olędzki (Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW),
Andrzej Sas-Uhrynowski,
Janusz Zieliński (Centrum Badań Kosmicznych),
Hanna Ciołkosz (sekretarz, secretary)

Redaktor naukowy wydawnictwa
Scientific Editor

Adam Linsenbarth

Zastępca redaktora naukowego wydawnictwa
Deputy Scientific Editor

Andrzej Ciołkosz

Zespół redakcyjny
Editorial Staff

Wojciech Janusz
Andrzej Sas-Uhrynowski
Edyta Jurczak

Adres Redakcji

Instytut Geodezji i Kartografii
02-679 Warszawa, ul. Modzelewskiego 27
Address of the Editorial Board:
Institute of Geodesy and Cartography
02-679 Warsaw, Modzelewskiego 27 St.
Poland
e-mail: boi@igik.edu.pl

© Copyright by Instytut Geodezji i Kartografii

ISBN 83-916216-6-9
IGiK, Warszawa 2003 r.
Skład komputerowy i druk: IGiK

Recenzent:
prof. dr hab. inż. Adam Żurowski

Słowa kluczowe: komparator, wzorcowanie, komparowanie, lata kodowa, niwelator cyfrowy, błąd przypadkowy podziału, odchyłka systematyczna podziału

SPIS TREŚCI

System komparacji łąt kodowych opracowany w IGiK w Warszawie	7
Terenowy komparator łąt do niwelacji precyzyjnej.....	31

TABLE OF CONTENTS

Length Calibration System for Bar Code Staffs Prepared at the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw.....	7
Field Comparator of the Length of Precise Levelling Staffs	31

SYSTEM KOMPARACJI ŁAT KODOWYCH OPRACOWANY W IGIK W WARSZAWIE

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych
w latach 2003–2004 w ramach tematu 3/03 działalności statutowej
i w ramach projektu badawczego 5T12E 022 25

ZARYS TREŚCI: Uzasadniono potrzebę komparowania łat kodowych z wykorzystaniem niwelatora cyfrowego pracującego z nimi w komplecie. Omówiono konstrukcję opracowanego w IGIK komparatora przystosowanego do komparacji zestawów: niwelatora cyfrowego i pracujących z nim łat kodowych. Komparator ten jest zbudowany w sposób umożliwiający pionowe przemieszczanie na nim niwelatora cyfrowego, którym wykonuje się odczyty na unieruchomionej łacie. Komparacji podlegają różnice odczytów dokonywanych niwelatorem cyfrowym na łacie i odpowiadające im różnice wysokości położenia niwelatora cyfrowego mierzone interferometrem laserowym. Przedstawiono wstępnie wyniki komparacji serii czterech łat GPCL współpracujących z niwelatorem cyfrowym NA3003 Leica. Wyniki te wskazują na możliwość wyznaczania odchyłki A metra średniego podziału łaty kodowej, przetworzonego do systemu metrycznego, z błędem średnim $m_A = 3 \mu\text{m}/\text{m}$.

WPROWADZENIE

Łaty do niwelacji precyzyjnej z tradycyjnym, równomiernym podziałem podlegają kontrolom okresowym polegającym na wyznaczaniu odchyłek rozmieszczenia kresk podziału o charakterze przypadkowym i systematycznym w stosunku do rozmieszczenia wzorcowego, wyrażonego w systemie metrycznym. Sposób dokonywania kontroli takich łat jest omówiony między innymi w pracach [8], [9].

Bardziej złożony jest problem dokonywania okresowych kontroli łat z zakodowanym, nierównomiernym rozmieszczeniem kresk i zróżnicowanym doбором ich szerokości, przystosowanym do pomiarów niwelacyjnych z użyciem niwelatorów cyfrowych. Wynika to stąd, że rozmieszczenie kresk łaty i dobór szerokości kresk powinny spełniać graficznie algorytm, którego rozszyfrowanie i przetworzenie do systemu metrycznego nie jest dokonywane przez obserwatora, lecz jest powierzone odpowiednio zaprogramowanemu niwelatorowi cyfrowemu. Niwelator taki „odczytuje” widoczny fragment podziału przy użyciu wbudowanej do niego kamery CCD i określa w formie cyfrowej w systemie metrycznym odległość od stopki łaty do miejsca horyzontu osi celowej.

Samo sprawdzenie łaty, polegające na pomierzeniu w układzie metrycznym rozmieszczenia i szerokości kresk łaty kodowej, ograniczone do

uzyskania odpowiedzi na pytanie, czy kreski podziału łąty kodowej są rozmieszczone zgodnie z zaprogramowanym algorytmem, czy też są obciążone odchyłkami fabrycznego naniesienia na taśmę inwarową lub odchyłkami wynikającymi ze zmian długości tej taśmy, nie gwarantuje więc prawidłowego uwzględnienia wyznaczonych poprawek do redukcji wyników pomiarów niwelacyjnych.

Istotne jest tu określenie, jak zainstalowany w niwelatorze system odczytywania obrazu łąty i przetwarzania go na odczyt cyfrowy horyzontu niwelatora w systemie metrycznym, „radzi sobie” z odchyłkami nierównomiernego rozmieszczenia kreski podziału łąty. Ważne jest też uniknięcie błędów wyników, które mogłyby być rezultatem niewykrycia odchyłek systematycznych zainstalowanego w niwelatorze systemu odczytywania i przetwarzania.

W tym przypadku, ze względu na znacznie bardziej złożone powiązanie funkcjonalne podziału na łącie kodowej i niwelatora cyfrowego aniżeli w przypadku tradycyjnych niwelatorów i łąt z podziałem równomiernym, konieczne jest więc sprawdzanie nie ograniczające się do łąty, jak to może być dokonywane w przypadku łąt z podziałem z założenia równomiernym. **Konieczne jest sprawdzenie końcowego efektu pracy zestawu przyrządów: niwelatora cyfrowego i pracujących z nim w komplecie łąt kodowych.**

Z tego powodu autorzy niniejszej pracy opracowali sposób postępowania polegający na sprawdzaniu, czy różnice wysokości mierzone niwelatorem cyfrowym i przynależnymi do niego w komplecie łątami kodowymi nie mają nadmiernych błędów o charakterze przypadkowym i odchyłek systematycznych, wyrażonych w systemie metrycznym i na wyznaczaniu wartości tych błędów i odchyłek. Potrzeba sprawdzenia opartej na takich zasadach została wyrażona między innymi w [14].

Możliwość takiego sprawdzania podziału na poziomie dokładności komparacji laboratoryjnej z wykorzystaniem niwelatora, zamiast dotychczas stosowanego mikroskopu, wynika z eksperymentu, podczas którego stwierdzono, iż błąd przypadkowy pomiaru różnicy wysokości niwelatorem cyfrowym jest, przy małych odległościach celowania, kilkakrotnie mniejszy od błędu przypadkowego pomiaru różnicy wysokości tradycyjnym niwelatorem precyzyjnym i łątami do niwelacji precyzyjnej. Stwierdzono mianowicie, że przy użyciu niwelatora cyfrowego i łąty kodowej można osiągnąć w wyniku jednokrotnego pomiaru błąd średni odczytu na łącie rzędu 0,01 mm, tj. zbliżony do błędu nacielenia na krawędź kreski podziału łąty za pomocą mikroskopu stosowanego w komparatorze do kontroli tradycyjnych łąt z podziałem z założenia równomiernym. Dokładność ta może być oczywiście zwiększona w przypadku zaprogramowania niwelatora cyfrowego na wykonywanie pomiaru wielokrotnego (np. niwelator NA3003 firmy Leica można zaprogramować nawet na 99-krotne powtarzanie pomiaru, co może prowadzić do kilkakrotnego zwiększenia dokładności wyniku

uśrednionego, choć dzieje się to kosztem znacznego przedłużenia czasu komparacji).

Jak wykazały wyniki komparacji wielu współcześnie produkowanych łąt z podziałem z założenia równomiernym, dokładność fabrycznego naniesienia kresek podziału jest tego samego rzędu, co stwierdzona w tym eksperymencie dokładność odczytu z użyciem niwelatora cyfrowego. Można oczekiwać, że dokładność fabrycznego naniesienia podziału kodowego na taśmę inwarową jest porównywalna z dokładnością naniesienia podziału z założenia równomiernego.

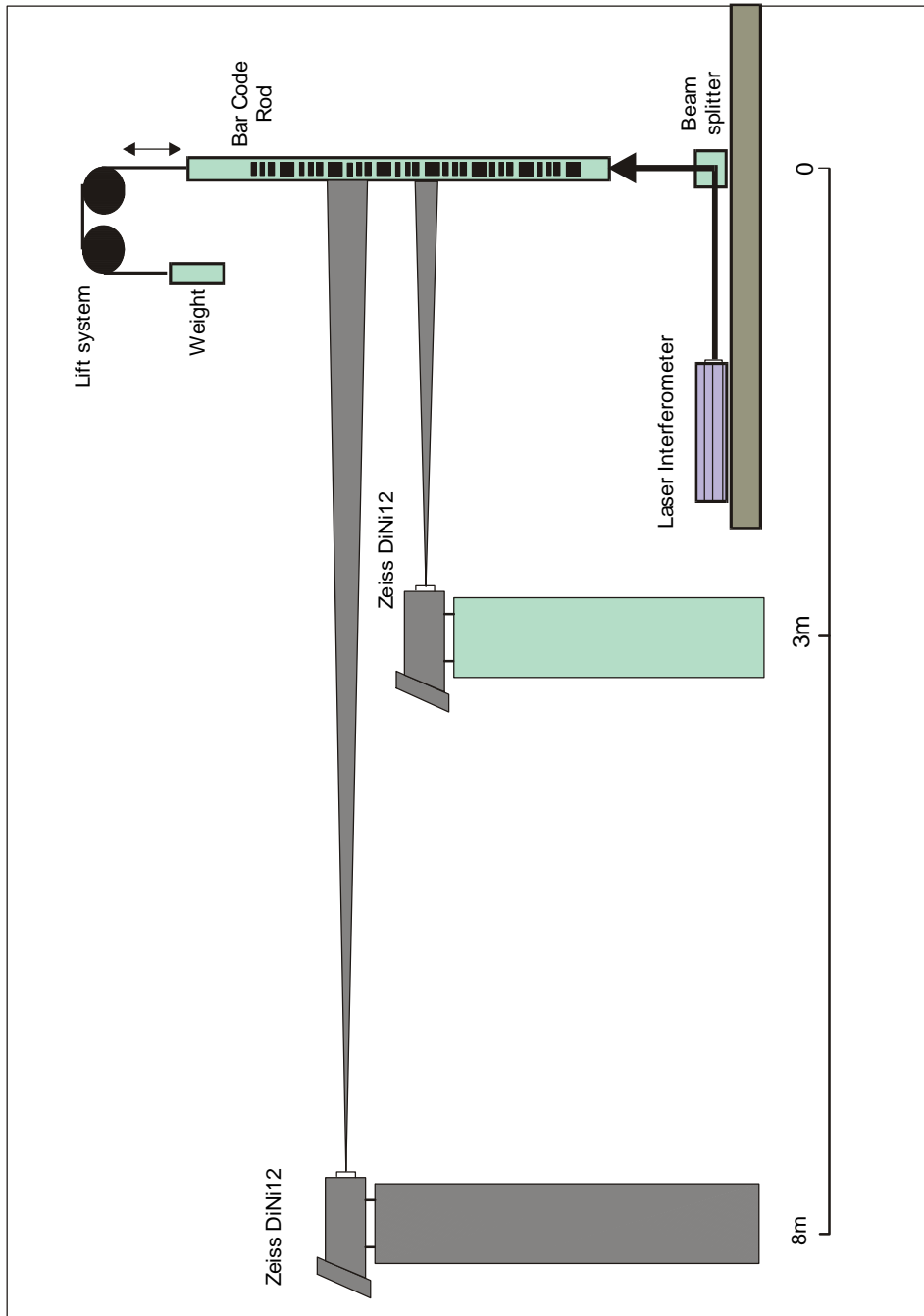
Do zastosowania tego sposobu trzeba było opracować komparator zbudowany w sposób odmienny od komparatorów służących do sprawdzania podziałów łąt z równomiernym z założenia rozmieszczeniem kresek.

Możliwe jest zbudowanie takiego komparatora w dwu różnych wersjach.

Pierwsza wersja komparatora opracowana i stosowana w Finnish Geodetic Institute w Helsinkach od roku 2002, pokazana schematycznie na rysunku 1 zaczerpniętym z [14], została opisana szczegółowo w cytowanej pracy. Według [14] był to wówczas trzeci taki komparator w Europie (wcześniejsze w Graz i w Monachium od roku 1993). Cechą charakterystyczną tego komparatora jest posługiwanie się niwelatorem cyfrowym ustawionym nieruchomo na stabilnym słupie, osadzonym głęboko w podłożu i ruchomą łątą, przemieszczaną pionowo, zaopatrzoną w lustro zwrotne interferometru, którym mierzy się przemieszczenia łąty. Zastosowanie komparatora w tej wersji wymaga dysponowania piwnicznym lub niepodpiwniczonym pomieszczeniem na poziomie terenu, mającym minimalną wysokość wewnętrzną równą 7 m lub dysponowanie pomieszczeniami na trzech kondygnacjach o wysokościach wewnętrznych co najmniej po 2,4 m, znajdującymi się nad sobą, z możliwością wykucia w stropach otworów służących do pionowego przemieszczania komparowanej łąty po pionowej prowadnicy.

Komparator pionowy do łąt kodowych, opracowany w Zakładzie Geodezji Stosowanej IGiK w marcu 2003 roku, przedstawiono schematycznie na rysunku 2 i na zdjęciach (rys. 3a, b, 4). Jest on zbudowany inaczej niż komparator w Helsinkach, z myślą o stosowaniu również w pomieszczeniach o wysokości nieznacznie większej od długości komparowanych łąt. W tym celu łąta jest ustawiona na nieruchomym stanowisku, natomiast niwelator cyfrowy przemieszczany pionowo jest zaopatrzone w lustro zwrotne interferometru, którym mierzy się przemieszczenia niwelatora.

Komparator opracowany w IGiK może być stosowany, przy wykorzystaniu inwersu odczytów niwelatora, w pomieszczeniach o wysokości nieznacznie większej od długości łąty. W przypadku gdy nie możemy korzystać z inwersu odczytów niwelatora, komparator taki wymaga pomieszczenia o wysokości 4 m lub dwu pomieszczeń o mniejszej wysokości, znajdujących się w jednym pionie na dwu kondygnacjach.



Rys. 1 (zaczepnięty z [14])

Na rysunku 4 na pierwszym planie widoczny jest niwelator cyfrowy NA3003 firmy Leica ustawiony na przemieszczanym pionowo wózku komparatora, zaś na dalszym planie widoczna jest komparowana łąta kodowa GPCL3.

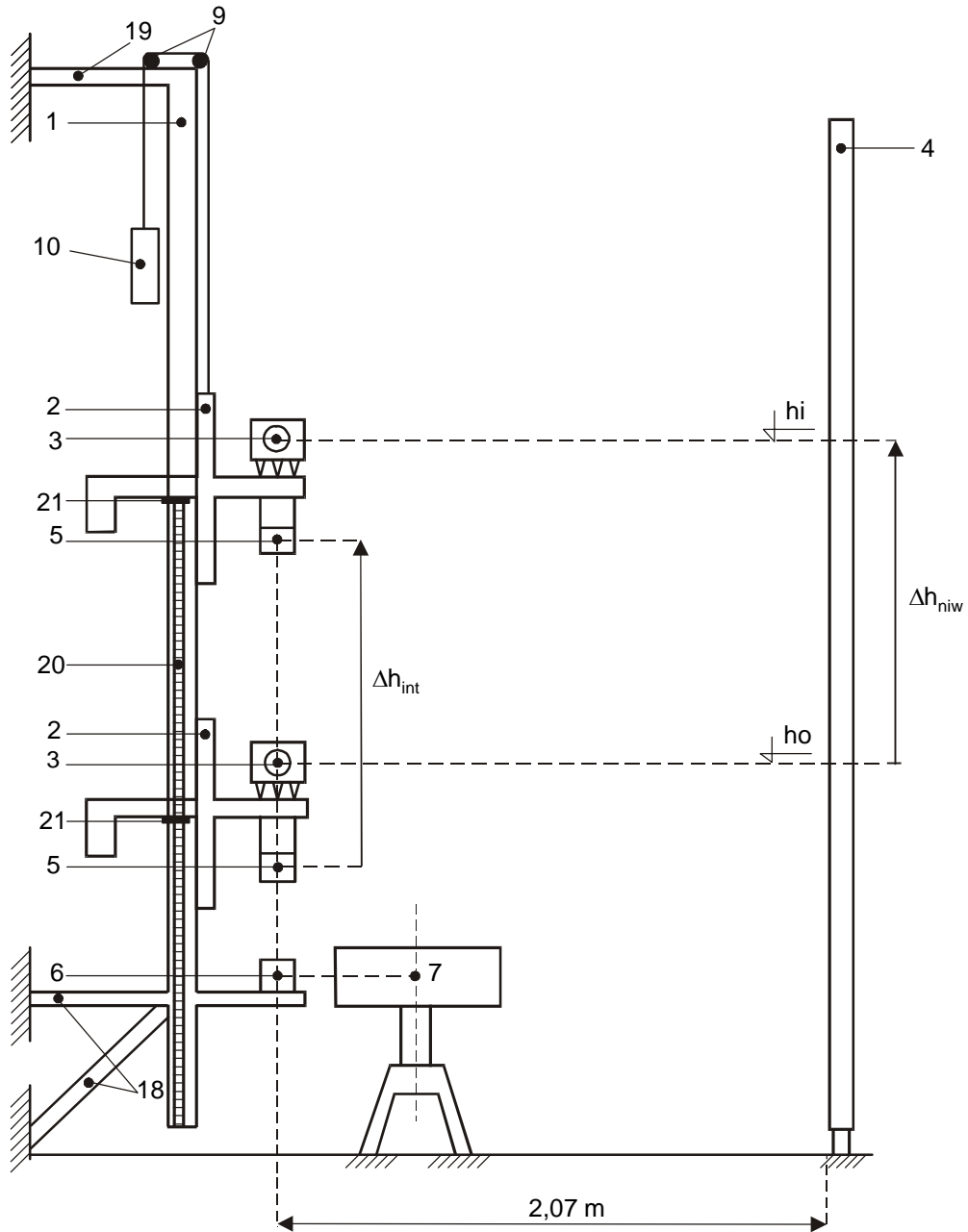
Oczywiście komparator zbudowano w sposób umożliwiający sprawdzanie zestawów łań kodowych o zróżnicowanych kodach i przetworników niwelatorów cyfrowych produkowanych przez różne firmy.

BUDOWA KOMPARATORA

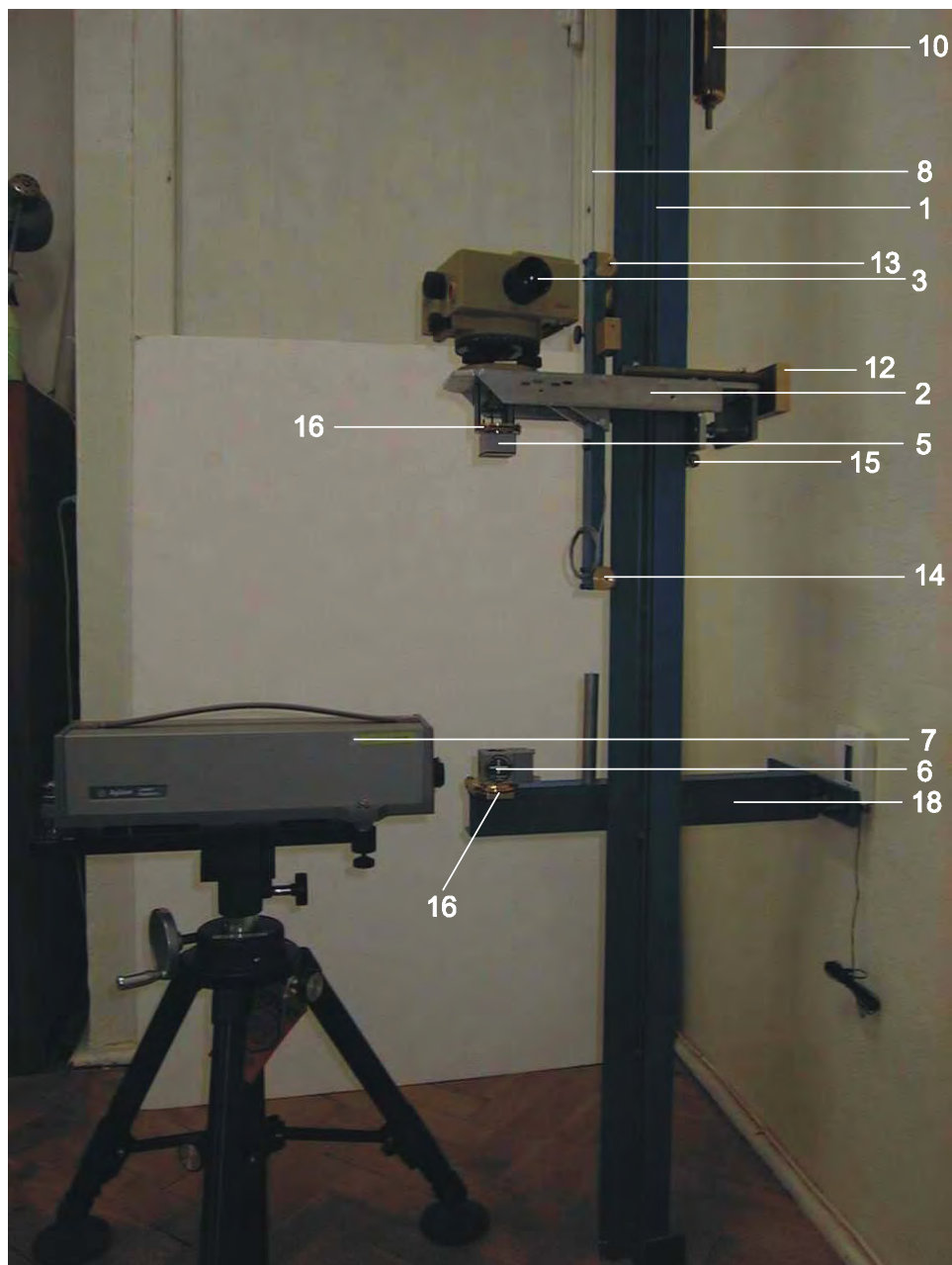
Komparator (rys. 2, 3, 4) składa się z prostoliniowej, pionowo usytuowanej i unieruchomionej prowadnicy (1), po której może poruszać się wózek (2) z platformą do ustawiania na niej niwelatora cyfrowego (3). W odległości poziomej 2,05 m od prowadnicy, nieznacznie większej od minimalnej odległości ogniskowania obrazu łąty w lunecie niwelatora, ustawiona jest nieruchomo, w pozycji pionowej sprawdzana łąta kodowa (4). Do wózka (2) współosiowo z niwelatorem przytwierdzone jest od spodu lustro zwrotne (5), zaś do prowadnicy (1) przytwierdzony jest interferometr laserowy (6). W pobliżu prowadnicy ustawiony jest na statywie rzutnik laserowy (7), skierowany na interferometr zgodnie z firmową instrukcją pomiaru odległości. Pomiarowi podlega odległość pionowa między interferometrem (6) a lustrem zwrotnym (5), lub po zresetowaniu odczytów, różnice Δh_{int} między pozycjami przemieszczanego wraz z wózkiem i niwelatorem lustra zwrotnego (5).

Wózek (2) jest zawieszony na linie (8) przełożonej przez bloczek (9) i obciążonej przeciwwagą (10) o masie równoważącej masę wózka i ustawionego na nim niwelatora oraz przytwierdzonego lustra zwrotnego. Zapobiega to samoczynnemu przemieszczaniu się wózka (2) po prowadnicy (1).

Wózek porusza się wzdłuż prowadnicy na dwu kółkach prowadzących (13), (14) i na dwu kółkach przypierających (15), dociskanych do przeciwnej strony prowadnicy niewidoczną na rysunkach sprężyną (11). Dzięki temu wózek przemieszcza się z minimalnymi tylko zmianami nachylenia, wywołanymi przez nieuniknione, drobne odchylenia prowadnicy od prostoliniowości. Kółka przypierające (15) rozmieszczone są względem siebie i względem kółek (13) (14) w sposób zapobiegający obracaniu się wózka w stosunku do prowadnicy w płaszczyźnie poziomej. Kółka prowadzące (13), (14) rozmieszczono na bazie pionowej o dużej długości, bowiem zapobiega to nadmiernym zmianom nachylenia wózka powodowanym przez nieuniknione, drobne odchylenia prowadnicy od prostoliniowości (w toku dalej omawianych badań komparatora stwierdzono możliwość dalszego zwiększenia tej bazy, co jest przedmiotem trwających ulepszeń konstrukcyjnych).

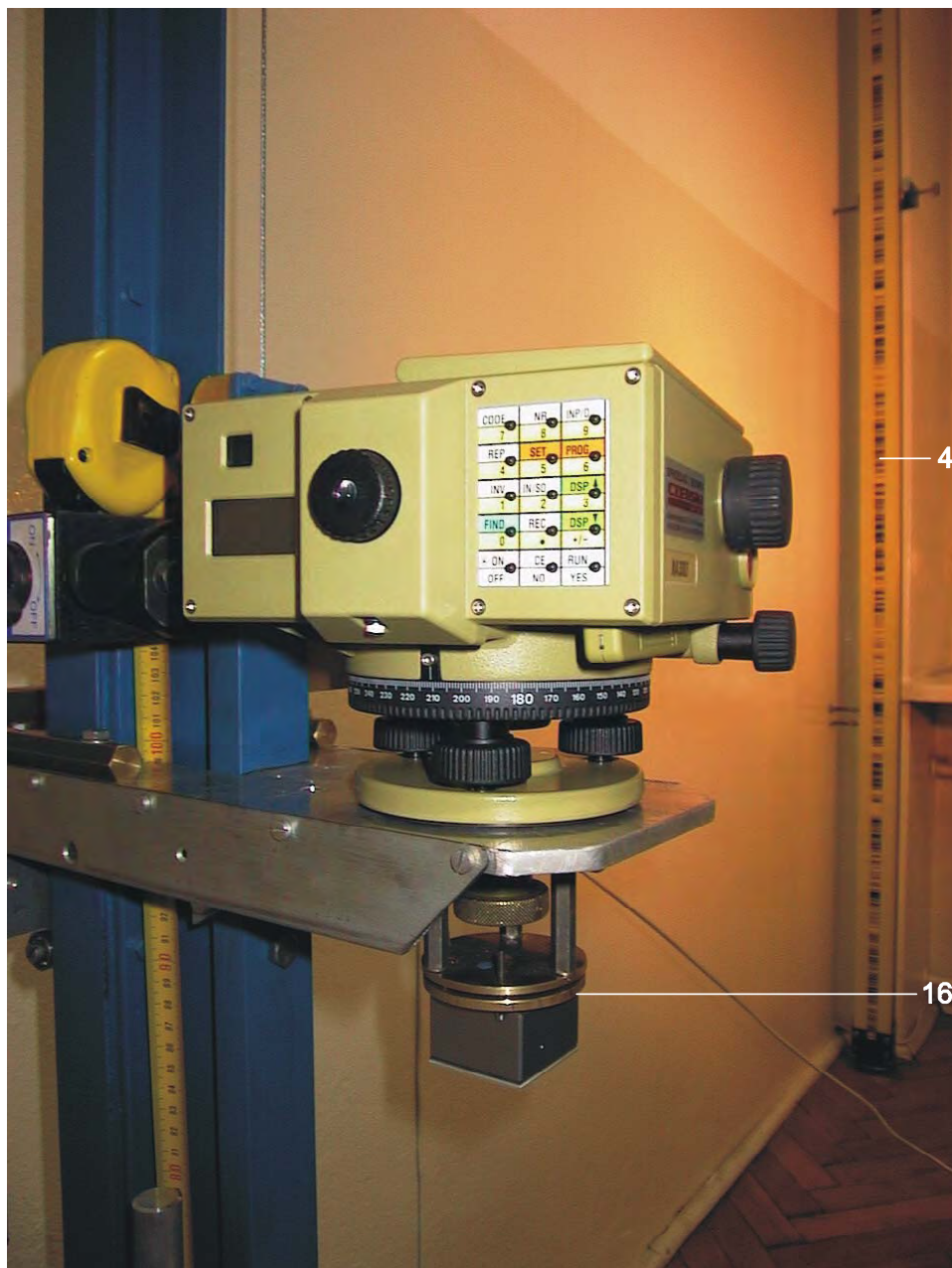


Rys. 2



Rys. 3a

*Rys. 3b*



Rys. 4

Do wózka jest przytwierdzona przeciwwaga (12), która równoważy momenty wynikające z mas części wózka rozmieszczonych po lewej i prawej stronie prowadnicy. Istnienie tej przeciwwagi jest ważnym czynnikiem dobrego działania przyrządu, zapobiegającym powstawaniu zróżnicowanych sił docisku do prowadnicy (1) kółek (13), (14). Dzięki temu prowadnica jest chroniona przed tendencjami do zmian nachylenia i wygięcia, które mogłyby powstawać wskutek jednostronnie skierowanych, a jednocześnie zróżnicowanych co do wielkości sił nacisku kółek (13), (14). Wózek (2) zaopatrzony jest w magnes (17) służący do aretowania go w stosunku do prowadnicy (1) w momentach dokonywania pomiarów różnic wysokości interferometrem i równoczesnego dokonywania odczytów niwelatorem cyfrowym na kontrolowanej łące kodowej (4).

Prowadnica (1) jest przymocowana na stałe do ściany pomieszczenia laboratorium za pomocą wsporników (18), (19). Do prowadnicy (1) jest przytwierdzona taśma z podziałem milimetrycznym (20), umożliwiającą ustawianie wózka (2) zaopatrzonego we wskaźnik (21) na wymaganych poziomach.

Lustro (5) i interferometr (6) są połączone odpowiednio z wózkiem i prowadnicą za pośrednictwem systemów ustawczych (16) umożliwiających regulowanie ich wzajemnego położenia w celu stworzenia warunków do pomiaru odległości interferometrem. Systemy te umożliwiają zmiany nachylenia lustra i interferometru w dwu prostopadłych płaszczyznach.

Przy projektowaniu i wykonywaniu komparatora trzeba było zwracać szczególną uwagę na spełnienie następujących, podstawowych wymagań:

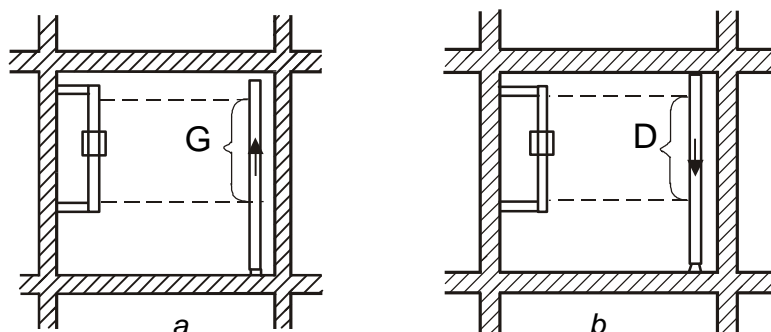
- prowadnica nie może mieć nadmiernych odchyżeń od prostoliniowości i wózek nie może podlegać w czasie przejazdu po prowadnicy nadmiernym zmianom nachylenia, przekraczającym zakres pracy kompensatora niwelatora cyfrowego,
- wózek w czasie jazdy po prowadnicy nie może doznawać nadmiernych skrętów poziomych względem prowadnicy, powodujących „schodzenie” osi celowej niwelatora z kierunku na oś łąty.

Dokładność spełnienia pierwszego warunku jest limitowana zakresem pracy kompensatora niwelatora cyfrowego oraz zakresem pracy wiązki laserowej. Chodzi o to, by podczas sprawdzania łąty w całym zakresie pola widzenia komparatora nie trzeba było poprawiać poziomowania niwelatora ani korygować wzajemnego ustawienia lustra zwrotnego, interferometru i rzutnika laserowego. Wynika to stąd, że ewentualne korekty poziomowania niwelatora oznaczałyby wywoływanie zmian wysokości osi celowej nad platformą wózka i lustrem zwrotnym. Jednocześnie ewentualne nadmierne odchylenia wiązki laserowej powodowałyby przerywanie cyklu pomiarów odległości interferometrem i zmuszałyby do rozpoczynania pomiarów komparacyjnych od nowa.

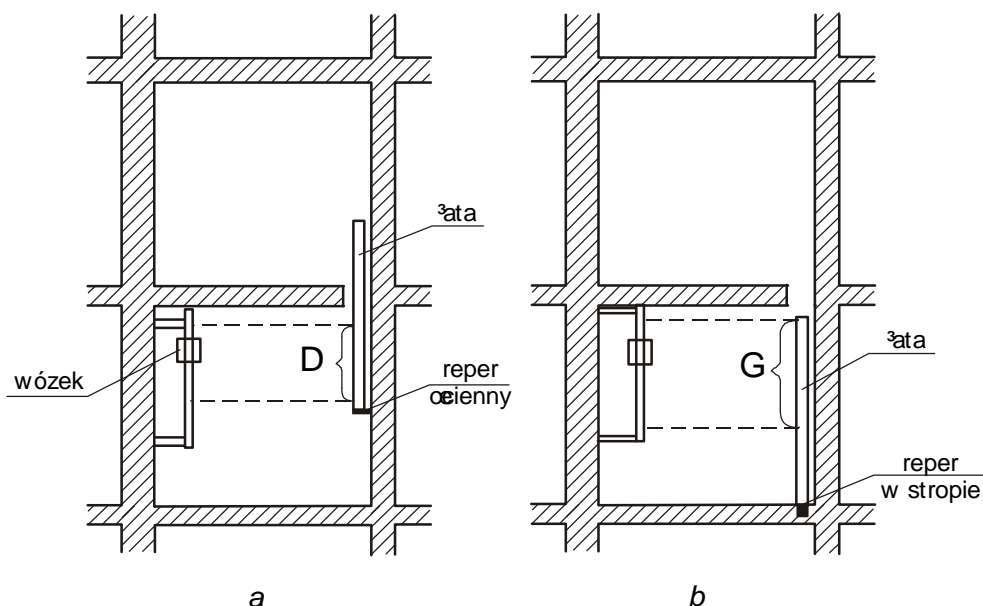
Dokładność spełnienia drugiego warunku jest limitowana zakresem pola widzenia kamery CCD wbudowanej do niwelatora, rejestrującej widoczny wycinek łaty. Chodzi o to, by podczas sprawdzania łaty z pionowym przemieszczaniem wózka z ustawionym na nim niwelatorem w całym zakresie pola widzenia komparatora nie trzeba było korygować poziomego kierunku celowania lunetą niwelatora na sprawdzaną łatę.

W polu widzenia komparatora znajduje się odcinek łaty ustawionej na reperze w płaszczyźnie podłogi, przy którym oś celowa niwelatora mieści się w zakresie wysokości 0,9–2,75 m nad stopką łaty. W związku z tym można zastosować dwa sposoby komparowania łat:

1. Komparacja górnej (G) części podziału łaty ustawionej na reperze osadzonym w podłodze odbywa się w jej normalnym położeniu, (rys. 5a) natomiast komparacja dolnej (D) części łaty zostaje dokonana po jej odwróceniu i ustawieniu „do góry nogami” na tym samym reperze, przy jednoczesnym zaprogramowaniu inwersu odczytów niwelatora (rys. 5b). Wyniki tak wykonanych komparacji obu części łaty zostają zestawione w jednolitym porządku i użyte do obliczenia odchyłki systematycznej i błędu średniego rozmieszczenia kresek podziału. Następuje to z wykorzystaniem odczytów w środkowej strefie łaty, które na odcinku o długości 1,3 m są możliwe do wykonania w obu ustawieniach łaty.
2. Komparacja górnej części podziału łaty odbywa się w jej normalnym położeniu, przy ustawieniu na reperze osadzonym w płaszczyźnie podłogi (rys. 6b), natomiast komparacja dolnej części podziału łaty odbywa się również w jej normalnym położeniu, lecz po przestawieniu łaty z reperu na poziomie podłogi na reper osadzony w ścianie na wysokości około 0,9 m nad podłogą (rys. 6a). Z tego powodu przy tym sposobie musi być wykonany w suficie otwór, przez który górna część łaty zostaje wsunięta do pomieszczenia na wyższej kondygnacji. Ten sposób jest oczywiście możliwy do zastosowania wówczas, gdy dysponujemy pomieszczeniami na dwu kondygnacjach, znajdującymi się nad sobą.



Rys. 5



Rys. 6

Z drugiego sposobu komparacji wynika, że gdybyśmy dysponowali pomieszczeniem o wysokości co najmniej 4 m, możliwe byłoby zbudowanie i zainstalowanie komparatora o dłuższej prowadnicy, umożliwiającego komparowanie całej łąty w jednym jej ustawieniu.

Przy obu omówionych sposobach komparowaniu podlegają odczyty na łącie 3-metrowej, zawierające się w granicach 0,25–2,75 m nad jej stopką. Jest to zakres praktycznie wystarczający, bowiem przy korzystaniu z łąty podczas pomiarów w terenie nie powinno się celować bliżej skrajów łąty, by nie narażać się na niepełną obserwację wycinków łąty niezbędnych do prawidłowego wypośrodkowania odczytu horyzontu niwelatora. Celowanie poniżej 0,25 m nad stopką (reperem na powierzchni terenu) nie jest też właściwe ze względu na występujące w tej strefie znaczne co do wielkości i niestabilizowane wpływy refrakcyjne. Przy komparowaniu łąt o długości mniejszej niż 3 m może być uzasadnione objęcie kontrolą również odcinków łąty bardziej zbliżonych do jej krańców, bowiem łąty takie bywają stosowane do pomiarów na reperach usytuowanych na murach lub elementach maszyn oddalonych w pionie od powierzchni terenu lub posadzki.

W związku z tym opracowany komparator umożliwia komparowanie łąt 2-metrowych na odcinku zawierającym się w granicach 0,10–1,90 m. Łąty takie są ustawiane na reperze ściennym osadzonym 0,9 m nad podłogą laboratorium.

ZASADY PRACY Z UŻYCIEM KOMPARATORA

Przy użyciu tego kompatora wyznacza się różnice między przewyższeniem $\Delta h_{niw} = h_i - h_0$ wyrażonym w systemie metrycznym, mierzonym na unieruchomionej łącie kodowej niwelatorem cyfrowym, znajdującym się na wózku, który ustawiamy na dwu różnych poziomach h_0 , h_i , a przewyższeniem Δh_{int} , mierzonym interferometrem laserowym.

W tym celu, zgodnie z rysunkiem 2 (oznaczenia na rys. 2, 3, 4), wykonujemy następujące czynności:

- ustawiamy, przy użyciu taśmy (20) i wskaźnika (21), wózek (2) na prowadnicy (1) tak, aby oś celowa niwelatora cyfrowego (3) znalazła się na poziomie h_0 , wykonujemy niwelatorem na łącie kodowej (4) odczyt $h_{0\ niw}$, przy tym położeniu wózka interferometr wykazuje odczyt $h_{0\ int}$ różnicy wysokości lustra (5) i interferometru (6), który to odczyt interferometru resetujemy do wartości 0,
- ustawiamy wózek (2) na prowadnicy (1) tak, aby oś celowa niwelatora cyfrowego (3) znalazła się na poziomie h_i , wykonujemy niwelatorem na łącie kodowej (4) odczyt $h_{i\ niw}$ oraz wykonujemy odczyt wysokości lustra (5) w stosunku do jego poprzedniego poziomu $h_{0\ int}$ otrzymując Δh_{int} ,
- obliczamy różnicę $dh = (h_{i\ niw} - h_{0\ niw}) - \Delta h_{int} = \Delta h_{niw} - \Delta h_{int}$.

Z uwagi na wyższą dokładność pomiaru interferometrem aniżeli niwelatorem, można przyjąć, że różnica

$$dh = \Delta h_{niw} - \Delta h_{int}$$

wynika w przeważającym stopniu z błędu wyznaczenia różnicy wysokości niwelatorem cyfrowym na łącie kodowej.

Wózek z niwelatorem są podczas komparowania ustawiane 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 łąty. Ustawianie wózka na odpowiednich poziomach następuje przy wykorzystaniu wskaźnika (21) i taśmy (20) i przy tych ustawieniach wykonuje się równocześnie: niwelatorem odczyty na łącie kodowej i interferometrem odczyty wysokości położenia lustra zwrotnego (5). W rezultacie otrzymuje się zbiór różnic dh przewyższeń w stosunku do początkowego poziomu h_0 ustawienia niwelatora, służący do wyznaczenia błędu średniego i odchyłki systematycznej różnic wysokości mierzonych niwelatorem cyfrowym z wykorzystaniem łąty kodowej. Wykorzystanie tego zbioru następuje na zasadach stosowanych przy komparacji łąt z podziałem z założenia równomiernym [8]. W tym celu dla każdej pomierzonej różnicy dh układamy równanie typu:

$$dh + v = A x + B$$

gdzie:

x – wysokość położenia horyzontu osi celowej niwelatora nad stopką.

Rozwiązujemy tak utworzony układ równań liniowych metodą najmniejszych kwadratów, otrzymując w rezultacie parametry A , B prostej regresji i poprawki v o znaczeniu podobnym jak w pracy [8], dotyczącej sprawdzania łąt z podziałem z założenia równomiernym. (Znaczenie to nie jest identyczne, a tylko podobne, bowiem przedmiotem komparacji łąt z podziałem równomiernym są błędy przypadkowe i odchyłki systematyczne **podziału łąt**, zaś przedmiotem komparacji zestawów niwelatorów cyfrowych i łąt kodowych są błędy przypadkowe i odchyłki systematyczne **mierzonych nimi różnic wysokości**).

Na podstawie poprawek v uzyskanych w wyniku tego wyrównania obliczamy błędy średnie

$$m_{dh} = \sqrt{[vv] / n - 1}$$

pomiaru różnic wysokości mierzonych niwelatorem cyfrowym na łącie kodowej. Błędy średnie m_A parametru A , wyrażającego odchyłkę systematyczną odczytania i przetworzenia odczytów do systemu metrycznego (odpowiednik odchyłki metra średniego według nomenklatury stosowanej w [9]), obliczamy jako błędy funkcji dokonanego wyrównania układu równań poprawek. Błąd m_A zależy od błędu m_{dh} oraz od liczby i rozmieszczenia poziomów, na których wyznaczane są różnice dh . W przypadku gdy odczyty na łącie 3-metrowej wykonujemy w interwałach co 10 cm, to $m_A [\mu m/m] = 0,21 m_{dh} [\mu m]$, natomiast gdy odczyty wykonujemy w interwałach co 5 cm, to $m_A [\mu m/m] = 0,15 m_{dh} [\mu m]$.

Wobec tego, że przy komparowaniu łąty 3-metrowej w polu widzenia (zasięgu pracy) komparatora znajduje się fragment łąty o długości 1,85 m, zachodzi wspomniana wcześniej potrzeba oddzielnego dokonywania komparacji dwu nakładających się częściowo odcinków podziału łąty. W rezultacie, dla każdego z tych odcinków otrzymujemy różnice dh_1 , dh_2 odniesione do dwu różnych poziomów wyjściowych h_{01} , h_{02} . Z tego powodu zachodzi potrzeba zredukowania wyznaczonych różnic dh_1 o średnią różnicę z odczytów wykonanych w dwu położeniach łąty na widocznym w obu położeniach sektorze podziału, mającym długość 1,3 m i obliczenia wartości dh wyrażonych w jednolitym układzie odniesionym do wyjściowego poziomu niwelatora h_{02} .

WYNIKI WSTĘPNYCH BADAŃ DOTYCZĄCYCH PRACY KOMPARATORA ŁĄT KODOWYCH Z WYKORZYSTANIEM NIWELATORÓW CYFROWYCH

Zbudowany komparator zainstalowano wstępnie w pomieszczeniu IGiK o wysokości 3,07 m znajdującym się na parterze budynku usytuowanego przy ulicy o dużym natężeniu ruchu kołowego (przewiduje się, że w niedalekiej przyszłości będzie on przeniesiony do innego, być może bardziej spokojnego miejsca). Komparator zainstalowano tak, że prowadnica (1) usytuowana

ponownie, jest przytwierdzona do wsporników (18), (19) osadzonych w ścianie działowej budynku. Komparowana łąta o długości 3 m jest ustawiana na reperze osadzonym w podłodze tuż przy tej ścianie. Komparowana łąta o mniejszej długości jest ustawiana na reperze osadzonym w tej ścianie.

Badania rozpoczęto od wyznaczenia zmian nachylenia wózka (2) przy jego ustawieniach na zróżnicowanych wysokościach prowadnicy (1) w całym zakresie pracy komparatora. Zmiany te wyznaczono w dwu prostopadłych płaszczyznach, ustawiając opracowany w IGiK pochyłomierz elektroniczny PN31 [4], na wózku (2) i zmieniając wysokości położenia wózka na zainstalowanej prowadnicy (1). Wyniki tego badania zestawiono w tabelicy 1.

Tabela 1

Poziom celowej	Odchylenia wózka od poziomu w kierunku:		
	wzdłuż celowej	w poprzek celowej	
[m]	[']	[']	
2,75	2,1	-2,1	
2,65	2,3	6,8	
2,55	-0,5	6,7	
2,45	0,8	4,4	
2,35	-1,4	7,3	max
2,25	-3,7	6,2	
2,15	-3,8	2,7	
2,05	-4,3	3,9	max
1,95	-4,2	-2,7	
1,85	-3,9	-5,6	
1,75	-2,5	-3,3	
1,65	-1,1	-7,2	max
1,55	0,6	-4,6	
1,45	2,8	-1,5	
1,35	2,4	0,3	min
1,25	4,3	2,0	max
1,15	1,8	6,5	
1,05	1,5	6,8	
0,95	1,6	5,5	
0,85	0,6	-7,3	min

Stwierdzono, że ze względu na odchylenia prowadnicy od prostoliniowości, na całym odcinku pracy komparatora następują niewielkie, powtarzalne przy wielokrotnych przejazdach różnice nachylenia wózka. Miejszcą się one w granicach pracy kompensatora niwelatora cyfrowego, pod warunkiem poziomowania niwelatora przy użyciu libeli sferycznej w miejscach prowadnicy, zaznaczonych w tabelicy 1 symbolem (min), w których odchylenia wózka osiągają wartości minimalne. W tym celu niwelator ustawiony na wózku należy spoziomować wstępnie na dowolnym

poziomie, a następnie doprowadzić wózek do poziomu 1,35 m i poprawić poziomowanie niwelatora na kierunku prostopadłym do kierunku celowania na łatę, po czym przemieścić wózek na poziom 0,85 m lub 2,55 m i poprawić poziomowanie niwelatora na kierunku celowania na łatę. Te zalecenia dotyczące procedury poziomowania niwelatora zapewne będzie można w najbliższym czasie pominąć, bowiem podczas badań stwierdzono, że istnieje możliwość przekonstruowania wózka w taki sposób, że zmiany jego nachyleń podczas przejazdu po prowadnicy zmniejszą się około dwukrotnie (to udoskonalenie wózka jest w toku, po dokonaniu go dane zawarte w tabelicy 1 ulegną zaktualizowaniu).

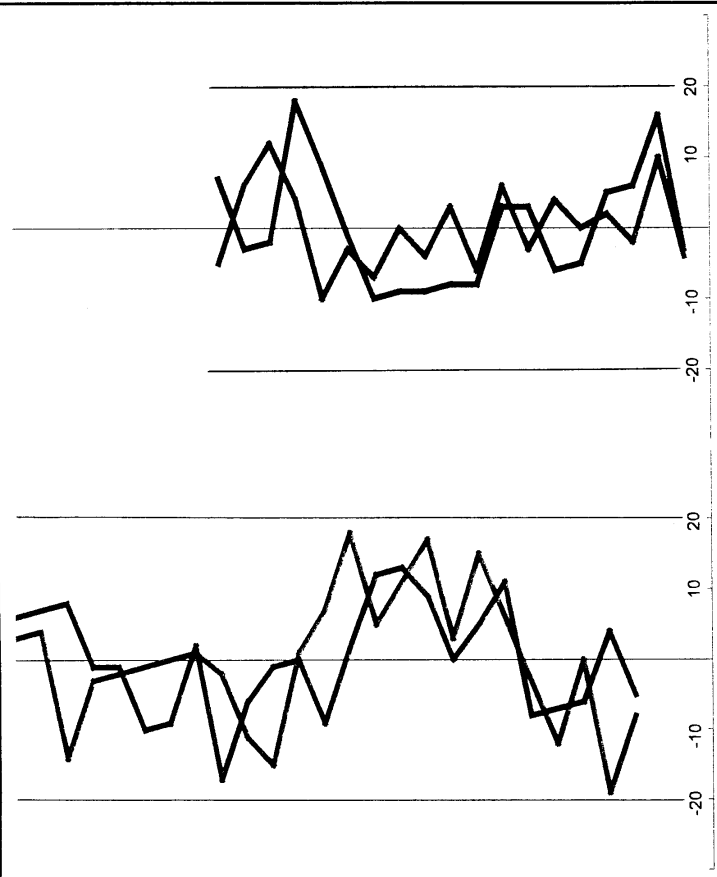
Następnie sprawdzono, czy w czasie przemieszczania wózka po prowadnicy w zakresie pracy komparatora nie następują poziome skręcenia wózka, powodujące nadmierne przemieszczenia poziome obrazu łaty w polu widzenia lunety niwelatora. Nie stwierdzono zmian wymagających korygowania poziomego kierunku lunety w stosunku do wycelowania dokonanego na poziomie wyjściowym h_0 .

Z punktu widzenia posiadanych przez nas informacji o warunkach zastabilizowania komparatora w Finnish Geodetic Institute w Helsinkach [14], mającego schemat konstrukcyjny jak na rysunku 1, miejsce i sposób wstępnego zastabilizowania naszego komparatora można by uważać za nieco ryzykowne z punktu widzenia stabilności i odporności na drgania. Z tego powodu przeprowadzono szereg prób, przy których zwracano szczególną uwagę na obserwację ewentualnych zakłóceń przebiegu i wyników komparacji łat pod wpływem ewentualnych drgań oraz wzajemnych przemieszczeń pionowych prowadnicy (1) i łaty (4) – por. rysunek 2. Podczas tych prób nie stwierdzono wyczuwalnych zmian położenia ani drgań zakłócających przebieg pracy niwelatora cyfrowego i interferometru i obniżających dokładność komparowania.

Również za nieco ryzykowne można by uznać skonstruowanie komparatora w taki sposób, że dokonywane jest przemieszczanie niwelatora zamiast stosowanego w [14] przemieszczania łaty, z uwagi na obawę, że „zmuszanie” kompensatora do ustawiania się w pozycji równowagi po każdym przemieszczeniu niwelatora mogłoby obniżyć dokładność wskazań dh . Przy złej pracy kompensatora mogłoby to nastąpić rzeczywiście, ale właśnie ta możliwość, poza wspomnianą wcześniej możliwością komparowania łat w pomieszczeniach o niedużej wysokości, skłania nas do zastosowania tego wariantu. Wychodzimy bowiem z założenia, że **celem komparacji jest dostarczanie informacji o parametrach metrologicznych łat i systemu odczytowego niwelatora, istniejących nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale również w realnych warunkach terenowych**. Tym samym sprawdzanie przy komparacji łat poprawności pracy kompensatora niwelatora poddawanego drobnym zmianom nachylenia jest bardziej pożyteczne, aniżeli sprawdzanie łat przy zagwarantowaniu braku zmian nachyleń niwelatora.

Tablica 2

Typ, Nr laty	WYKRESY			
	GPCL3 29700	GPCL3 29698	GPCL2 29638	GPCL2 29656
<i>x</i>				
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		-5
1.8	-11	-6		6
1.7	-15	-1		12
1.6	1	0		4
1.5	7	-9		-10
1.4	18	2		-3
1.3	5	12		-7
1.2	11	13		0
1.1	17	9		-4
1.0	3	0		3
0.9	15	5		-6
0.8	6	11		6
0.7	-3	-8		-3
0.6	-12	-7		4
0.5	0	-6		0
0.4	-19	4		2
0.3	-8	-5		-2
0.2		16		10
0.1		-3		-4
0.1		-3		-4
<i>m_{th}</i> [μ m]	10	8	5	7
<i>A</i> [μ m/m]	-12	-8	-15	-6
<i>m_A</i> [μ m/m]	3	2	2	3



Stwierdzenia te potwierdziły się podczas komparowania dwu łań GPCL2 i dwu łań GPCL3 z użyciem niwelatora NA3003 firmy Leica, bowiem wyniki komparacji wykazały zarówno wysoką dokładność podziału i małe wartości odchyłek systematycznych podziału łań, jak i wysoką jakość ich sprawdzania na omawianym komparatorze, wyrażającą się uzyskaniem bardzo małego rozrzutu v wyników oraz małych wartości m_{dh} błędów średnich odczytów różnic wysokości na łań. Otrzymane przy tych komparacjach wartości poprawek v , błędy średnie podziału w systemie metrycznym m_{dh} oraz odchylenia systematyczne podziału A wyrażone w systemie metrycznym i ich błędy średnie m_A zestawiono w tablicy 2. Błąd średni m_A parametru A wyrażającego odchyłkę średniego metra łań nie przekroczył wartości $m_A = 3 \mu\text{m}/\text{m}$, zaś wyznaczony błąd średni podziału nie przekroczył wartości $m_{dh} = 10 \mu\text{m}$. O wysokiej jakości łań świadczy fakt, że największa wyznaczona wartość odchyłki metra średniego osiągnęła $A = -15 \mu\text{m}/\text{m}$. Takie wartości błędów komparacji uzyskano, mimo że obejmują one wpływ błędów ponownego ustawiania się kompensatora niwelatora cyfrowego przy każdym odczycie podziału na łań. Świadczy to również o poprawnej pracy tego kompensatora w całym zakresie jego działania.

Dodatkową zaletą opracowanego komparatora jest łatwość pracy wynikająca z tego, że obserwator nie musi wykonywać dosyć żmudnej pracy polegającej na naprowadzaniu z pełną wymaganą dokładnością mikroskopu na kreski podziału łań (jak to jest konieczne w przypadku komparowania tradycyjnych łań z podziałem równomiernym), a jedynie naprowadza niwelator ustawiony na wózku z dokładnością rzędu kilku milimetrów na pożądane poziomy i rejestruje odczyty na łań wykonywane przez niwelator cyfrowy i odczyty odległości wykonywane interferometrem laserowym. Tym samym zaprojektowany i zrealizowany system komparacji łań kodowych jest nie tylko wygodny i mało pracochłonny, ale również uwalnia wyniki komparacji od wpływu błędów osobowych obserwatora i umożliwia wprowadzenie pełnej automatyzacji procesu komparowania.

Tablica 3 zawiera przykładowe świadectwo komparacji łań kodowej.

ANEKS – KOMPARATOR ŁAŃ Z PODZIAŁEM RÓWNOMIERNYM

Konstrukcję opisanego wyżej komparatora łań kodowych uzupełniono w sposób umożliwiający komparowanie w pozycji pionowej, z wykorzystaniem interferometru laserowego, również tradycyjnych łań z podziałem równomiernym. Niektóre elementy uzupełniające pokazane są na rysunku 7.

Wykonano nasadkę zaopatrzoną w mikroskop (19) o 20-krotnym powiększeniu, ustawianą na wózku komparatora (zamiast niwelatora cyfrowego niezbędnego do komparowania łąt kodowych). Mikroskop może być przemieszczany w płaszczyźnie pionowej ruchem leniwym za pomocą pokrętki (20) i przesuwany poziomo, wzdłuż osi celowej przy użyciu pokrętki (21). Przemieszczenia pionowe mikroskopu względem wózka mierzone są przy użyciu czujnika zegarowego (22) (lub elektronicznego czujnika Vis o dokładności odczytu 1 μm). Na wózku zainstalowano pochyłomierz elektrowniczny PN31 konstrukcji IGiK (23) połączony z niewidocznym na zdjęciu systemem odczytowym MUPI (24). Pochyłomierz jest skierowany osią pomiarową równoległe do osi celowej mikroskopu. W odległości 2 cm od wózka zainstalowano jarzmo (25) (poza kadrem zdjęcia) służące do mocowania komparowanej łąty z podziałem równomiernym (26), która jest ustawiona na nieruchomej podstawie (27) (również poza kadrem zdjęcia).

Komparowanie łąty z podziałem równomiernym polega na naprowadzaniu mikroskopu na kolejne, wybrane kreski i, j podziału i wykonywaniu pomiaru wysokości położenia wózka przy użyciu interferometru laserowego oraz równoczesnego pomiaru wysokości mikroskopu nad wózkiem przy użyciu czujnika. Przedmiotem porównania są różnice $\Delta h_{ij \text{ lata}}$ poziomów mikroskopu ustalone według opisu na łącie, przy nacelowaniach na kreski i, j podziału i odpowiadające tym ustawieniom mikroskopu różnice $\Delta h_{ij \text{ int.}}$ zmierzone interferometrem. Różnice $dh_{ij} = \Delta h_{ij \text{ lata}} - \Delta h_{ij \text{ int.}}$ uzyskane przy ustawianiu mikroskopu na poziomach i, j muszą być poprawione ze względu na zmiany nachyleń wózka. Zmiany te mierzy się przy użyciu zainstalowanego na wózku pochyłomierza (23). Poprawione różnice dh , wyznaczone dla wybranych kresek podziału służą do obliczania w sposób uprzednio omówiony:

- błędu m_{dh} ,
- odchyłki średniego metra A ,
- błędu średniego odchyłki m_A .

Tym samym zbudowany komparator staje się uniwersalny – może służyć do komparowania w pozycji pionowej, z użyciem interferometru laserowego, zarówno łąt kodowych jak i tradycyjnych łąt z podziałem z założenia równomiernym.

Omówiony komparator został zbudowany i zastosowany po raz pierwszy w marcu 2003 roku. Informacja na ten temat została podana do publicznej wiadomości dnia 27 marca 2003 roku na V konferencji „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”, w Politechnice Warszawskiej.

LITERATURA

- [1] Feist W. K., Gurtler T. i in., 1995, Die neuen Digitalnivelliere DiNi 10 und DiNi 20. Vermessungswesen und Raumordnung 57/2, April.
- [2] Ingensand H., 1990, The Wild NA2000, the first digital level in the world. AVN 6, June.

- [3] Ingensand H., 1999, The evolution of digital leveling techniques-limitations and new solutions. The importance of heights. Gavle, Sweden.
- [4] Janusz J., 1999, Wyznaczanie parametrów krzywizn ugięcia fundamentów. Prace IGiK t. XLVI z. 98.
- [5] Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., 2003, System terenowej kontroli długości podziału łat niwelacyjnych. Magazyn geoinformacyjny Geodeta 1.
- [6] Janusz J., Janusz W., 2003, Stanowisko do terenowej kontroli długości podziału łat niwelacyjnych. VI Konferencja Naukowo Techniczna "Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej. Warszawa-Białobrzegi 27-28 marca.
- [7] Janusz J., 1998, Metody i urządzenia do terenowej kontroli precyzyjnych łat niwelacyjnych. IV Symposium "Problemy podstawowych sieci geodezyjnych". Warszawa.
- [8] Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., 2003, Terenowy komparator łat do niwelacji precyzyjnej. IGiK. Seria monograficzna nr 7.
- [9] Niwelacja precyzyjna. Praca zbiorowa, 1993, PPWK Warszawa-Wrocław.
- [10] Maurer W., Schnadelbach K., 1993, Bestimmung der Systemgenauigkeit der digitalen Niveliere NA2000/NA3000. In Festschrift Schelling. Mitt. geodInst. TU Graz, 78.
- [11] Reithofer A., 1993, Überprüfung des Digitalniveliersystems Wild3000/GPCL. Festschrift Schelling.Mitt.geod.Inst.Graz, 78.
- [12] Rueger J.M., Brunner FK., 2000, On System Calibration and Type Testing of Digital Levels. Zeitschrift für Vermessungswesen, 4.
- [13] Pokrzywa A., Mróz J., Szczutko T. i in., 2000, Technologia kompleksowego sprawdzania łat niwelacyjnych z wykorzystaniem interferometru laserowego HP 5529 A. Geodezja, t. 6, z. 1, AGH-Kraków.
- [14] Takalo M., Rouhianen P., 2002, On System Calibration od Digital Levels. Proceedings of the 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Comission. Espoo, Finland. 1-5 Oct.

**LENGTH CALIBRATION SYSTEM FOR BAR CODE STAFFS
PREPARED AT THE INSTITUTE OF GEODESY
AND CARTOGRAPHY IN WARSAW**

S u m m a r y

Verification of graduation of bar-code staffs cannot be done using technologies for calibrating traditional staffs which have regular graduation in metric system. This results from the method of reading of the code graduation and its conversion to digital output, which is done by a digital leveling instrument itself. Functional relation between the digital leveling instrument and the bar code staff is so complex that it becomes necessary to verify not

only staff graduation, but also to check simultaneously the correct functioning of inner systems for staff reading and conversion of these readings to metric system.

Limiting staff length verification to checking the spacing of bar graduation through comparison with a coding algorithm must be recognized as incomplete, because it does not take into consideration possible systematic errors of "automatic" readings i.e. systematic errors of the leveling instrument's replica code and errors of opto-electronic image processing.

In 2002 scientists from the Finnish Institute of Geodesy constructed a comparator for simultaneous verification of graduation of bar code staffs, as well as for checking automated systems of reading. According to [14] this was the third comparator in Europe of that type (following Graz and Munich comparators). In this system the constructors applied the principle of measurements by laser interferometer of vertical shifts of a **moving bar code staff**, while simultaneously readings were performed using a **fixed digital leveling instrument**. Such a comparator can be installed in the laboratory with minimal height of 7 meters due to:

- length of staff
- indispensable range of its movement
- space under staff for installation of interferometer.

In this publication the construction of bar code staff comparator designed and built in March 2003 at the Institute of Geodesy and Cartography (IGiK) in Warsaw is described. A different set-up of surveying and supporting furniture was developed to that described in [14] - readings are performed on a **fixed bar code staff** by a **moving digital leveling instrument** whose vertical shifts are measured simultaneously by an interferometer.

Specific capabilities of IGiK comparator are as follows:

- to make calibration in the laboratory with height of 3.05 m applying inverse readings or in a room with height of 4 m without inverse reading,
- to determine values of random and systematic errors introduced by a particular set of bar code staff and automated reading system (leveling instrument) to measurements of height differences (including verification of leveling instrument compensator efficiency).

Preliminary studies concerning use of comparator installed at IGiK are described. Results of calibration thus obtained reveal that it is possible to determine deviation of the mean value of the *effective meter* length carried by a set of NA3003 leveling instrument and Leica GPCL staffs *from normal meter* with mean error of $\pm 3 \mu\text{m/m}$.

The authors anticipate to conduct wider studies, concerning both practical features of the designed comparator and statistical studies on quality of sets of digital leveling instruments and bar code staffs offered by various companies.

Translation: Zbigniew Bochenek

TERENOWY KOMPARATOR ŁAT DO NIWELACJI PRECYZYJNEJ

Opracowano w ramach projektu badawczego 8T12E 029 21 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2001–2002

ZARYS TREŚCI: Uzasadniono potrzebę sprawdzania w terenie podziału łat do niwelacji precyzyjnej z podziałem równomiernym. Opisano budowę i sposób wykorzystania komparatora terenowego do kontroli podziału łat używanych do pomiarów osiadań, przez porównanie z podziałem łaty wzorcowej, sprawdzonej laboratoryjnie przy użyciu interferometru laserowego.

WPROWADZENIE – PROBLEM DO ROZWIĄZANIA

Przy pomiarach osiadań obiektów hydrotechnicznych, gdzie występują duże deniwelacje, od wielu lat pozostaje nierozwiązany problem zagwarantowania niezmienności skali wyników uzyskiwanych na podstawie kolejnych, okresowych pomiarów sieci kontrolnych. Zaburzenia skali mające charakter systematyczny występują również w pomiarach precyzyjnej niwelacji państwowej na terenach o dużych deniwelacjach.

Błędy systematyczne skali pionowej powodowane są przede wszystkim przez zmiany długości podziału łat, które powstają pod wpływem czynników zewnętrznych, głównie zmian wilgotności i zmian temperatury korpusów łat oraz zatarć systemu naciągu taśmy inwarowej [2–4]. Z tego powodu osiadania reperów znajdujących się na poziomach różniących się np. o 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 łaty okresowym komparacjom i wprowadzać do wyników pomiarów poprawki komparacyjne. Wieloletnie doświadczenia produkcyjne pokazały jednak, że tych zaleceń nie zawsze konsekwentnie przestrzegano – okresowej komparacji łat używanych do pomiarów osiadań nie przeprowadzano w ogóle lub poprzestawano na dokonywaniu jej co kilka lub kilkanaście lat.

Przez długi okres nie podejmowano wnikliwych badań przyczyn zdarzającej się nieefektywności poprawek komparacyjnych – nie były znane bliższe zależności zmian długości podziału łat od zmian temperatury, wilgotności i czasu oraz mechanicznych właściwości łat (materiału użytego do budowy korpusu, teoretycznej i rzeczywistej 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 łat duże zmiany długości podziału na taśmie inwarowej. Powodowało to, że duże

różnice między wynikami pomiarów jesiennych i wiosennych interpretowane były jako wynik 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, zwłaszcza mających centralne ogrzewanie. Produkowane obecnie łąty w obudowie aluminiowej lub z tworzyw sztucznych nie podlegają tego rodzaju ujemnym wpływom sezonowych zmian wilgotności, lecz narażone są na równie niekorzystne wpływy zmian temperatury korpusów.

W renomowanej literaturze poświęconej niwelacji precyzyjnej, np. [10] (wyd. I z roku 1971) problem zmian długości podziału łąt jest poruszany w sposób zbyt lakoniczny. Temat ten został nieco rozwinięty w [10] (wyd. II zmienione i uzupełnione z roku 1993), lecz sprawa metodyki i organizacji skutecznej i dostatecznie częstej kontroli łąt nadal budzi niedosyt. Również producenci łąt nie instruują nabywców, jak eksploatować łąty, aby spełniały one rolę precyzyjnego nośnika miary długości! W badaniach uwagę koncentruje się na niwelatorach, gdy tymczasem łąty są elementem wyposażenia również w znacznym stopniu odpowiedzialnym za pojawianie się w wynikach pomiarów dużych błędów systematycznych. Jednocześnie łąty podczas pracy w terenie w naturalny sposób są znacznie bardziej niż niwelator narażone na uszkodzenia z uwagi na ich długość i trudność przechodzenia z nimi bez potrącania przez ciasne miejsca.

Wśród geodetów przedstawione powyżej problemy wywoływały niejednokrotnie uczucie niepokoju 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 w przypadku łąt z zatartym systemem naciągowym, który może „odblokować” się w transporcie) przez wiele łąt ograniczał utrzymywanie kontroli nad niezmiennością skali wyznaczeń wysokościowych. Był to bowiem koronny argument przeciwników transportowania łąt do laboratoriów komparacyjnych (chętnie przyjmowany, bowiem dzięki niemu wykonawcy nie ponosili dodatkowego wysiłku organizacyjnego i finansowego). W efekcie ugruntowało się stosowanie zasady, aby łąt używanych do pomiarów osiadań nie komparować. Nie stosuje się też na ogół żadnych sposobów planowego ograniczania zmian długości korpusów łąt, ani konserwacji mechanizmów naciągowych. W tej sytuacji może się zdarzyć, że w wynikach pomiarów pojawią się duże, niewykryte błędy systematyczne.

W praktyce błędy takie ujawniają się w pomiarach długookresowych szczególnie ostro w momentach wymiany kompletów łąt spowodowanej zmianą wykonawcy pomiarów okresowych lub wyeksploatowaniem łąt. Jeżeli działaniu takiemu nie towarzyszy komparacja lub pomiar „przejsiowy”, łątami nowymi i łątami, które przestaje się używać, to następuje zerwanie ciągłości wyników wieloletnich obserwacji osiadań kontrolowanego obiektu.

Z tego powodu, niezależnie od okresowych kontroli łąt, proponujemy dodatkowo stosowanie zasady, aby łąty do precyzyjnych pomiarów osiadań wysokiego obiektu hydrotechnicznego piętrzącego wodę lub inne media nie należały do wykonawcy pomiarów, lecz stanowiły element kontrolnego wyposażenia tego obiektu i nie były stosowane do pomiarów na innych obiektach. Zasada taka ma na celu maksymalne przedłużenie żywotności kompletu łąt stosowanego do okresowych pomiarów osiadań przez ograniczenie intensywności ich eksploatacji i zagwarantowanie prawidłowego przechowywania w okresach między pomiarami (byłoby dobrze, aby łąty te zachowywały dobry stan techniczny przez cały czas eksploatacji kontrolowanego obiektu).

Uważamy, że łąty należy komparować laboratoryjnie i dodatkowo w miejscu wykonywania pomiarów sprawdzać niezmiennosc długości ich podziału.

Na potrzebę dokonywania terenowych kontroli łąt do niwelacji precyzyjnej, stosowanej do celów badań geofizycznych, prowadzonych na poligonie badawczym w Czorsztynie, zwracał uwagę autor publikacji [11,12]. O potrzebie takiej świadczą również informacje przedstawione w pracy [1]. Sposób komparacji terenowej z wykorzystaniem interferometru laserowego jest omówiony w II wydaniu z roku 1993 pozycji [10]. Mimo to po upływie 10 lat od ogłoszenia takiej możliwości nadal spotyka się przypadki niekomparowania łąt i niesprawdzania ich w ramach komparacji terenowej.

Analizując potrzeby i przedstawione powyżej w zarysie główne problemy i niedoskonałości systemu kontroli skali wyznaczeń wysokościowych, doszliśmy do wniosku, że uzupełnieniem laboratoryjnych komparacji łąt powinny być kontrole łąt na obiekcie, na którym prowadzone są okresowe pomiary osiadań, wykonywane przez porównania łąt kontrolowanych z łątami pełniącymi rolę wzorców roboczych, na poziomie dokładności komparacji laboratoryjnych.

Byłoby dobrze, gdyby system 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 jest wystarczająco elastyczny i ekonomiczny, dlatego poszukiwaliśmy rozwiązania skutecznego i możliwego do stosowania w szerokim zakresie również w przypadku, gdy interferometr nie jest do tego celu osiągalny lub jest dostępny jedynie sporadycznie, w sposób wystarczający jedynie do kontroli wzorców roboczych.

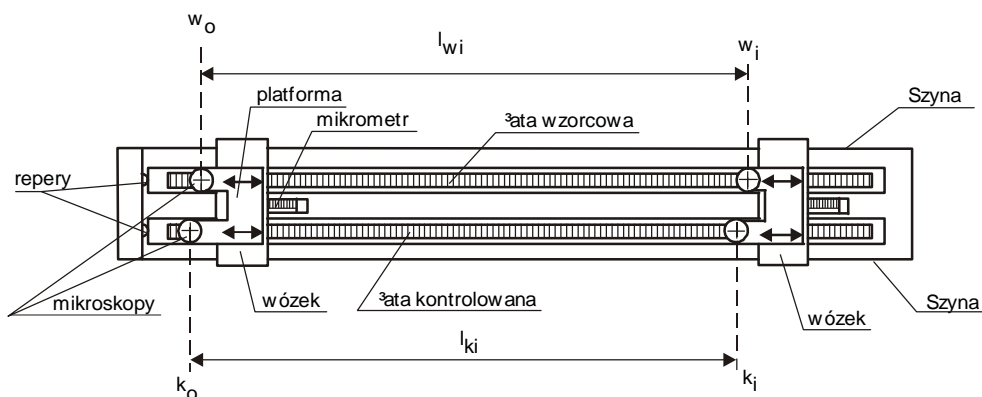
Istotą niniejszego systemu jest możliwość zastąpienia w bieżących kontrolach terenowych interferometru laserowego wzorcem roboczym w postaci łąty sprawdzonej laboratoryjnie i używania interferometru na stanowiskach terenowych tylko w większych odstępach czasu do sprawdzania niezmienności długości podziału łąty pełniącej rolę wzorca roboczego.

Niżej jest omówiony system terenowej kontroli łąt, możliwy do zastosowania w miejscach lub w pobliżu miejsc ich wykorzystania. Umożliwia on szybkie dokonywanie kontroli łąt, natychmiast po nieuniknionych w terenie zdarzeniach powodujących wątpliwości, czy podziały łąt nie uległy uszkodzeniu uniemożliwiającemu dalsze ich wykorzystywanie bez wprowadzania zaktualizowanych poprawek.

Proponowane rozwiązanie powinno zaspokajać potrzeby praktyczne (udzielanie informacji niezbędnych do oceny stanu bezpieczeństwa obiektów budowlanych, zwłaszcza wysokich budowli piętrzących). Jeśli wynikną również możliwości zastosowania go w pomiarach precyzyjnej niwelacji państwowej – to tym lepiej.

OPIS KOMPARATORA DO TERENOWEJ KONTROLI ŁĄT

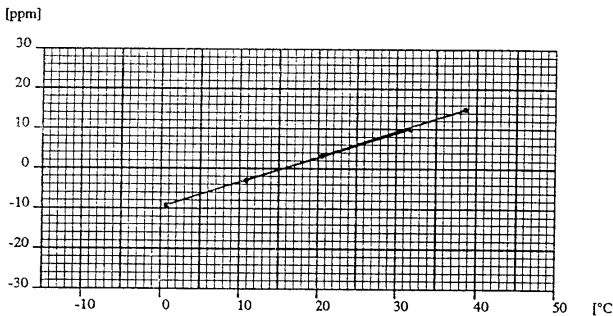
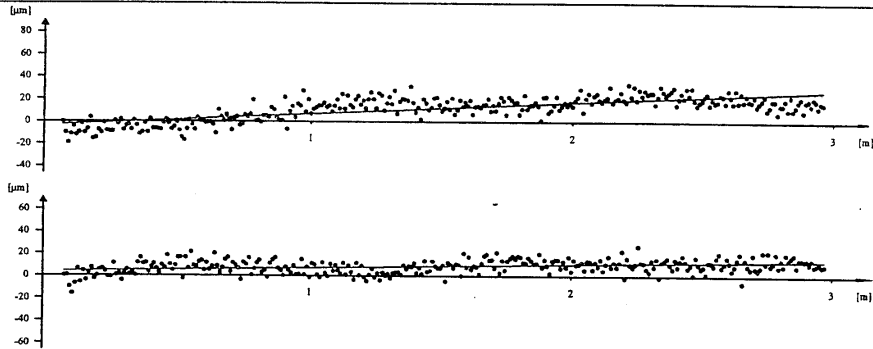

Omawiany komparator przeznaczony jest do kontrolowania łąt do niwelacji precyzyjnej, mających podział kreskowy, z założenia równomierny. Wyznaczaniu na tym komparatorze podlegają błędy przypadkowe rozstawu wybranych kresek podziału w stosunku do rozstawu równomiernego oraz odchyłka systematyczna podziału w stosunku do podziału nominalnego (wzorcowego).



Rys. 1

Komparator jest pokazany schematycznie na rysunku 1. Na komparatorze mierzy się odległości ($K_i - W_i$) między pozycjami jednoimiennych kreski i na łącie kontrolowanej K i łącie wzorcowej W , skierowane wzdłuż osi podziału. Zbiór zmierzonych odległości ($K - W$) jednoimiennych kreski rozmieszczonych wzdłuż całego podziału w ustalonych, najlepiej jednakowych odstępach, służy do obliczenia błędów i systematycznych odchyłek podziału łąty kontrolowanej K .

Tablica 1

<h2 style="margin: 0;">Calibration Report</h2>	
Invar rod (type, No.): LEICA-GPLE3N 21478	Date : 25.10.00 - 13.11.00
No. of graduations measured: 0.7 - 29.6, 30.8 - 59.7	Contract: 00-90-438417
Determination of the coefficient of expansion	Horizontal calibration position
Measurement cycle: 30 → 0 → 20 → 40 → 10 [°C]	Division: 30.8 - 59.7
	
Coefficient of expansion:	$\alpha_T = 0.63 \pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Determination of the scale factor	Vertical calibration position
	
Scale factor:	$m_0 = +10.15 \pm 0.52 \text{ ppm}$ at $T_0 = 20.3 \text{ }^\circ\text{C}$ (0.7 - 29.6)
Scale factor:	$m_0 = +3.27 \pm 0.42 \text{ ppm}$ at $T_0 = 20.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (30.8 - 59.7)
Length adjustment from the vertical calibration (position of use)	
$L = l^0 + L'[1 + (m_0 + \alpha_T(T - T_0)) \cdot 10^{-6}]$ $l^0 = -0.10 \pm .005 \text{ mm}$	
L' [m] = observed rod length, T [°C] = temperature, l^0 [mm] = index correction of rod	
Technical specialist: <i>Scheyer</i>	Munich, 13.11.00
Laboratory director: <i>D. D. Kauer</i>	Institute director: <i>D. W. E.</i>
 Geodätisches Institut, Technische Universität München Arcisstraße 21, 80290 München, Tel.: 089/289-22850, Fax: 089/289-23967	

Zakupiono łąkę o oznaczeniu GPLE3N firmy Leica nr 21 478, zaopatrzoną w certyfikat kalibracji (por. tabl. 1), dokonanej w Geodatisches Institut, Technische Universität München, przeznaczając ją na wzorzec roboczy prototypowego komparatora. Według certyfikatu odchyłka systematyczna średniego metra starszego podziału tej łąki różni się od rozstawu nominalnego (metrycznego) o $A = + 0,003$ mm/m, tj. zaniedbywalnie, znacznie poniżej błędów średnich fabrycznego naniesienia kresek podziału.

Po zbudowaniu komparatora sprawdzono na nim ponownie długość starszego podziału ww. łąki wzorcowej, w pozycji poziomej, przy użyciu interferometru laserowego. Wyniki sprawdzenia podane w tablicy 2 wykazały nieznaczną różnicę w stosunku do danych zawartych w certyfikacie. Różnica ta osiągnęła niewielką wartość, pomimo zmiany pozycji łąki z pionowej na poziomą i pomimo upływu 2 lat między obydwoma sprawdzeniami (łąka w tym okresie nie była użytkowana).

Tablica 2

	Wg certyfikatu	Wg ponownego sprawdzenia
Data sprawdzenia	25.10–13.11.2000	2.12.2002
Szczegółowość sprawdzenia	co 10 mm	co 50 mm
Błąd średni podziału m	0,013 mm	0,015 mm
Odchyłka średniego metra A	+0,003 mm/m	+0,007 mm/m
Błąd średni odchyłki m_A	0,0004 mm/m	0,002 mm/m

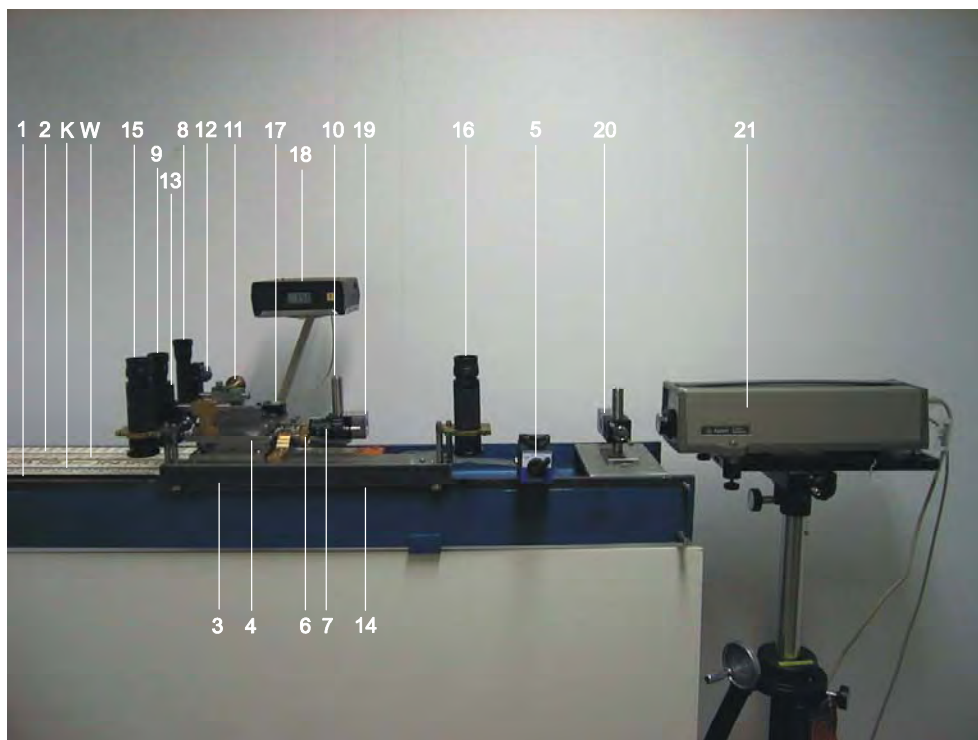
Sprawdzanie długości łąki – wzorca roboczego w celu wyznaczenia ewentualnych zmian jego długości będzie powtarzane okresowo w pozycji poziomej i pionowej przy użyciu interferometru laserowego.

Należy podkreślić, że gdyby sprawdzanie łąk dostarczanych do komparacji odbywało się w pozycji poziomej bezpośrednio przez wyznaczenie rozstawu kresek za pomocą interferometru, to jego wynik, według rozpowszechnionych poglądów, mógłby różnić się od poprawnego, odpowiadającego pionowej pozycji łąki (choć dokonane sprawdzenie łąki wzorcowej nie wykazało wystąpienia zmiany, która miałaby istotne znaczenie). Jeżeli jednak łąka wzorcowa jest komparowana laboratoryjnie w pozycji pionowej, a następnie używana jako wzorzec roboczy do sprawdzania łąk w pozycji poziomej, to wynik takiego sprawdzania można uznać za poprawny. Rozumowanie to opiera się na założeniu, że ewentualny wpływ zmiany pozycji łąki wzorcowej i łąk kontrolowanych na zmiany długości podziałów jest jednakowy. Należy dodać, że według badań

omówionych w [10], wyznaczane różnice długości podziału łań, wynikające ze zmiany pozycji, osiągnęły wartości zbliżone do błędu średniego fabrycznego naniesienia kresek podziału. Gdyby ktoś nie był przekonany do poprawności porównywania łań w pozycji poziomej, to komparator do terenowej kontroli łań może być wykonany również w sposób umożliwiający dokonywanie porównań podziałów łań w pozycji pionowej, co jednak jest uzależnione od miejsca, jakim dysponujemy. Ograniczeniem jest standardowa wysokość wewnętrzna pomieszczeń w nowoczesnym budownictwie, mniejsza od długości łań 3-metrowej, co zmusza do poszukiwania miejsc zainstalowania komparatora do porównań w pozycji pionowej w „starym budownictwie”, w którym na ogół wysokości pomieszczeń są większe (korzystne jest dysponowanie pomieszczeniem o wysokości co najmniej 4 m).

Zaprojektowany i wykonany prototypowy komparator terenowy został zainstalowany w przygotowanym do tego celu pomieszczeniu Instytutu Geodezji i Kartografii w piwnicy gmachu przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie, mającym wysokość wewnętrzną 2,7 m. Na komparatorze został zainstalowany dodatkowo interferometr laserowy, umożliwiający okresowe sprawdzanie, czy wraz z upływem czasu bądź w zmieniających się warunkach otoczenia nie następują zmiany odległości między kreskami podziału łań wzorcowej.

Komparator do terenowej kontroli długości podziału łań został wykonany w postaci łoża z dwuteowego profilu stalowego, usytuowanego w pozycji poziomej, w którym układa się równoległe do siebie łań wzorcową (*W*) i łań kontrolowaną (*K*), opierając je stopkami o repery przytwierdzone do początku łoża. Fragment komparatora z ułożonymi na nim: łań *W* – wzorcową i łań *K* – kontrolowaną pokazano na rysunku 2. Górna krawędź (1) łoża – dwuteowego profilu stalowego jest szyną prowadzącą, zaś górna krawędź (2) jest szyną podpierającą wózek (3) poruszający się po tych szynach na dwu łożyskach kulkowych, ustawionych na szynie prowadzącej i na trzecim łożysku ustawionym na szynie podpierającej. Orientację poziomą nadają wózkowi dwa łożyska na osiach pionowych, przytwierdzonych do wózka przy jego skrajach, toczące się po bocznej powierzchni szyny prowadzącej. Przyleganie tych łożysk do powierzchni szyny prowadzącej jest zagwarantowane przez zaopatrzenie wózka w trzecie łożysko na osi pionowej, umocowane na dźwigni dociskającej je z zewnątrz do bocznej powierzchni szyny podpierającej. Wózek przesuwany po łożu ruchem swobodnym może być zatrzymywany na szynach w wymaganych miejscach i unieruchomiany (aretowany) za pomocą magnesu (5).



Rys. 2

Na wózku (3) jest umieszczona platforma (4), która może być po nim przesuwana wzdłuż łąt po prostoliniowej bieżni ruchem leniwym za pomocą śruby (6). Przesunięcia platformy względem wózka są mierzone czujnikiem elektronicznym Vis (7) mającym odczyt cyfrowy. Czujnik ma zakres pomiarowy 20 mm, a najmniejsza działka czujnika jest równa 0,001 mm (1 μm). Czujnik ten jest przystosowany do połączenia z komputerem w celu rejestrowania odczytów.

Do platformy (4) są przymocowane podstawy dwu mikroskopów (8), (9) o 20-krotnym powiększeniu. Mikroskop (8) służący do celowania na kreski łąty wzorcowej, może być przesuwany wzdłuż łąty względem platformy przy użyciu pokrętki (11). Mikroskop (9) jest nieruchomy względem platformy i służy do celowania na kreski łąty kontrolowanej. Ogniskowanie obrazów kreski podziałów łąt osiąga się przez pionowe przesuwania mikroskopów (8), (9) za pomocą pokrętek (12), (13). Mikroskopy (8), (9) są wycelowane na osie podziałów łąty wzorcowej *W* i łąty kontrolowanej *K*, znajdujących się w łożu komparatora we wzajemnej odległości 10 cm. Na płytkach ogniskowych mikroskopów są wytrawione krzyże kreski, umożliwiające ich naprowadzanie na krawędzie kreski podziałów łąt z dokładnością rzędu 0,005 mm (5 μm).

Na platformie znajduje się bolec ustawczy (10) zwrotnego lustra interferometru (19), co umożliwi mierzenie rozstawu kresek łaty wzorcowej przy użyciu interferometru laserowego (20) przytwierdzonego do łoża. Na przedłużeniu łoża ustawia się na statywie rzutnik laserowy (21) zorientowany względem lustra (19) i interferometru (20) zgodnie z instrukcją pomiaru. Pomiarowi podlegają odległości między lustrem i interferometrem. Lustro (19) i interferometr (20) są ustawione w płaszczyźnie pionowej zawierającej oś podziału łaty wzorcowej. W rezultacie możliwe jest mierzenie interferometrem odległości między dowolnie wybranymi kreskami podziału łaty wzorcowej. Dokładność tego pomiaru zależy od warunków atmosferycznych panujących w laboratorium. Zapis wyników dokonywany jest w milimetrach do czterech znaków po przecinku, tj. do 0,1 μm .

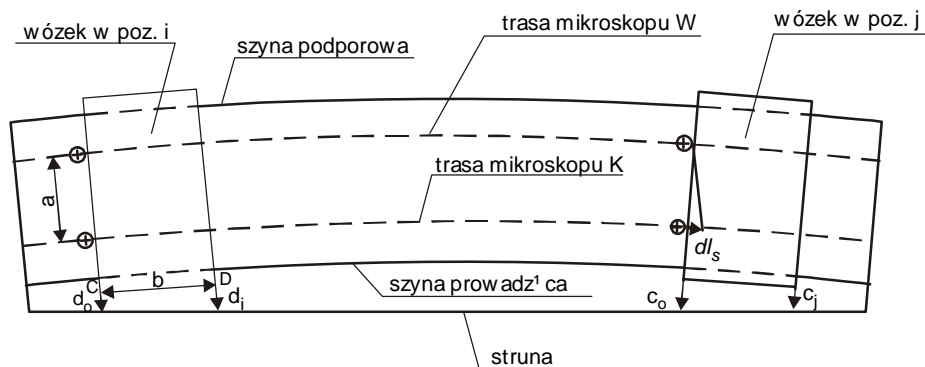
Eliminacja wpływu poziomych skrętów wózka

Szyny (1), (2) powinny być prostoliniowe w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Wynika to z faktu, że odległości między jednoimiennymi kreskami podziałów porównywanych łat i odległości między kreskami łaty wzorcowej są mierzone mimośrodowo w stosunku do płaszczyzn podziałów.

Osiągnięcie prostoliniowości szyn w płaszczyźnie **poziomej** z dokładnością, przy której wyniki ($K - W$) niezbędne do porównania podziałów łat byłyby całkowicie wolne od wpływu skrętów poziomych wózka (3) zachodzących podczas jego jazdy po szynach, jest bardzo kosztowne. Precyzyjnie prostoliniowe wykonanie takich szyn nie musi też gwarantować ich prostoliniowości po zmontowaniu, trzeba bowiem się liczyć się z ugięciami wykonanego profilu dwuteowego w zależności od jego pozycji i warunków podparcia, w rezultacie czego szyny wykonane z wysoką precyzją mogą się okazać po zmontowaniu nieprostoliniowe. Z tego powodu, nie siląc się na obróbkę mechaniczną szyn gwarantującą ich prostoliniowość z odchyłkami rzędu 0,01 mm, zastosowano dodatkowe wyposażenie komparatora **umożliwiające bieżące lub okresowe wyznaczanie odchyłeń szyn od prostoliniowości i obliczanie wartości skrętów poziomych wózka.**

W rezultacie możliwe staje się wyznaczanie **poprawek do mierzonych odległości ($K - W$) położenia jednoimiennych kresek podziałów porównywanych łat ze względu na skręty wózka.**

Do wyznaczania skrętów poziomych wózka (3) służy struna (14) o średnicy 0,15 mm, napięta wzdłuż szyny (1) prowadzącej wózek, z siłą gwarantującą jej prostoliniowość w płaszczyźnie poziomej, oraz dwa mikroskopy (15), (16) o 25-krotnym powiększeniu, przymocowane do wózka przy jego skrajach, służące do nacelowywania na strunę i do odczytywania pozycji skrajów wózka względem tej struny. Mikroskopy są zaopatrzone w podziałki milimetrowe wytrawione na płytkach ogniskowych, umożliwiające dokonywanie odczytów położenia bocznej powierzchni struny z dokładnością rzędu 0,02 mm w zakresie 5 mm.



Rys. 3

Zgodnie z rysunkiem 3, skręt wózka powoduje, iż oś celowa mikroskopu (9) służącego do celowania na kreski łąty kontrolowanej podlega opóźnieniu $-dl_s$ lub wyprzedzeniu $+dl_s$ w stosunku do osi celowej mikroskopu (8) służącego do celowania na kreski podziału łąty wzorcowej. Wartości redukcji, tj. opóźnień i wyprzedzeń uzyskiwanych przy dokonywaniu odczytów odpowiadających nacelowaniom na jednoimienne kreski obu łąt, muszą być obliczane w stosunku do pozycji wózka osiągniętej przy nacelowaniach na wybrane, jednoimienne kreski przy początkach podziałów (lub inne wybrane jednoimienne kreski podziałów, od których wyznaczamy odległości do pozostałych obserwowanych kresek). Redukcje oblicza się ze wzoru:

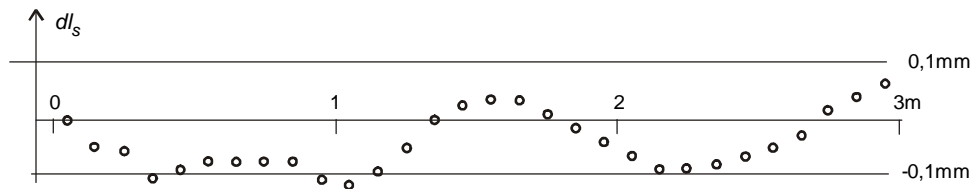
$$dl_s = \{(d_i - d_o) - (c_i - c_o)\} a/b \quad (1)$$

gdzie:

- a – odległość pozioma między osiami mikroskopów (8), (9),
- b – odległość pozioma między osiami mikroskopów (15), (16),
- d_i, d_o – odczyty położenia struny (14) mikroskopem (15),
- c_i, c_o – odczyty położenia struny mikroskopem (16).

Wózek skonstruowano tak, że $a/b = 0,25$, dzięki czemu możliwe jest wyznaczanie tym sposobem poprawek $-dl_s$ różnic $(K - W)$ z dokładnością rzędu $4 \mu\text{m}$. (Należy dodać, że $a/b = 0,25$ w przypadku porównywania tych samych podziałów obu łąt. Jeśli porównaniu podlegają dwa różne podziały, to trzeba pamiętać, że miejsca nacelowania na ich kreski znajdują się w odległościach a różniących się od 10 cm).

W tabelicy 3 podano zestawienie poprawek odległości $(K - W)$ ze względu na skręty wózka ustawianego w miejscach nacelowania na kreski podziału łąty kontrolowanej 5, 15, 25... 295 cm od stopki, zmierzone i obliczone przy użyciu struny (14) i mikroskopów (15), (16), zaś na rysunku 4 pokazano wykres tych poprawek.



Rys. 4. Odchyłki ze względu na skręty poziome wózka

Tablica 3

m	Odchyłki ze względu na skręty poziome wózka		
	0	1	2
+	μm		
0,05	0	-118	-66
0,15	-48	-90	-86
0,25	-52	-52	-86
0,35	-106	-2	-78
0,45	-88	26	-64
0,55	-72	36	-50
0,65	-74	36	-28
0,75	-72	8	16
0,85	-76	-18	42
0,95	-108	-42	64

Tablica 4

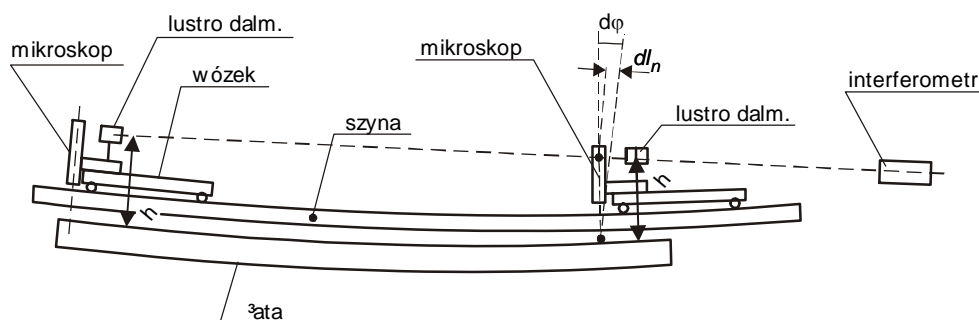
m	Odchyłki ze względu na skręty poziome wózka		
	0	1	2
+	μm		
0,05	0	36	3
0,15	15	44	25
0,25	2	37	50
0,35	-42	42	84
0,45	-77	37	128
0,55	-62	32	134
0,65	-14	34	118
0,75	32	16	78
0,85	24	8	64
0,95	21	5	54

Różnice odczytów jednoimiennych kresk podziałów łąt ($K - W$) można też redukować ze względu na zachodzące skręty wózka bez korzystania z odczytów położenia struny. Wówczas jednak trzeba wykonywać pomiary odległości ($K - W$) w dwu położeniach łąt przekładanych miejscami w łożu i obliczać $(K - W)_{sr}$. Jest to sposób bardziej pracochłonny, wymaga bowiem pomiaru różnic ($K - W$) w dwu położeniach łąt, gdy tymczasem poprawki $-dl_s$ można wyznaczyć podanym sposobem, przy użyciu struny (14) i mikroskopów (15), (16) jednorazowo dla wszystkich miejsc, w których wózek zostaje później wielokrotnie ustawiany do wykonywania odczytów ($K - W$) na kolejnych kontrolowanych łątach.

Eliminacja wpływu zmian nachyleń wózka

Zmiany nachyleń wózka $d\varphi$ podczas jego jazdy po szynach nieprostoliniowych w płaszczyźnie **pionowej** powodują (rys. 5), że lustro (19) przymocowane do platformy (4) na wysokości h nad podziałem łąty podlega opóźnieniom $-dl_n$ lub wyprzedzeniom $+dl_n$ w stosunku do miejsc celowania mikroskopem (8) na kreski podziału łąty wzorcowej:

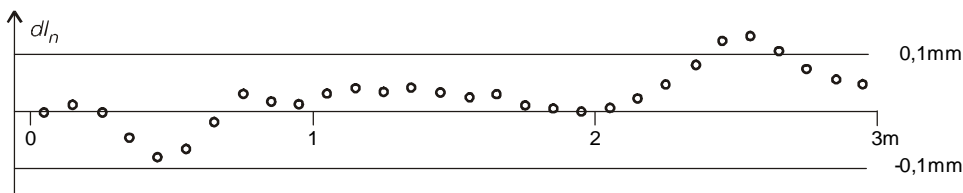
$$dl_n = h (\varphi_i - \varphi_0) = h d\varphi \quad (2)$$



Rys. 5

W związku z tym do platformy przytwierdzono sensor zmian nachyleń (17) i system odczytów zmian nachyleń MUPI (18) [9], przy użyciu którego należy wykonywać odczyty nachyleń wóзка we wszystkich miejscach zatrzymywania wóзка, w których wykonuje się pomiary odległości interferometrem. Jeśli pomiary odległości wykonuje się przy komparacji łąt wielokrotnie w tych samych miejscach, to można posługiwać się jednokrotnie wyznaczonymi poprawkami wskazań odległości ze względu na zmiany nachyleń wóзка. Wózek został tak skonstruowany, że lustro (19) znajduje się na wysokości $h = 50$ mm nad podziałem łąty. Odczyty nachyleń wóзка są dokonywane z dokładnością 0,02 mm/m, z czego wynika, że dokładność wyznaczenia poprawek dl_n ze względu na nieprostoliniowość szyn w płaszczyźnie pionowej osiąga 1 μ m.

W tabelicy 4 podano zestawienie poprawek odległości mierzonych interferometrem, ze względu na zmiany nachyleń wóзка w miejscach odpowiadających nacelowaniom na kreski łąty kontrolowanej w odległościach: 5, 15, 25... 295 cm od stopki, zaś na rysunku 6 pokazano wykres tych poprawek.



Rys. 6. Odchyłki ze względu na różnice nachyleń wóзка

Wyznaczanie poprawek ze względu na skręty i różnice nachyleń wóзка należy okresowo powtarzać w celu sprawdzenia, czy nie następują odkształcenia łoża i wóзка wymagające aktualizacji zestawienia poprawek.

ZASADY SPRAWDZANIA ŁAT PRZEZ PORÓWNANIE Z ŁATĄ WZORCOWĄ

Łatę wzorcową W i łatę kontrolowaną K układamy poziomo, równolegle do siebie w przeznaczonych na nie częściach łoża i dociskamy ich stopki do reperów osadzonych na początku łoża.

Sprawdzanie podziału łaty kontrolowanej odbywa się przez obserwację dwoma sprzężonymi mikroskopami (8), (9) wzajemnej odległości (wzdłuż osi przesuwu wózka) kolejnych par wybranych, jednoimiennych kresk podziału łaty wzorcowej W i łaty kontrolowanej K . Pomiarowi podlegają wszystkie kreski podziałów obu łat lub kreski wybrane – na przykład w odstępach co 5 cm lub 10 cm.

Przed rozpoczęciem pomiarów należy ustawić mikroskopy (8), (9) nad krawędziami wybranych, jednoimiennych kresk podziałów łat tak, aby uzyskać możliwie małą wartość $(K - W)$. W tym celu najpierw doprowadzamy czujnik (7) do odczytu w pobliżu środka zakresu, po czym przesuwamy wózek (3) do położenia, przy którym mikroskop (9) jest nacelowany blisko krawędzi kreski podziału łaty kontrolowanej i doprowadzamy ten mikroskop do nacelowania precyzyjnego śrubą ruchu leniwego (6). Następnie przesuwamy mikroskop (8) do precyzyjnego nacelowania na krawędź jednoimiennej kreski podziału łaty wzorcowej, korzystając z pokrętki ruchu leniwego (11). Po osiągnięciu takiej wzajemnej pozycji mikroskopów sprzężonych na platformie (4) nie można już posługiwać się pokrętką (11), a wszystkie przesunięcia platformy z mikroskopami można dokonywać ruchem leniwym **tylko** przy użyciu śruby (6) !!

Pomiar odległości $(K - W)$ przy nacelowaniu na odczyt krawędzi kresk odległych od stopki o 5 cm rozpoczynamy od przesunięcia wózka ruchem swobodnym do pozycji bliskiej tych kresk, po czym przesuwamy platformę ruchem leniwym za pomocą śruby (6) do nacelowania mikroskopem (8) na krawędź kreski W i resetujemy czujnik (doprowadzamy do odczytu 0). Następnie przesuwamy platformę ruchem leniwym za pomocą śruby (6) do nacelowania mikroskopem na krawędź kreski K i wykonujemy na czujniku odczyt $(K - W)_5$.

Przesuwamy wózek ruchem swobodnym do pozycji bliskiej krawędzi kresk odległych od stopki o 15 cm i powtarzamy cykl czynności opisanych w poprzednim akapicie, uzyskując w rezultacie na czujniku odczyt $(K - W)_{15}$. Podobnie postępujemy przy nacelowaniach na kolejne kontrolowane kreski podziału odległe od stopki o 25, 35... 295 cm, otrzymując zbiór odległości $(K - W)$.

Średnie wartości $(K - W)_{sr}$, z pomiaru poszczególnych par kresk w dwóch położeniach łat, lub różnice $(K - W)$ zredukowane ze względu na skręty poziome wózka, zostają wykorzystane do obliczenia parametrów A , B równania prostej regresji:

$$dy + v = A x + B \quad (3)$$

gdzie:

- A – parametr określający względne, systematyczne odchylenie rozstawu kresk podziału łąty kontrolowanej w stosunku do rozstawu kresk podziału łąty wzorcowej, w mm/m,
- x – odległość rozpatrywanej kreski podziału od stopki, wyrażona w metrach (odczyt łąty),
- dy – zaobserwowane odchylenie położenia kreski podziału kontrolowanego od pozycji nominalnej ($dy = (K - W)_{sr}$ lub $dy = (K - W) + \text{poprawka ze względu na skręt osi wózka}$), w mm,
- v – poprawka wyrównawcza wyrażająca odległość punktu o współrzędnej dy od prostej o równaniu (3), w mm.

(Wartość parametru B jest bez znaczenia dla oceny łąt, bowiem zależy od początkowego ustawienia mikroskopów względem siebie i od układu odniesienia poprawek ze względu na skręty osi wózka).

W przypadku gdy podział łąty wzorcowej sprawdzony interferometrem okazuje się obarczony istotną co do wartości odchyłką systematyczną A, odchyłką systematyczną podziału łąty skontrolowanej przez porównanie z podziałem łąty wzorcowej powinna być wyrażana jako suma:

$$\underline{A} = A + A \quad (4)$$

Wówczas wyznaczony parametr \underline{A} łąty kontrolowanej jest równoznaczny z odchyłką metra średniego według nomenklatury użytej w [10] (znaczenie takie ma również parametr A w przypadku, w którym A osiąga wartość pominiętą jako zanedbywalnie małą).

Wyniki pomiarów wartości $(K - W)$ oraz poprawki ze względu na skręty wózka są rejestrowane i stanowią bazę danych do komputerowego tworzenia świadectw komparacji.

W tablicy 5 pokazano przykładowe świadectwo komparacji podziału łąty kontrolowanej przez porównanie z podziałem łąty wzorcowej. Składa się ono z części archiwalnej (Calibration data) i części przeznaczonej dla użytkownika łąty (Calibration report). Przy sprawdzaniu tej łąty przyjęto, iż obserwowaniu podlegają różnice $(K - W)$ kresek w odstępach co 10 cm (oczywiście na życzenie właściciela łąty sprawdzanie kresek może być dowolnie zagęszczone). W świadectwie podane są podstawowe parametry mające znaczenie dla oceny stanu kontrolowanej łąty, a mianowicie:

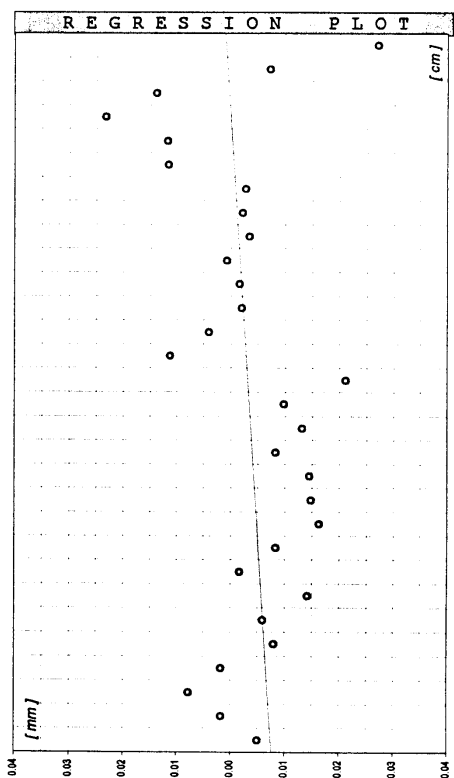
- wyznaczona odchyłką systematyczną A rozstawu kresk podziału łąty kontrolowanej w stosunku do rozstawu nominalnego, wyrażona w mm/m,

Tablica 5

LEVELLING STAFF CALIBRATION REPORT

STAFF MODEL: WILD GPL3 DATE: 07.02.2003
 PRODUCT NO.: 3656A INSPECTOR: JJ
 MEAS. RANGE: 300-600

X	Y'	Y''	Y	v	v^2
295	-0.0287	-0.0253	-0.0270	0.02788	0.000777
285	-0.0014	-0.0131	-0.0073	0.00787	0.000062
275	0.0134	0.0146	0.0140	-0.01366	0.000187
265	0.0165	0.0303	0.0234	-0.02336	0.000546
255	0.0029	0.0210	0.0119	-0.01221	0.000149
245	0.0071	0.0164	0.0118	-0.01234	0.000152
235	-0.0042	-0.0013	-0.0028	0.00192	0.000004
225	-0.0067	0.0023	-0.0022	0.00107	0.000001
215	-0.0108	0.0038	-0.0035	0.00205	0.000004
205	0.0014	0.0001	0.0007	-0.00246	0.000006
195	-0.0016	-0.0017	-0.0017	-0.00035	0.000000
185	0.0005	-0.0046	-0.0020	-0.00026	0.000000
175	0.0021	0.0060	0.0041	-0.00665	0.000044
165	0.0029	0.0200	0.0114	-0.01429	0.000204
155	-0.0275	-0.0147	-0.0211	0.01793	0.000321
145	-0.0132	-0.0064	-0.0098	0.00638	0.000041
135	-0.0173	-0.0090	-0.0131	0.00938	0.000088
125	-0.0178	0.0012	-0.0083	0.00427	0.000018
115	-0.0174	-0.0115	-0.0145	0.01014	0.000103
105	-0.0148	-0.0148	-0.0148	0.01020	0.000104
95	-0.0241	-0.0085	-0.0163	0.01142	0.000131
85	0.0007	-0.0175	-0.0084	0.00320	0.000010
75	-0.0099	0.0064	-0.0017	-0.00375	0.000014
65	-0.0197	-0.0087	-0.0142	0.00842	0.000071
55	-0.0150	0.0031	-0.0060	-0.00008	0.000000
45	-0.0083	-0.0078	-0.0080	0.00167	0.000003
35	0.0018	0.0016	0.0017	-0.00832	0.000069
25	0.0115	0.0040	0.0077	-0.01468	0.000215
15	0.0049	-0.0015	0.0017	-0.00894	0.000080
5	-0.0001	-0.0101	-0.0051	-0.00243	0.000006
SUM >>		-0.099		0.00	0.003410



LINEAR REGRESSION	
Y + v = Ax + B	
PARAMETER A =	0.0029 mm/m
STD. ERROR o/ PAR. A =	0.0023 mm/m
PARAMETER B =	-0.0077 mm
STD. ERROR o/ PAR. B =	0.0040 mm
REGRESSION SUM o/ v^2 =	0.0002 mm
RESIDUAL SUM o/ v^2 =	0.0034 mm^2

Podział 300-600 laty WILD GPL3 nr. 3656A
 sprawdzono na komparatorze IGIK

- rozstaw kresek jest większy od nominalnego średnio o (0.003 ± 0.002) mm/m
- błąd średni równomierności rozmieszczenia kresek jest mniejszy od ± 0.011mm

INSTYTUT GEODEZJI I KARTOGRAFII
 ul. Jasna 2/4 . 00-950 Warszawa . Fax 48/22 827 03 28

Zakład Geodezji Stosowanej
 Tel/Fax: 48/22 849 83 22 , 0-602 113 889 , 0-604 311 913

e-mail: geodezja@igik.edu.pl

- błąd średni $m = \sqrt{[vv] / n - 1}$, od którego jest mniejszy błąd m_K równomierności rozmieszczenia kresek łąty kontrolowanej (praktycznie można przyjąć, że $m_K < 0,7 m$); błąd średni m jest liczony na podstawie zmierzonych odchyłek kresek w stosunku do podziału rzeczywistego, a nie w stosunku do podziału wzorcowego.

Ponadto w świadectwie pokazane są w formie liczbowej i graficznej wyznaczone odchyłki v położenia sprawdzonych kresek podziału w stosunku do prostej regresji, obrazującej średnią odchyłkę systematyczną (proporcjonalną) podziału łąty kontrolowanej. Informacja o tych odchyłkach może mieć dla wykonawcy pomiarów istotne znaczenie zwłaszcza w przypadku, w którym duże odchyłki grupują się w określonych strefach podziału, bowiem ich pokazanie umożliwia takie ustawianie niwelatora i łąt, aby można było pominąć korzystanie z wykonywania odczytów w tych strefach.

Dokładność wyznaczenia parametru A charakteryzującego odchyłkę systematyczną podziału zależy od liczby obserwowanych kresek podziału oraz od błędu średniego wyznaczenia rozmieszczenia kresek m . W przypadku gdy na łącie 3-metrowej obserwujemy 30 kresek w odstępach co 10 cm, to błąd $m_A = 0,21 m$ [mm/m]. Przy sprawdzaniu łąty o długości 1,82 m, gdy obserwujemy 18 kresek w odstępach co 10 cm, błąd $m_A = 0,45 m$ [mm/m].

SPRAWDZANIE ŁĄT WZORCOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU INTERFEROMETRU LASEROWEGO

Sprawdzanie pełne

Jak już wspomniano wcześniej, komparator terenowy został opracowany w sposób umożliwiający dokonywanie na nim porównań podziału łąt kontrolowanych z podziałem łąty wzorcowej, a ponadto w sposób umożliwiający sprawdzanie łąty wzorcowej (jak również ewentualnie łąt kontrolowanych) przy użyciu interferometru laserowego.

Sprawdzanie interferometrem może dotyczyć wyznaczania różnic rozmieszczenia zbioru wybranych kresek podziału łąty wzorcowej lub dowolnej łąty kontrolowanej w stosunku do nominalnego rozmieszczenia kresek lub tylko wyznaczania „ograniczonego”, służącego do zbadania czy nie nastąpiła równomierna zmiana długości całego podziału łąty wzorcowej, wynikająca ze zmiany siły naciągu taśmy inwarowej bądź sygnalizowanej w literaturze [10] możliwości jej „płynięcia” wraz z upływem czasu.

W celu pełnego sprawdzenia podziału łąty interferometrem układamy łątę w części łoża znajdującej się pod mikroskopem (8), nacelowujemy mikroskopem na krawędź pierwszej wybranej kreski podziału i wykonujemy odczyt interferometru, po czym resetujemy go do 0. Przy tym nacelowaniu należy wykonać odczyt nachylenia wózka (3) na MUPI (18). Następnie

przemieszczamy wózek ruchem swobodnym i po jego zaaretowaniu w pobliżu kolejnej kreski podlegającej nacelowaniu przemieszczamy platformę ruchem leniwym, posługując się wyłącznie pokrętką (6) tak, aby naprowadzić mikroskop (8) do nacelowania na kolejną wybraną kreskę podziału łąty i wykonujemy odczyt interferometru, który jest równy odległości między kreskami. W tym położeniu wózka również wykonujemy odczyt nachylenia wózka. Czynności te powtarzamy przy nacelowaniach na krawędzie wszystkich wybranych kresek podziału. Korzystne jest, gdy przedmiotem nacelowań są te same krawędzie kresek w jednakowych ustalonych odstępach, np. co 10 cm, 5 cm lub gęściej. Wówczas nie musimy przy każdym odczycie interferometru dokonywać odczytu nachylenia wózka, lecz możemy korzystać z poprawek ze względu na nachylenie, wyznaczonych jednokrotnie we wszystkich miejscach zatrzymywania wózka.

Do wyznaczenia błędu średniego m i odchyłki systematycznej A według wcześniej omówionego postępowania obliczeniowego wykorzystujemy różnice dl między odległościami pomierzonymi interferometrem a odległościami kresek według opisu łąty, zredukowane o poprawki wynikające ze zmian nachylenia wózka. W tym celu układamy i rozwiązujemy układ równań typu:

$$dl + v = Ax + B \quad (5)$$

Ograniczone sprawdzenie podziału łąty

Do sprawdzania w zakresie ograniczającym się do kontroli niezmienności długości podziału można posługiwać się okresowym wyznaczaniem odległości między dwoma wybranymi, stale tymi samymi, trwale oznaczonymi kreskami przy początku i końcu podziału. Oczywiście sprawdzanie musi być dokonywane z uwzględnieniem różnicy nachyleń wózka w miejscach nacelowań na te kreski. Sprawdzana łąta powinna mieć metrykę, w której notuje się okresowo mierzone odległości między tymi wybranymi kreskami i zachodzące zmiany tej odległości. Do redukcji wyników pomiarów służy w tym przypadku zmiana długości metra obliczana jako stosunek wyznaczonej zmiany długości do długości kontrolowanego odcinka między wybranymi kreskami podziału.

ZAKOŃCZENIE

Omówiony tu prototypowy komparator, zainstalowany w Instytucie Geodezji i Kartografii, po przejściu niezbędnych badań okazał się przydatny do pracy i służy od lipca 2002 roku do dokonywania komparacji łań z podziałem z założenia równomiernym, służących do niwelacji precyzyjnej. Porównaniu z łątą wzorcową podlegają obydwie podziały każdej kontrolowanej łąty. Ponadto wyznaczane są odchylenia stopek łań od prostopadłości do osi podziału i różnice miejsc zera łań 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 do sprawdzania łąt w pozycji poziomej lub pionowej, według dokumentacji opracowanej w IGiK, to jest przez zbudowanie zespołu stanowisk w terenie, w miejscach bliskich miejscom wykonywania pomiarów.

Zamieszczone tu informacje i propozycje służą do zbudowania na obszarze kraju zespołu stanowisk, **umożliwiających zwiększenie częstotliwości sprawdzania łąt do niwelacji precyzyjnej stosownie do potrzeb technicznych**, przez zbliżenie do miejsc pomiarów. Trzeba dodać, że przy wykorzystaniu takich stanowisk realne staje się doraźne sprawdzanie łąt na miejscu, bez zbędnej straty czasu, natychmiast po zdarzeniach, które mogłyby wzbudzać obawę, że łąty uległy uszkodzeniu, a nie dopiero po powstaniu możliwości przewiezienia ich do stacjonarnego laboratorium komparacyjnego. Oczywiście nie eliminuje to potrzeby okresowego sprawdzenia łąt po zakończeniu sezonu pomiarowego w stacjonarnym laboratorium komparacyjnym.

Pragniemy podkreślić, że nasza wcześniejsza inicjatywa dotycząca utworzenia zespołów dysponujących regionalnymi bazami długości, wykonujących pomiary do **komparacji dalmierzy elektromagnetycznych**, zaowocowała powstaniem kilkadziesiąt lat temu, wciąż dobrze funkcjonujących, współpracujących z Zakładem Geodezji Stosowanej IGiK zespołów regionalnych w Lubinie, Lublinie, Łodzi, Olsztynie, Poznaniu, Rzeszowie, Warszawie i Wrocławiu. Istnienie tych zespołów w istotny sposób zbliżyło miejsca wykonywania komparacji dalmierzy do miejsc pomiarów. Liczymy na to, że obecna inicjatywa, dotycząca zagęszczenia w czasie i zbliżenia **kontroli łąt niwelacyjnych** do miejsc ich wykorzystywania, może być również pożyteczna technicznie i korzystna organizacyjnie dla wykonawców pomiarów.

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.

LITERATURA

- [1] Cieślak J., Ząbek Z., Kalinowska B., Margański S., 1977, Problemy zabezpieczenia skali sieci niwelacji precyzyjnej. Sympozjum nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”. Komitet Geodezji PAN, Warszawa.
- [2] Janusz J., 1988, Mechaniczne własności łąt do niwelacji precyzyjnej (dane techniczne i metodyka badań). Prace IGiK z. 1 (80).

- [3] Janusz J., 1989, Metody i urządzenia służące do zmniejszenia błędów systematycznych niwelacji precyzyjnej. Biuletyn IGIK w Przeglądzie Geodezyjnym 1.
- [4] Janusz J., 1991, Wpływ wilgotności na niestabilność łat do niwelacji precyzyjnej. Geodezja i Kartografia 2.
- [5] Janusz W., 1980, Zniekształcenia skali w niwelacyjnych sieciach kontrolnych. Przegląd Geodezyjny 4-5.
- [6] Janusz W., 1986, Problemy identyfikacji stałego poziomu odniesienia w kontrolnych sieciach niwelacyjnych. Przegląd Geodezyjny nr 9.
- [7] Janusz J., 1986, Zmiany długości łat przyczyną systematycznych błędów wyznaczanych osiadań. Biuletyn Informacyjny BOINTE Geodezji i Kartografii.
- [8] Janusz J., Janusz W., 1988, Stanowiska do porównywania łat do niwelacji precyzyjnej. Biuletyn IGIK w Przeglądzie Geodezyjnym 1.
- [9] Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., Wasilewski J., 1999, Inklinometr IS do pomiaru zmian nachyleń i ugięć ścian szczelinowych. Prace IGIK, t. XLVI, z. 98.
- [10] Niwelacja precyzyjna. Praca zbiorowa, 1993, PPWK Wydanie I Warszawa 1971, Wydanie II zmienione i uzupełnione Warszawa-Wrocław.
- [11] Ząbek Z., 1980, Wady precyzyjnych łat niwelacyjnych – problem skali sieci niwelacyjnej. Symposium nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”. Komitet Geodezji PAN, Warszawa.
- [12] Ząbek Z., 1983, Badanie zmian długości precyzyjnych łat niwelacyjnych w terenie. Symposium nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”. Komitet Geodezji PAN, Warszawa.
- [13] Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., 2003, System terenowej kontroli długości podziału łat niwelacyjnych. Magazyn geoinformacyjny Geodeta 1.
- [14] Janusz J., Janusz W., 2003, Stanowisko do terenowej kontroli długości podziału łat niwelacyjnych. VI Konferencja Naukowo Techniczna „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”. Warszawa-Białobrzegi 27–28 marca.

FIELD COMPARATOR OF THE LENGTH OF PRECISE LEVELLING STAFFS

S u m m a r y

Analyses of long-term measurements of vertical displacements of some high dams revealed appearance of great systematic errors. Deviations of *mean meter* and changes of length of leveling staffs are among the main reasons for these errors. Authors came to a conclusion that apart from calibrating staffs at

laboratories it is also necessary to carry out frequent scale checks in the field. For that reason a field comparator for checking staffs with traditional, regular graduation has been designed.

Comparator design objectives were as follows:

- to ensure sufficient accuracy of calibration, similar to that obtained for calibration performed at the laboratories,
- enable calibration to be made independently by a basically trained resident surveyor,
- relatively cheap construction.

The new field comparator exploits the idea of staff length checking by comparison with a staff serving as *working standard*, calibrated periodically at the laboratory with the use of laser interferometer.

Field comparators can be installed close to high hydro technical constructions, enabling on-site check of staffs. This is especially useful when a person conducting measurements has doubts after possible hit or fall of staff if the scale of staff was not damaged, which in consequence can render it inadequate for further usage. Calibration of the staff which serves as *working standard* and which is kept with the field comparator with proper caution, can be done in larger time intervals with the use of laser interferometer, at frequency set according to changes of its length determined in the course of previous calibrations.

Field comparator can be constructed as horizontal or vertical instrument, adjusted to calibrate staffs in their working positions.

Differences (K-W) of position of corresponding marks on the graduation i.e. on the checked staff (K) and on the *working standard* (W) are determined with the use of comparator. On the basis of differences (K-W) mean errors m of graduation, value of systematic deviations of mean meter A , and error of systematic deviation m_A are calculated.

This publication comprises a description of the prototype of field comparator which was installed and checked in detail at the Institute of Geodesy and Cartography. Using this comparator a dozen or so staffs were verified; mean errors of graduation m of $\pm 15 \mu\text{m}$ and errors of systematic deviations of graduation m_A of $\pm 3 \mu\text{m/m}$ were obtained.

Institute of Geodesy and Cartography can undertake works concerning construction and installation of field comparators and can make trainings for persons making leveling measurements, to enable them to use the apparatus independently to check staffs in the field. However, it must be emphasized that frequent verification of staffs using the field comparator cannot free them from periodic calibration of those staffs at the specialized laboratories.

Translation: Zbigniew Bochenek

