

JERZY JANUSZ
WOJCIECH JANUSZ
ANDRZEJ KALIŃSKI
MIECZYŚLAW KOŁODZIEJCZYK
ANDRZEJ TORUŃSKI

**WSTĘPNE BADANIE ZESTAWÓW ŁAT KODOWYCH
Z UŻYCIEM NIWELATORÓW CYFROWYCH
NA KOMPARATORZE IGIK W WERSJI
„NIERUCHOMY NIWELATOR – RUCHOMA ŁATA”**

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Informatyzacji
w latach 2003–2005 w ramach projektu badawczego 5T12E 022 25

ZARYS TREŚCI: Opisano konstrukcję zaprojektowanego i wykonanego w Instytucie Geodezji i Kartografii komparatora łat kodowych z użyciem niwelatorów cyfrowych w wersji „nieruchomy niwelator cyfrowy – ruchoma łata kodowa”, omówiono wyniki badań porównawczych komparatorów oraz wyniki wstępnego badania zestawów niwelatorów cyfrowych DiNi 11, DiNi 12 firmy Zeiss i łat kodowych LD 13, niwelatorów cyfrowych NA3000, NA3003 firmy Leica i łat kodowych GPCL 2, GPCL 3 oraz łaty kodowej i niwelatora cyfrowego DL101-C firmy Topcon.

1. WPROWADZENIE

W pracy (Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M. 2003) uzasadniono konieczność komparowania (wzorcowania) łat kodowych z wykorzystaniem niwelatorów cyfrowych. Przypomnimy, że konieczność taka wynika z faktu, iż odczyty na łacie kodowej dokonywane są samoczynnie przez niwelator cyfrowy, w związku z czym nie jest wystarczające sprawdzanie podziału łaty kodowej jak w przypadku łat z podziałem równomiernym współpracujących z niwelatorami tradycyjnymi. Niezbędne jest również sprawdzanie, jak niwelator cyfrowy „radzi sobie” z odczytywaniem podziału łaty kodowej i przetwarzaniem odczytu do systemu metrycznego. W pracy tej zaprezentowano służący do tego komparator zbudowany w IGIK w marcu 2003 roku. Komparator ten umożliwiał komparowanie łat

kodowych ustawianych w pozycji pionowej przy wykorzystaniu niwelatora cyfrowego przemieszczanego pionowo, z jednoczesnym wyznaczaniem jego przemieszczeń za pomocą interferometru laserowego. Takie komparowanie łąt w systemie „nieruchoma łąta kodowa – ruchomy niwelator cyfrowy” było podyktowane tym, że wówczas nie dysponowaliśmy pomieszczeniami umożliwiającymi pionowe przemieszczanie komparowanych łąt.

W lipcu 2003 roku Instytut został przeniesiony do nowej siedziby, w której powstały warunki do zbudowania i zainstalowania komparatora pracującego na zasadzie „ruchomej łąty kodowej i nieruchomego niwelatora cyfrowego”, na którym przemieszczenia łąty są wyznaczone za pomocą interferometru, zaś różnice odczytów na łącie są mierzone przy użyciu nieruchomego niwelatora cyfrowego. Komparator taki został zaprojektowany w listopadzie 2003 roku i zbudowany w styczniu 2004 roku, po czym przeprowadzono serię badań porównawczych, które wykazały, że komparacja łąt na komparatorze w wersji „nieruchomy niwelator cyfrowy – ruchoma łąta kodowa” umożliwia uzyskiwanie większych dokładności od komparacji na komparatorze w wersji „ruchomy niwelator cyfrowy – – nieruchoma łąta kodowa”. Badania wykazały, że przyczyny podwyższenia dokładności to zagwarantowanie:

- nieruchomości kompensatora w niwelatorze,
- jednolitych warunków oświetlenia podziału łąty w strefie odczytywania.

Nie jest wykluczone, że na zwiększenie dokładności wpłynęło również celowanie na łątę w pomieszczeniu laboratorium stale na tym samym poziomie, wskutek czego ograniczeniu uległy różnice kształtu celowej wywoływane zmiennością wpływu refrakcyjnego.

2. KOMPARATOR W WERSJI „NIERUCHOMY NIWELATOR CYFROWY – RUCHOMA ŁATA KODOWA”

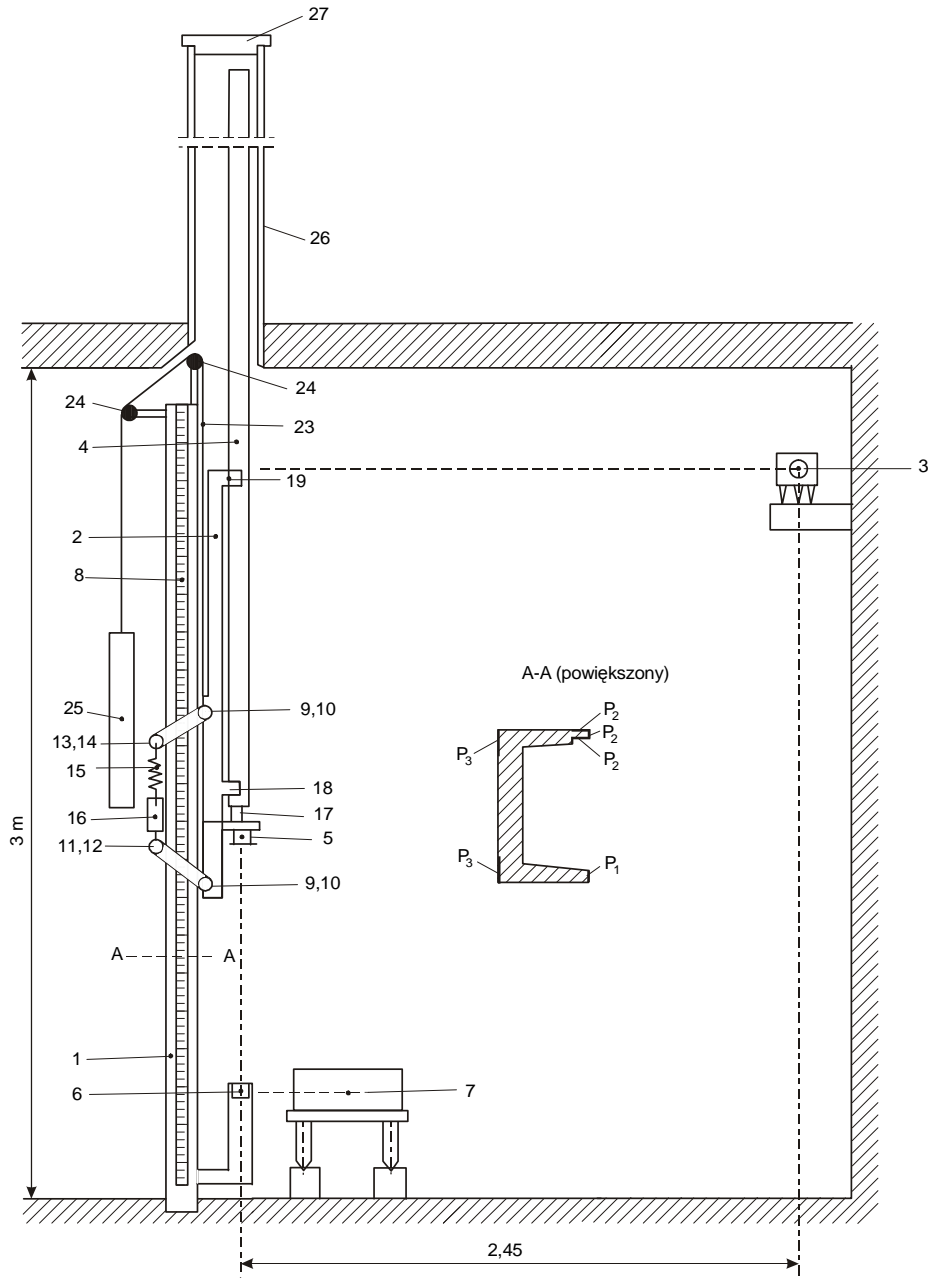
Komparator pokazany na rysunku 1 i na schematycznym rysunku 2 składa się z dwu modułów:

- 1) stanowiska niwelatora,
 - 2) stanowiska łąty.
-
- 1) Jako stanowisko niwelatora wykorzystano uprzednio zbudowany komparator w wersji „ruchomy niwelator cyfrowy – – nieruchoma łąta kodowa”. Tym razem jest on wykorzystywany

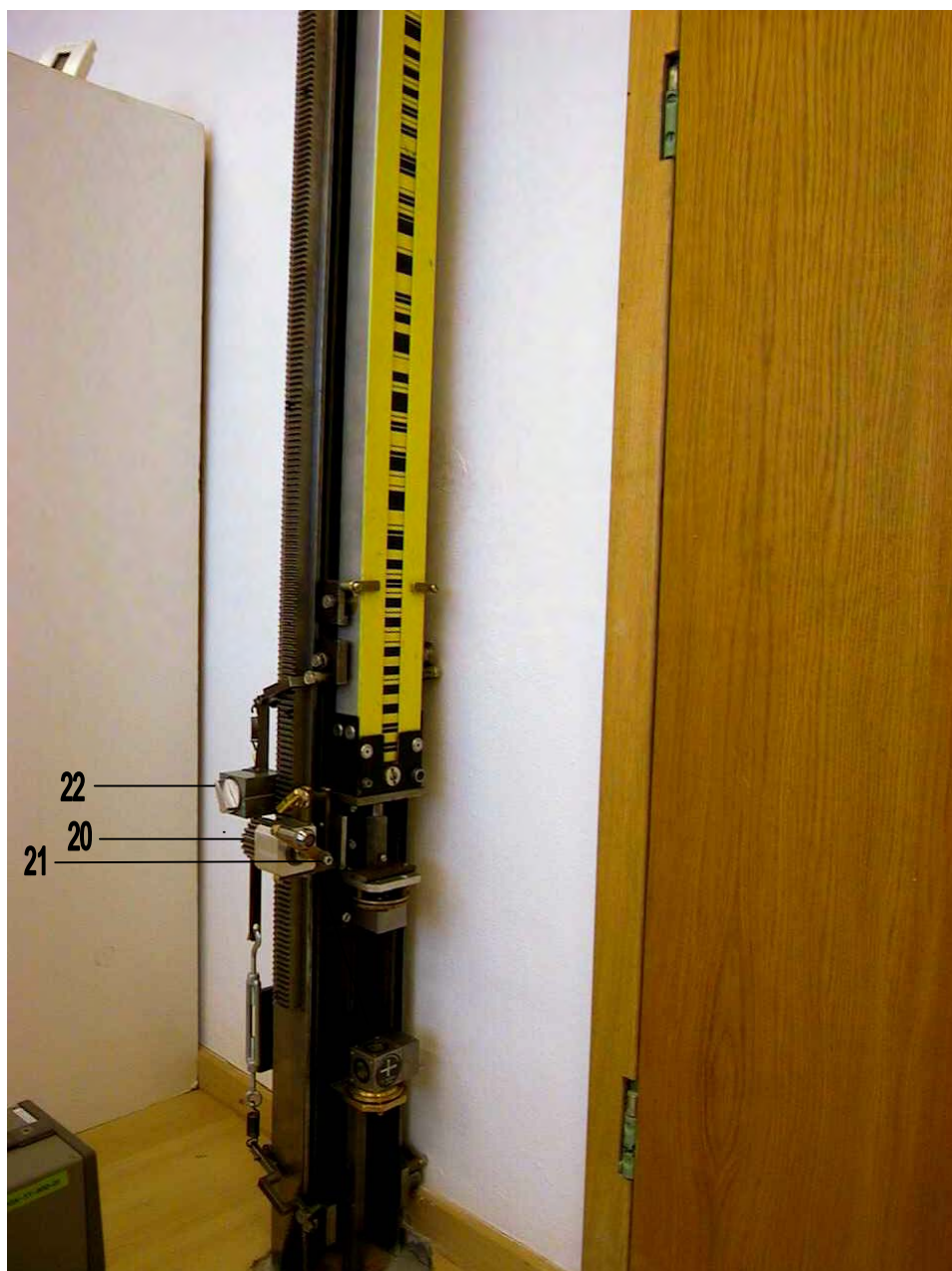
w taki sposób, że wózek z ustawionym na nim niwelatorem cyfrowym (3) zostaje naprowadzony na poziom, na którym w czasie komparowania mają być wykonywane niwelatorem odczyty na łącie i na tym poziomie zostaje unieruchomiony (zaaretowany) na cały czas komparowania łąty. Możliwość wprowadzenia niwelatora na dowolny poziom w zakresie przesuwu wózka jest korzystna z uwagi na dążenie do wygodnego dokonywania odczytów na komparowanych łątach mających różne długości. Przy komparowaniu łąt o długości 3 m niwelator zostaje ustawiony na poziomie, przy którym oś celowa przebiega 2,6 m nad podłogą laboratorium (0,4 m poniżej sufitu). Celowanie na tym poziomie wymaga podwyższenia dla obserwatora, do czego służy wieża, używana do sędziowania gry w siatkówkę i w tenisa.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

- 2) Budowa i działanie stanowiska łąty są następujące. Po pionowo usytuowanej prowadnicy (1) może przesuwać się wózek (2) z przytwierdzoną do niego łątą kodową (4). Prowadnica jest wykonana z ceownika stalowego o długości 3 m i wymiarach przekroju poprzecznego 140 x 60 mm. Do prowadnicy przytwierdzona jest zębata (8) o długości 2500 mm i interferometr (6). Płaska powierzchnia (P1), trzy płaskie powierzchnie (P2) oraz płaskie powierzchnie (P3) są zfrezowane i oszlifowane. Stanowią one bieżnie dla dwu kółek (9) z walcowymi powierzchniami, toczących się po powierzchni P1 i dwu kółek (10) ze stożkowymi powierzchniami, toczących się po krawędziach powierzchni P2. Osie obrotu tych kółek są połączone trwale z wózkiem. Cztery kółka przypierające (11–14), toczące się po powierzchni P3, mają osie obrotu połączone z wózkiem (2) wahliwie. Osie kółek (9), (10) są połączone parami z wózkiem na dwu poziomach różniących się o 600 mm. Leżące naprzeciw nich kółka (11–14) wsparte o przeciwległą płaską powierzchnię prowadnicy (1), są do niej dociskane za pomocą dwu sprężyn (15) i śrub rzymskich (16), co powoduje silne sprężenie wózka (2) z prowadnicą (1). Wózek o całkowitej długości 1900 mm jest zaopatrzone w: reper do ustawiania łąty (17), dwa jarzma (18), (19) do mocowania łąty odległe od siebie o 1250 mm, kółko zębate (20) z korbką (21), lustro zwrotne interferometru (5) oraz magnes (22) służący do aretowania wózka (2) na prowadnicy (1). Wózek jest zawieszony na linie stalowej (23) przełożonej przez dwa bloczki (24) i obciążonej przeciwwagą (25) równoważącą ciężar wózka i łąty (około 16 kG w przypadku komparowania łąt o długości 3m). Rzutnik laserowy (7) jest ustawiony na osi interferometru (6). Jest on połączony z komputerem PC i monitorem, na którym wyświetlane są odczyty mierzonych odległości między lustrem zwrotnym (5) a interferometrem (6).

W stropie pomieszczenia laboratorium nad stanowiskiem łąty jest wykonany otwór, w którym osadzono w pozycji pionowej rurę (26) z PCV o średnicy 160 mm znajdującą się w pomieszczeniu na II piętrze budynku. Rura ta służy jako osłona łąty przesuwanej ku górze i jest zamknięta nakładanym z góry deklek (27), który przeciwdziała przepływowi przez rurę powietrza w czasie dokonywania komparacji. Dekiel (27) jest możliwy do zdejmowania w okresach między

komparacjami w celu przewietrzania rury i wyrównywania w niej temperatury. Szczegóły modułu stanowiska łąty pokazane są również na rysunku 3.

3. WARUNKI MONTAŻU KOMPARATORA

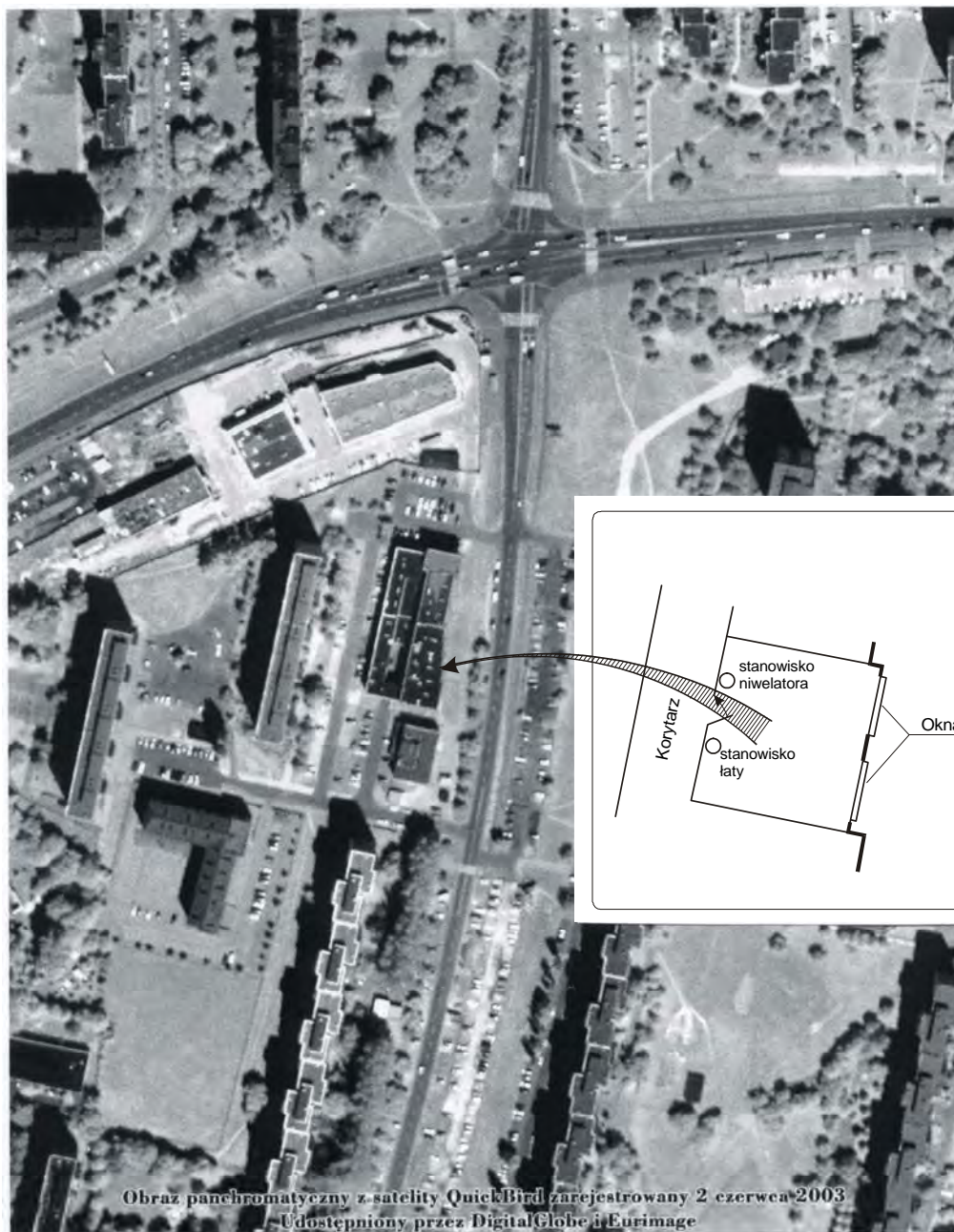
Najpewniejszym z punktu widzenia stabilności miejscem zainstalowania komparatora byłoby pomieszczenie piwniczne lub parterowe. Jednak również w nowej siedzibie Instytutu nie udało się znaleźć takiego pomieszczenia i konieczne stało się zainstalowanie komparatora w pomieszczeniu znajdującym się na I piętrze, wybranym w miejscu oddalonym od źródła drgań, jakim są agregaty chłodnicze umieszczone w piwnicy.

Konstrukcja budynku Instytutu została wykonana jako żelbetowy szkielet ściennie-stropowy o układzie poprzecznym, stężony w kilku miejscach ścianami nośnymi usytuowanymi wzdłuż podłużnej osi budynku.

Pomieszczenie laboratoryjne znajduje się po wschodniej stronie budynku, zaś od strony zachodniej graniczy ono z wewnętrznym korytarzem skierowanym południkowo.

Usytuowanie laboratorium i rozmieszczenie modułów komparatora pokazano na rysunku 4.

Podstawowe znaczenie dla poprawnej pracy komparatora ma spełnienie warunku niezmienności wzajemnej wysokości stanowiska niwelatora cyfrowego (3) i interferometru (6) przymocowanego do przewodnicy na stanowisku komparowanej łąty. Ewentualne zmiany różnicy wysokości niwelatora i interferometru mogłyby wynikać z następujących w okresie komparowania zmian temperatury i zmian nachylenia budynku. Bezpośrednio po zainstalowaniu komparatora sprawdzano wielokrotnie, czy zaprojektowane miejsca zastabilizowania stanowiska niwelatora i interferometru spełniają warunek niezmienności różnicy wysokości. Badania przeprowadzono przy użyciu niwelatora cyfrowego NA 3003 i niwelatora cyfrowego DiNi 11. Niwelatorami tymi, zaprogramowanymi na wykonywanie odczytów uśrednionych z 10 pomiarów, wykonywano odczyty na unieruchomionych na stanowisku łątach kodowych w odstępach co kilka minut. Wszystkie wykonane sprawdzenia wykazały, że w okresie zbliżonym do czasu trwania komparacji pojedynczej łąty kodowej zmiany wzajemnej wysokości położenia nie przekroczyły jednostki zapisu odczytu (to jest 0,01 mm). Być może zmiany wzajemnej



Rys. 4

wysokości były mniejsze od 0,01 mm, lecz nie dysponowaliśmy przyrządem umożliwiającym stwierdzenie tego. Pośrednim potwierdzeniem stabilności komparatora okazały się później małe wartości rozrzutu wyników komparacji łąt (poprawek wyrównawczych v zaobserwowanych punktów względem wpasowanych analitycznie prostych regresji) pokazane w tablicy 4 i na rysunku 6.

4. BADANIE IMPERFEKCJI GEOMETRYCZNYCH ZMONTOWANEGO STANOWISKA ŁATY KODOWEJ

Jest rzeczą oczywistą, że nie istnieje możliwość całkowicie bezbłędnego wykonania i zmontowania elementów konstrukcji stanowiska łąty, natomiast konieczne jest sprawdzenie, jakie mogą być wpływy błędów wykonania i montażu na dokładność komparowania łąt.

Po zmontowaniu modułu stanowiska łąty sprawdzono odchylenia trajektorii przesuwu podstawy wózka (2) od pionu oraz zmiany nachylenia wózka w czasie jego przejazdu po prowadnicy (1). Wartości tych odchyłeń mają istotne znaczenie dla poprawności wyznaczania różnic wysokości położenia stopki łąty w przypadku, gdy pomiar interferometrem dokonywany jest mimośrodowo w stosunku do płaszczyzny podziału łąty.

Stwierdzono, że trajektoria przesuwu wózka różni się od linii prostej w granicach umożliwiających pomiar odległości interferometrem w całym zakresie przesuwu wózka po prowadnicy z utrzymaniem mocy sygnału powyżej 90%. Moduł stanowiska łąty wykonano i zmontowano tak, że oś przechodząca przez środek interferometru (6) i pryzmatu (5) znajduje się w położeniu pionowym z mimośrodem w stosunku do płaszczyzny podziału łąty (4) nie przekraczającym 1 mm.

Wyniki sprawdzenia odchyłeń trajektorii podstawy wózka i zmian jego nachylenia przy przejeździe po prowadnicy (1) zestawiono w tablicy 1. Odchylenia trajektorii podstawy wózka od pionu – utożsamiane tu z odchyłkami prowadnicy (1) od pionu – wyznaczono za pomocą teodolitu Wild T2 z dokładnością 0,1 mm, zaś zmiany nachylenia wózka wyznaczono przy użyciu pochyłomierza elektronicznego PN 31 konstrukcji IGiK z dokładnością 22 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Tablica 1. Zestawienie odchyłek trajektorii wózka od pionu (kol.2, 7)
Zestawienie zmian nachylenia wózka (kol. 3–6, 8–10)

Poziom [m]	Wzdłuż celowej					W poprzek celowej				
	odchyłka [mm]	zmiana nachylenia				odchyłka [mm]	zmiana nachylenia			
		w górę	w dół	z łata	średnia		w górę	w dół	średnia	
		[volt]			[mm/m]		[volt]			[mm/m]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2,3	0,10	-1,58	-1,53	-1,60	-3,4	0,00	-0,04	0,41	0,4	
2,2	0,15	-1,49	-1,45	-1,53	-3,2	0,20	-0,11	0,14	0,0	
2,1	0,20	-1,45	-1,40	-1,46	-3,1	0,20	-0,05	0,16	0,1	
2,0	0,40	-1,35	-1,33	-1,41	-3,0	0,30	-0,07	0,10	0,0	
1,9	0,55	-1,32	-1,30	-1,35	-2,9	0,50	0,04	0,21	0,3	
1,8	0,65	-1,31	-1,30	-1,31	-2,9	0,55	0,02	0,18	0,2	
1,7	0,75	-1,25	-1,24	-1,31	-2,8	0,50	0,11	0,25	0,4	
1,6	0,85	-1,22	-1,20	-1,25	-2,7	0,55	0,13	0,27	0,4	
1,5	0,95	-1,15	-1,14	-1,22	-2,5	0,55	0,26	0,34	0,7	
1,4	1,05	-1,09	-1,08	-1,15	-2,4	0,60	0,23	0,38	0,7	
1,3	1,10	-1,02	-0,99	-1,09	-2,2	0,60	0,25	0,35	0,7	
1,2	1,15	-0,90	-0,89	-1,01	-2,0	0,65	0,19	0,30	0,6	
1,1	1,10	-0,81	-0,79	-0,90	-1,8	0,60	0,19	0,27	0,5	
1,0	1,15	-0,68	-0,66	-0,80	-1,5	0,55	0,16	0,28	0,5	
0,9	1,10	-0,60	-0,58	-0,68	-1,3	0,60	0,15	0,21	0,4	
0,8	1,10	-0,48	-0,48	-0,59	-1,1	0,50	0,12	0,21	0,4	
0,7	1,05	-0,37	-0,36	-0,49	-0,8	0,50	0,11	0,16	0,3	
0,6	0,95	-0,24	-0,23	-0,38	-0,5	0,45	0,09	0,18	0,3	
0,5	0,80	-0,18	-0,16	-0,23	-0,4	0,45	0,10	0,09	0,2	
0,4	0,65	-0,08	-0,07	-0,16	-0,2	0,35	0,06	0,12	0,2	
0,3	0,40	0,01	0,02	-0,08	0,0	0,25	0,08	0,09	0,2	
0,2	0,20	0,05	0,05	0,02	0,1	0,20	0,15	0,15	0,3	
0,1	0,05	0,00	0,00	0,05	0,0	0,15	0,00	0,03	0,0	
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	

Wyskalowanie zastosowanego pochylomierza PN 31 wykazało, że $1V = 2,2 \text{ mm/m}$

kol.1 – poziom wózka na prowadnicy

kol.2 – odchyłka trajektorii wózka od linii pionu wzdłuż celowej

kol.3 – zmiana nachylenia wózka w voltach przy przejeździe do góry

kol.4 – zmiana nachylenia wózka w voltach przy przejeździe w dół

kol.5 – zmiana nachylenia wózka obciążonego łata w voltach

kol.6 – średnia zmiana nachylenia wózka w mm/m obliczona na podstawie kol.3,4
(znak + oznacza nachylenie ze zwrotem do niwelatora)

kol.7 – odchyłka trajektorii wózka od pionu w poprzek celowej

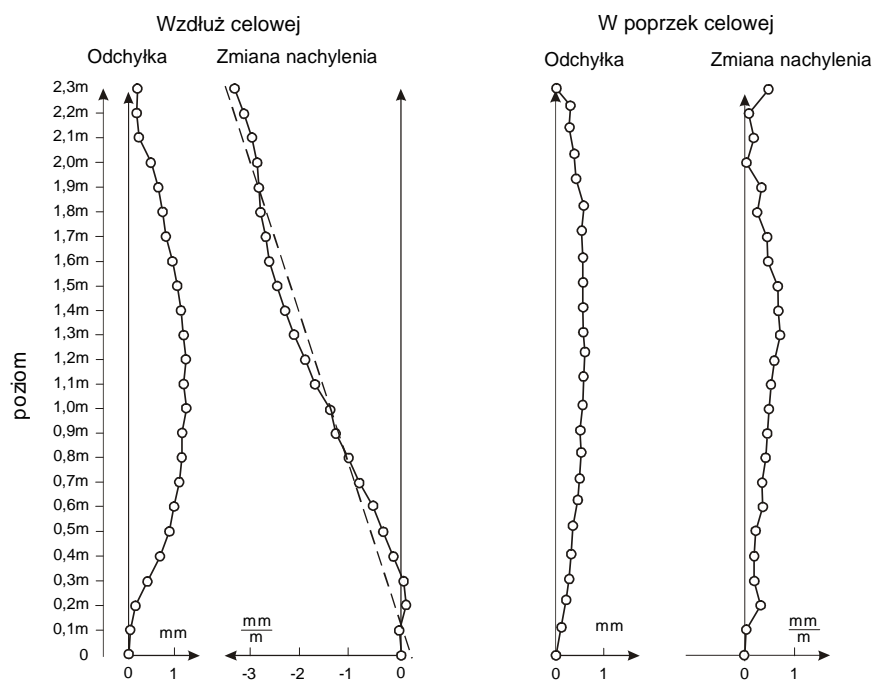
kol.8 – zmiana nachylenia wózka w voltach przy przejeździe do góry

kol.9 – zmiana nachylenia wózka w voltach przy przejeździe w dół

kol.10- średnia zmiana nachylenia wózka w mm/m obliczona na podstawie kol.8,9

Z danych zestawionych w tablicy 1 wynika, że:

- 1) W płaszczyźnie celowania na łątę na długości 2,3 m prowadnica (1) jest wygięta według krzywej zbliżonej kształtem do okręgu koła ze strzałką ugięcia 1,1 mm i zajmuje pozycję pionową. Zmiany nachylenia wózka w płaszczyźnie celowania, następujące przy przejeździe po prowadnicy, korespondują z trajektorią odchylen prowadnicy od pionu (trajektorią przesunięć podstawy wózka). Jest to świadectwo dobrego przylegania kółek jezdnych wózka do prowadnicy. Maksymalna zmiana nachylenia wózka w stosunku do jego najniższej pozycji wynosi 3,4 mm/m, co oznacza, że w przypadku mimośrodru osi celowej interferometru w stosunku do powierzchni podziału łąty o 1 mm może z tego powodu wystąpić błąd komparacji $3,4 \mu\text{m}/2,3 \text{ m} = 1,5 \text{ ppm}$.



Rys. 5. Wykresy trajektorii przesuwu wózka i zmian jego nachylenia

- 2) W płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny celowania prowadnica jest wygięta na długości 2,3 m według krzywej zbliżonej kształtem do okręgu koła ze strzałką ugięcia 0,65 mm. Zmiany nachylenia wózka przy przejeździe po prowadnicy nie przekraczają 0,7 mm/m, co przy mimośrodku osi celowej interferometru o 1 mm w stosunku do osi podziału łąty może powodować błąd nieprzekraczający 0,4 ppm. Rozkład zmian nachylenia wózka nie całkiem koresponduje z krzywą ugięcia prowadnicy, co oznacza, że na kierunku poprzecznym występują drobne różnice trajektorii wózka w stosunku do prowadnicy, nie mające praktycznego wpływu na dokładność komparacji.
- 3) Maksymalne odchylenie łąty od pozycji pionowej wynosi 1,7 mm/m i może ono powodować błąd odczytu na łącie 1,4 ppm.

Na rysunku 5 pokazano wynikające z danych tablicy 1 wykresy odchyień prowadnicy (1) od pionu i wykresy zmian nachylenia wózka (2) przy przejeździe po prowadnicy.

5. METODYKA BADANIA DOKŁADNOŚCI I SYSTEMATYCZNYCH ODCHYLEK RÓŻNIC WYSOKOŚCI MIERZONYCH NIWELATORAMI CYFROWYMI Z UDZIAŁEM ŁAT KODOWYCH

Na podstawie różnic między odczytami interferometru a przewyższeniami zmierzonymi niwelatorem na łącie należy wyznaczać wartości parametrów A , B z rozwiązania układu równań liniowych¹:

$$N - I + v = A h + B \quad (1)$$

gdzie: $N - I$ [μm] – różnice odczytów niwelatora i interferometru,
 h [m] – miara bieżąca od stopki wzdłuż osi łąty,
 A [$\mu\text{m}/\text{m}$] – parametr określający odchyłkę skali odczytu łąty wyrażoną w układzie metrycznym, (jego wartość różniąca się od zera więcej niż o $\pm 2m_A$ świadczy z prawdopodobieństwem $> 0,95$ o wystąpieniu systematycznej odchyłki różnicy wysokości mie-

¹ Oznaczenia w stosunku do podanych w pracy (Janusz J, Janusz W, Kołodziejczyk M 2003b) częściowo zmieniono w celu lepszego ich dostosowania do opisu komparacji zestawów niwelatorów cyfrowych i łąt kodowych.

rzonej przy użyciu niwelatora cyfrowego i łaty kodowej),

- B [μm] – parametr określający stałą poprawkę (jego wartość jest bez znaczenia dla rozwiązywanego zadania wobec tego, że odczyt zerowy nie może być wykonany w płaszczyźnie stopki łaty, lecz jest wykonywany na początku efektywnie wykorzystanego odcinka podziału).

Podstawowym celem rozwiązywania takiego układu równań liniowych jest obliczenie wartości:

- parametru A ,
- błędu tego parametru $m_A = m_h \sqrt{Q_{AA}}$ (gdzie Q_{AA} – element odwrotności tabeli współczynnikowej rozwiązywanego układu równań normalnych, odpowiadający miejscu wyznaczonej niewiadomej – parametrowi A),
- przypadkowego błędu średniego odczytu dokonanego niwelatorem cyfrowym na łacie kodowej (który odpowiada błędowi równomierności rozmieszczenia kresek podziału łaty tradycyjnych z podziałem z założenia równomiernym); błąd ten obliczamy z wzoru $m_h = \sqrt{[vv]/n_n}$, wyrażonego w układzie metrycznym.

Dokładność wyznaczenia parametru A wyrażoną za pomocą jego błędu średniego m_A jako błędu funkcji zależy od błędu m_h oraz od liczby n i rozmieszczenia miejsc podziału podlegających kontroli (w których mierzy się różnice odczytów niwelatora cyfrowego na łacie kodowej i odczytów interferometru). W przypadku łaty o długości 3 m, której podział sprawdza się na odcinku 0,15–2,85 m w odstępach co 0,1 m, tj. w 28 miejscach, błąd średni parametru A liczony jako błąd funkcji osiąga wartość $0,2 m_h$ [$\mu\text{m}/\text{m}$], natomiast w przypadku łaty o długości 2 m, której podział sprawdza się co 0,1 m na odcinku 0,15–1,85 m, tj. w 18 miejscach, błąd średni parametru A liczony jako błąd funkcji osiąga wartość $0,4 m_h$ [$\mu\text{m}/\text{m}$]. Oczywiście możliwe jest sprawdzanie podziału w znacznie mniejszych odstępach, wskutek czego liczba miejsc sprawdzenia staje się znacznie większa, a błąd m_A liczony jako błąd funkcji staje się znacznie mniejszy. Jednak w praktyce zagęszczenie kontrolowanych miejsc podziału służy jedynie do sprawdzenia, czy podział ten nie jest miejscowo uszkodzony, bowiem zwiększenie dokładności wyznaczenia parametru A spowodowane przez zwiększenie liczby n miejsc sprawdzania jest

iluzoryczne. Można to uzasadnić faktem, że w tym zadaniu występuje bliskie podobieństwo do przypadku wielokrotnego pomiaru tej samej wielkości, gdzie zmniejszenie błędu wyniku średniego, proporcjonalne do pierwiastka z liczby n powtórzeń obserwacji, nie jest nieograniczone – w praktyce można uznać, że ma realne znaczenie przy $n < 25$. Ponadto należy pamiętać, że dokładność komparacji zależy nie tylko od liczby obserwowanych miejsc łąty, ich rozmieszczenia i dokładności odczytów, ale również od omówionych wcześniej imperfekcji geometrycznych komparatora.

Obliczone wartości A , m_h oraz różnice miejsc „0” stopek łąt w komplecie określają wartość metrologiczną podziału łąty kodowej i wartość metrologiczną odczytania łąty przez niwelator cyfrowy i przetworzenia tego odczytu do układu metrycznego.

W praktyce stwierdzenie, iż parametr A przyjął wartość większą od $\pm 50 \mu\text{m/m}$ świadczy o znacznym rozregulowaniu się systemu naciągu taśmy inwarowej, na której naniesiony jest podział, może też świadczyć o uszkodzeniu tej taśmy i jej przygnieceniu do obudowy łąty (przygniecenie taśmy do obudowy łąty powoduje, iż wyznaczony współczynnik rozszerzalności termicznej taśmy inwarowej staje się niemiernodajny do redukcji wyników pomiarów ze względu na różnice temperatury). W przypadku gdy parametr A osiąga wartości uznawane za dopuszczalne, jest on zazwyczaj używany nie tylko do oceny metrologicznej wartości podziału zestawu: niwelator cyfrowy – łąta kodowa, ale również do redukcji wyników pomiarów wykonywanych w terenie.

W literaturze dotyczącej metodyki badania podziału długości łąt, np. (Woschitz H., Brunner FK., Heister H. 2002b), zwraca się uwagę na konieczność uwzględniania wpływu temperatury na zachowanie się taśmy inwarowej, na której jest naniesiony podział łąty. Aby wpływ ten ograniczyć do minimum, należy komparację łąty przeprowadzać w warunkach małej zmienności temperatury, przy jednoczesnym redukowaniu wskazań do ustalonej temperatury komparacji. Z tego powodu w pomieszczeniu laboratorium zainstalowano system klimatyzacji, który utrzymuje w czasie komparacji temperaturę $(+20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Jednocześnie korzysta się z zainstalowanego w interferometrze systemu redukcji wskazań ze względu na nieuniknione drobne różnice temperatury. System ten korzysta z sensorów temperatury mierzących temperaturę powietrza w laboratorium i temperaturę taśmy inwarowej.

6. BADANIE ZESTAWÓW ŁAT KODOWYCH ZA POMOCĄ PRZETWORNIKÓW ICH WSKAZAŃ ORAZ ANALIZA WYNIKÓW

Badaniu poddano:

- 2 łąty kodowe GPCL2 i 2 łąty kodowe GPCL3 współpracujące z przetwornikiem – niwelatorem cyfrowym NA 3003 firmy Leica nr 283 289,
- 8 łąt kodowych LD 13 współpracujących z 3 przetwornikami – niwelatorami cyfrowymi DiNi 11 i 2 łąt kodowych LD 13 z niwelatorem DiNi 12 firmy Zeiss,
- 1 łątę kodową współpracującą z przetwornikiem – niwelatorem cyfrowym DL 101-C firmy Topcon.

6.1. Badanie łąt kodowych GPCL przy użyciu niwelatora cyfrowego NA 3003 firmy Leica

Dwie łąty GPCL2 i dwie łąty GPCL3 należące do EW Żarnowiec, zakupione w roku 2001, zostały skomparowane pierwszy raz w marcu 2003 roku na komparatorze w wersji „ruchomy niwelator cyfrowy – nieruchoma łąta”. łąty te były użyte do pomiarów w roku 2001 i ponownie w roku 2002 do wyznaczania osiadań obiektów elektrowni. Bezpośrednio po zakupieniu tych łąt nie było możliwości skomparowania ich w zestawie z niwelatorem cyfrowym, bowiem wówczas jeszcze taki system komparacji nie istniał w Polsce.

Bezpośrednią przyczyną podjęcia prac nad zaprojektowaniem i zbudowaniem niniejszego systemu stała się właśnie pilna potrzeba sprawdzenia omawianych łąt, bowiem pomiary w EW Żarnowiec dotyczą wyznaczania osiadań ponad 1300 reperów rozmieszczonych w sieci kontrolnej, w której maksymalna różnica wysokości osiąga 130 m, co stwarza duże niebezpieczeństwo wyznaczania osiadań obarczonych wpływem ewentualnego wystąpienia błędów systematycznych podziału.

W roku 2003 łąty zostały skomparowane na komparatorze w wersji „ruchomy niwelator cyfrowy – nieruchoma łąta kodowa” zainstalowanym w poprzedniej siedzibie Zakładu Geodezji Stosowanej IGiK przy ul. Chocimskiej w Warszawie. Komparacje przeprowadzono w dwu odwrotnych położeniach łąt z zastosowaniem inwersu odczytów.

W roku 2004 łąty zostały sprawdzone ponownie, jednak tym razem na komparatorze w wersji „nieruchomy niwelator cyfrowy – – ruchoma łąta kodowa”. W wyniku obu komparacji otrzymano wyniki zestawione w tablicy 2. Różnice wyników obu komparacji wykonanych w odstępie roku okazały się na tyle niewielkie, że w zestawieniu z dokładnością pomiaru różnic wysokości w trudnych warunkach na terenie elektrowni można je uważać za zaniedbywalnie małe – – niewymagające wprowadzania korekt. Jednocześnie te małe różnice wyników są świadectwem wysokiej dokładności wykonania obydwu komparacji (mimo że komparacje wykonano w dwu różnych systemach, tj. z „nieruchomą łątą i ruchomym niwelatorem” oraz z „ruchomą łątą i nieruchomym niwelatorem”).

Tablica 2. Zestawienie porównawcze wyników komparacji

Typ łąty Nr łąty	GPCL3 29 700	GPCL3 29 698	GPCL2 29 638	GPCL2 29 656	Data komparacji
m_{dh} [μm]	10	8	5	7	03.2003
A [$\mu\text{m}/\text{m}$]	12	8	15	6	
m_A [$\mu\text{m}/\text{m}$]	3	2	2	3	
m_{dh} [μm]	7	6	7	7	02.2004
A [$\mu\text{m}/\text{m}$]	12	4	6	7	
m_A [$\mu\text{m}/\text{m}$]	2	2	2	2	

Ponadto na komparatorze w wersji „nieruchomy niwelator cyfrowy – ruchoma łąta kodowa” sprawdzono 2 łąty kodowe GPCL 2 nr 28705, 28706 przy wykorzystaniu niwelatora cyfrowego NA 3000 nr 90650, otrzymując błędy średnie $m_h = 5 \mu\text{m}$ oraz parametry A równe odpowiednio $(3 \pm 2) \mu\text{m}/\text{m}$, $(4 \pm 2) \mu\text{m}/\text{m}$.

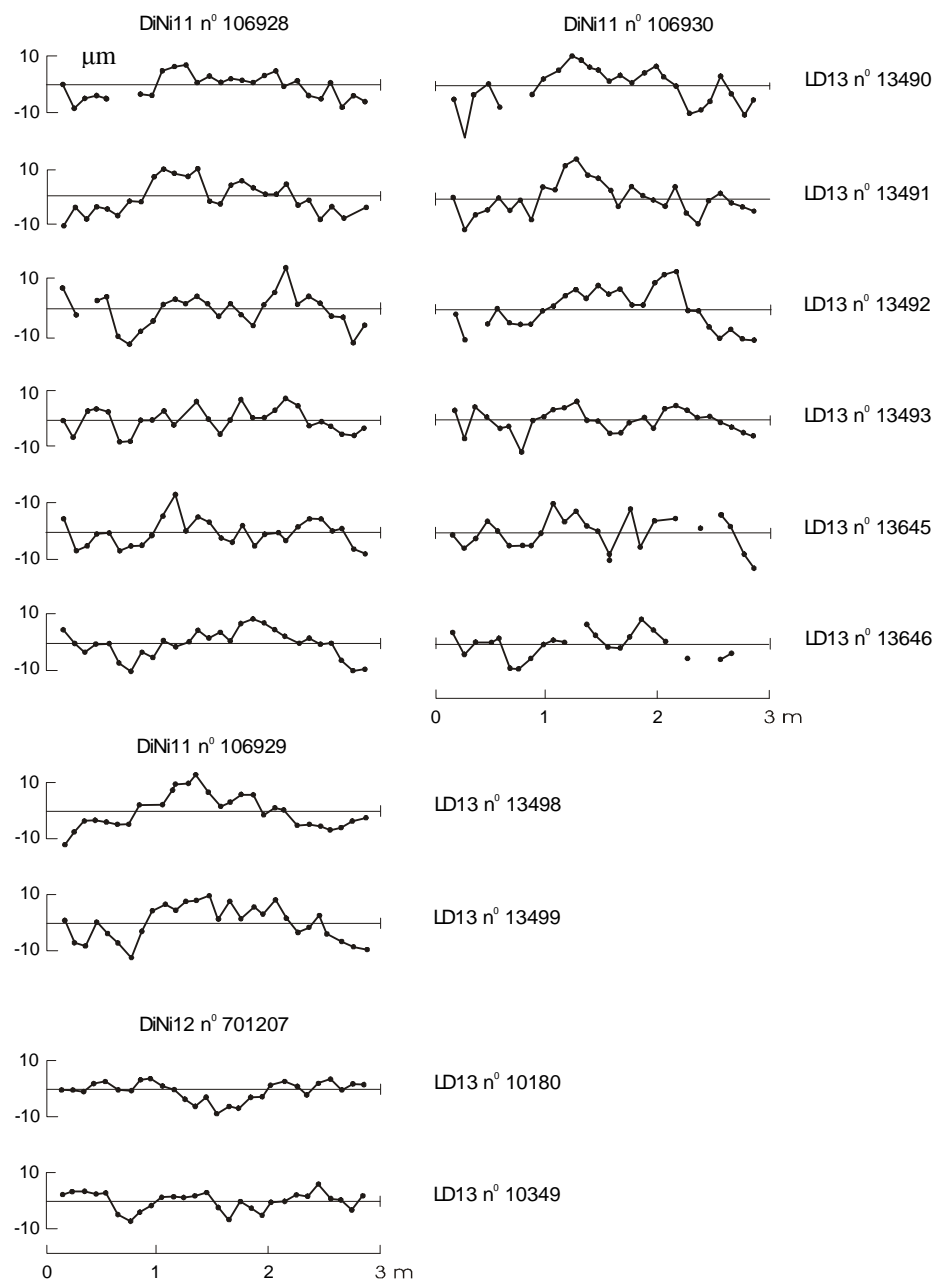
6.2. Badanie łąt LD 13 przy użyciu niwelatorów DiNi firmy Zeiss

W roku 1999 w laboratorium komparacyjnym Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie została wykonana komparacja 6 łąt kodowych LD 13. Komparację wykonano **bez wykorzystania niwelatorów cyfrowych**, na zasadach omówionych w (Pokrzywa A. i in. 2000), tj. przez wyznaczenie rozmieszczenia wszystkich kresk podziału kodowego w układzie metrycznym za pomocą interferometru laserowego na tradycyjnym komparatorze pionowym i obliczenie

długości „metra średniego” w systemie metrycznym przy wykorzystaniu firmowych danych dotyczących kodu zastowanego przy nanoszeniu tych kresek na taśmy inwarowe łąt. Tym samym komparacja ta nie umożliwiła sprawdzenia poprawności działania systemu odczytowego niwelatorów cyfrowych współpracujących z komparowanymi łątami kodowymi.

Tablica 3. Zestawienie wyników pomiarów do komparacji łąt LD 13

Typ niwelatora	DiNi 11										DiNi 12						
	13490		13491		13492		13493		13645 10180		13646		13498- 13499		10180- 10349		
Nr łąty	106- 928	930	928	930	928	930	928	930	928	930	928	930	929	929	701	207	
Data	23		12	26	25	24	25	24	11	26	23	26					2.04
Data		2											3	3	5	5	3.04
[cm]	$N-I$ [µm]																
285	43	29	3	29	16	42	25	35	17	56	51	26	27	38	32		
275	40	34	5	27	24	40	27	34	16	50	50	26	25	37	39		
265	42	25	6	25	14	36	26	31	8	39	45	28	27	22	38	35	
255	33	17	2	21	13	38	22	28	8	33	38	29	26	20	33	32	
245	37	26	7	22	8	33	20	26	4	36	24	12	34	26			
235	34	28	0	31	6	27	21	26	3	36	34	27	23	16	38	32	
225	28	28	2	25	9	26	13	22	6	34	22	16	34	30			
215	29	18	-6	15	-5	11	9	20	12	30	30	15	10	31	33		
205	22	16	-2	21	4	11	12	20	7	28	26	18	14	3	31	32	
195	22	12	-3	18	8	12	15	27	8	28	23	13	16	8	35	36	
185	24	8	-5	16	16	20	14	22	12	37	20	8	7	5	34	34	
175	21	10	-7	12	12	18	6	22	4	21	20	13	6	8	37	31	
165	20	12	-6	19	8	12	14	26	10	30	27	17	8	1	36	37	
155	21	8	1	12	13	12	18	26	8	38	22	16	8	8	38	32	
145	16	8	0	6	8	9	12	20	2	26	22	11	2	-2	31	26	
18	4	-12	4	6	12	4	20	0	22	18	6	-4	0	33	26		
125	10	0	-9	-2	8	8	8	12	5	16	22	-3	-2	30	27		
115	10	-2	-10	0	6	9	12	13	-8	19	22	10	-4	1	26	26	
105	10	2	-12	8	8	12	6	13	-1	11	19	9	2	-2	24	26	
95	18	4	-9	6	14	13	8	16	5	20	24	10	0	0	21	28	
85	16	9	-1	18	18	16	8	17	9	24	20	14	0	8	20	30	
75			-1	10	22	15	15	28	9	23	26	16	6	16	24	33	
65			4	12	20	15	14	18	11	22	22	16	4	10	22	30	
55	14	10	2	7	5	8	2	18	4	16	14	4	2	6	18	22	
45	12	2	1	10	6	12	0	12	4	10	12	4	1	0	18	22	
35	12	4	5	11			0	8	8	16	15	3	0	10	20	20	
25	14	19	1	16	12	16	9	19	10	18	10	8	3	8	19	20	
15	4	4	8	4	2	7	2	8	-2	12	4	-2	7	0		21	



Rys. 6. Wykresy odchylek względem wpasowanych prostych regresji

W październiku 2003 roku przeprowadzono wstępne badania tych łąt na komparatorze IGiK w wersji „ruchomy niwelator cyfrowy – nieruchoma łąta kodowa”. W toku tych badań sprawdzono, jak wpływają na wyniki komparacji miejscowe uszkodzenia podziału łąt oraz czy przy komparacji występują błędy systematyczne, związane z pracą kompensatorów niwelatorów cyfrowych i błędy systematyczne odczytów wykonywanych na zmiennych wysokościach ustawiania niwelatora cyfrowego. Stwierdzono, że dają się zauważyć nieznaczne wpływy błędów kompensatorów i zmiennych warunków środowiska na zróżnicowanych poziomach celowania, choć nie mające większego wpływu na wyniki komparacji. Wobec pojawienia się warunków do zbudowania komparatora w wersji „nieruchomy niwelator cyfrowy – ruchoma łąta kodowa” postanowiono jednak wstrzymać się z przeprowadzeniem dalszych badań łąt, zaprojektować i zrealizować komparator w tej drugiej wersji i dopiero po tym kontynuować badania łąt. Po zbudowaniu w styczniu 2004 roku komparatora w wersji „nieruchomy niwelator cyfrowy – ruchoma łąta kodowa” przeprowadzono na nim próby o charakterze rozpoznawczo–szkoleniowym przy użyciu omawianych łąt, potwierdzając, że unieruchomienie niwelatora cyfrowego przyczyniło się do pewnego podwyższenia dokładności i ograniczenia śladowych przejawów występowania błędów systematycznych komparacji.

W lutym 2004 roku wykonano komparację 8 łąt LD 13 (w tym 6 łąt skomparowanych w roku 1999 w AGH). Komparację wykonano na komparatorze w wersji „nieruchomy niwelator cyfrowy – ruchoma łąta kodowa” z wykorzystaniem 3 niwelatorów DiNi 11 firmy Zeiss. Ponadto w marcu 2004 roku skomparowano 2 łąty LD 13 z wykorzystaniem niwelatora DiNi 12.

Wyniki pomiarów do komparacji tych wszystkich łąt zestawiono w tablicy 3, natomiast wyniki estymacji wyników pomiarów, prowadzącej do obliczenia parametrów prostych regresji, tj. otrzymane poprawki v , błędy m_h , parametry A i błędy m_A , zestawiono w tablicy 4.

Otrzymane rozrzuty zilustrowano na wykresach poprawek v pokazanych na rysunku 6.

Zbiorcze zestawienie wyników komparacji dokonanych w roku 1999 w AGH i komparacji powtórzonych w IGiK w roku 2004 przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 4. Wynik estymacji – poprawki wyrównawcze v [μm] względem wpasowanych prostych regresji

Nr łąty	13-490	13-490	13-491	13-491	13-492	13-492	13-493	13-493	13-645	13-645	13-646	13-646	13-498	13-499	10-180	10-349
Nr niw.	106	928	930	928	930	928	930	928	930	928	930	928	930	929	929	701
	928	930	928	930	928	930	928	930	928	930	928	930	929	929	207	207
285	-5,6	-4,2	-3,4	-4,3	-4,7	-10,7	-2,7	-4,8	-7,4	-12,9	-9,4		-2,3	-10,1	1,9	3,4
275	-3,8	-10,1	-5,5	-3,1	-12,8	-9,8	-5,4	-4,4	-6,6	-8,1	-9,6		-3,4	-8,8	2,1	4,0
265	-7,0	-2,1	-6,5	-1,8	-2,9	-6,8	-5,2	-2,1	1,2	1,7	-5,8	-3,7	-5,4	-6,4	0,3	0,5
255	0,8	5,0	-2,6	1,4	-1,9	-9,8	-1,9	0,2	0,9	6,5	0,0	-5,5	-5,5	-5,0	4,5	2,0
245	-4,4	-4,9	-7,7	-0,4	3,0	-5,8	-0,7	1,5	4,7		0,8		-4,6	2,4	2,8	7,6
235	-2,6	-7,8	-0,7	-10,1	4,9	-0,8	-2,4	0,8	5,4	1,1	1,5		-4,6	-2,3	-2,0	1,1
215	0,0	0,3	5,1	4,4	15,8	13,2	8,1	5,4	-4,0	4,7	3,1	1,3	2,5	3,4	0,8	
205	5,8	1,4	1,1	-2,4	6,7	12,2	4,3	4,8	0,7	5,5	5,9	1,2	1,2	8,8	2,6	-0,3
195	4,6	4,5	2,0	-0,2	2,7	10,2	0,6	-2,9	-0,5	4,3	7,7	5,3	-1,8	3,2	-2,2	-4,7
185	1,4	7,6	3,9	1,1	-5,4	1,2	0,8	1,4	-4,8	-5,8	9,5	9,5	6,1	5,6	-2,0	-3,2
175	3,2	4,6	5,9	4,3	-1,5	2,2	8,1	0,7	3,0	9,0	8,2	3,6	6,1	1,9	-5,8	-0,6
165	3,0	1,7	4,8	-3,5	2,5	7,2	-0,7	-4,0	-3,2	-1,2	0,0	-1,2	3,0	8,3	-5,6	-7,1
155	0,8	4,8	-2,2	2,8	-2,6	6,2	-5,4	-4,7	-1,5	-10,4	3,8	-1,1	2,0	0,7	-8,4	-2,6
145	4,6	3,8	-1,3	8,0	2,4	8,2	-0,2	0,6	4,3	0,4	2,6	3,0	6,9	10,0	-2,2	3,0
135	1,4	6,9	10,6	9,2	4,3	4,2	7,1	-0,1	6,0	3,2	5,4	7,2	11,8	7,4	-5,0	2,5
125	8,2	10,0	7,6	14,5	2,2	7,2	2,3	7,2	0,8	8,0	0,2	9,8	8,8	-2,7	1,1	
115	7,0	11,1	8,5	11,7	4,2	5,2	-2,4	5,6	13,6	3,8	-1,0	1,5	9,7	5,2	0,5	1,6
105	5,8	6,2	10,4	3,0	2,1	1,2	2,8	4,9	6,3	10,6	0,8	1,6	2,7	7,5	1,7	1,2
95	-3,4	3,2	7,4	4,2	-4,0	-0,8	0,1	1,2	0,1	0,4	-5,5	-0,2	3,6	4,9	3,9	-1,3
85	-2,6	-2,7	-0,7	-8,6	-8,0	-4,8	-0,7	-0,5	-4,2	-4,8	-2,7	-5,1	2,6	-3,7	4,1	-3,8
75			-0,8	-1,3	-12,1	-4,8	-8,4	-12,2	-4,4	-5,0	-9,9	-8,0	-4,5		-0,7	-7,2
65			-5,8	-4,1	-10,2	-5,8	-8,2	-2,9	-6,6	-5,2	-7,1	-8,8	-3,5	-7,0	0,5	-4,7
55	-4,2	-6,5	-3,9	0,2	4,8	0,2	3,1	-3,6	0,1	-0,4	-0,3	2,3	-2,6	-3,6	3,7	2,8
45	-3,4	0,6	-3,0	-3,6	3,7	-4,8	4,3	1,7	-0,1	4,4	0,5	1,5	-2,6	1,7	2,9	2,4
35	-4,6	-2,3	-7,0	-5,4			3,6	5,1	-4,4	-2,8	-3,8	1,6	-2,7	-8,9	0,1	3,9
25	-7,8	-18,2	-3,1	-11,1	-2,4	-10,8	-6,2	-6,6	-6,6	-6,0	0,0	-4,2	-6,8	-7,5	0,4	3,5
15	1,0	-4,2	-10,2	0,1	7,5	-2,8	0,1	3,7	5,2	-1,1	4,8	4,9	-11,8	-0,2		2,0
A [$\mu\text{m}/\text{m}$]	12	9	1	8	1	10	7	7	2	12	12	9	11	6	8	5
m_A [$\mu\text{m}/\text{m}$]	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
m_h [μm]	5	7	6	6	7	7	5	5	5	6	5	5	6	7	3	4

Tablica 5. Zestawienie porównawcze wyników komparacji

Nr łąty LD13	13490	13491	13492	13493	13498	13499	Miejsce i data komp.
A	10,3±6,5	11,7±6,5	11,6±6,5	10,7±6,5	10,7±6,5	11,6±6,5	AGH 1999
A (niw.106928)	12±1	1±1	1±2	7±1			IGiK 2004
A (niw.106930)	9±2	8±1	10±2	7±1			2004
A (niw.106929)					11±1	6±2	2004

6.3. Badanie łąty kodowej z wykorzystaniem niwelatora firmy Topcon

W maju 2004 roku sprawdzono 1 łątę kodową nr 16260 współpracującą z niwelatorem cyfrowym DL 101-C nr NJ0054 firmy Topcon. W wyniku otrzymano wartość parametru $A = (7 \pm 1) \mu\text{m/m}$ i błąd średni odczytu na łącie $m_h = 4 \mu\text{m}$. Biorąc pod uwagę fakt, że łąta ta jest eksploatowana od 7 lat, uzyskany wynik komparacji należy uznać za świadczący o bardzo dobrej stabilności długości podziału łąty i stabilności systemu jej odczytywania i przetwarzania odczytów do systemu metrycznego przez niwelator DL 101-C firmy Topcon.

7. BADANIE SKUTKÓW USZKODZEŃ PODZIAŁU NA ŁATACH KODOWYCH

Jak wspomnieliśmy we wstępie, konieczne jest komparowanie łąt kodowych z wykorzystaniem pracującego z nimi w komplecie niwelatora cyfrowego, bowiem nie jest wystarczające stwierdzenie, że kreski łąty są rozmieszczone poprawnie lub z systematyczną odchyłką skali umożliwiającą dokonywanie redukcji. Chodzi również o to, aby sprawdzić, czy niwelator „jest zdolny” do prawidłowego odczytania zakodowanego podziału i wyrażenia odczytu w systemie metrycznym. Szczególnie istotne jest stwierdzenie, czy zautomatyzowany system niwelatora, służący do odczytywania i przetwarzania odczytów do systemu metrycznego, nie podlega „złudzeniom optycznym”, które mogą wynikać z pojawienia się na powierzchni podziału łąty, w polu widzenia wbudowanej do niwelatora kamery CCD, dodatkowych obrazów, wynikających z częściowego zacielenia łąty, odbłasków i zabrudzeń lub uszkodzeń podziału.

Oczywiście konsekwencji pojawienia się tego rodzaju uszkodzeń podziału nie można wykryć podczas komparacji łąt kodowych dokonywanych na tradycyjnym komparatorze bez wykorzystania niwelatora cyfrowego, jedynie przez pomiar rozmieszczenia wszystkich kresk podziału i wykorzystanie informacji o kodzie zastosowanym przez producenta łąt, na zasadach opisanych w (Pokrzywa A., Mróz J., Szczutko T. i in. 2000).

Oględziny jednego z badanych kompletów łąt LD13 nr 013490, 013491 wykazały uszkodzenia podziału pokazane na zdjęciach (rys. 7, 8).

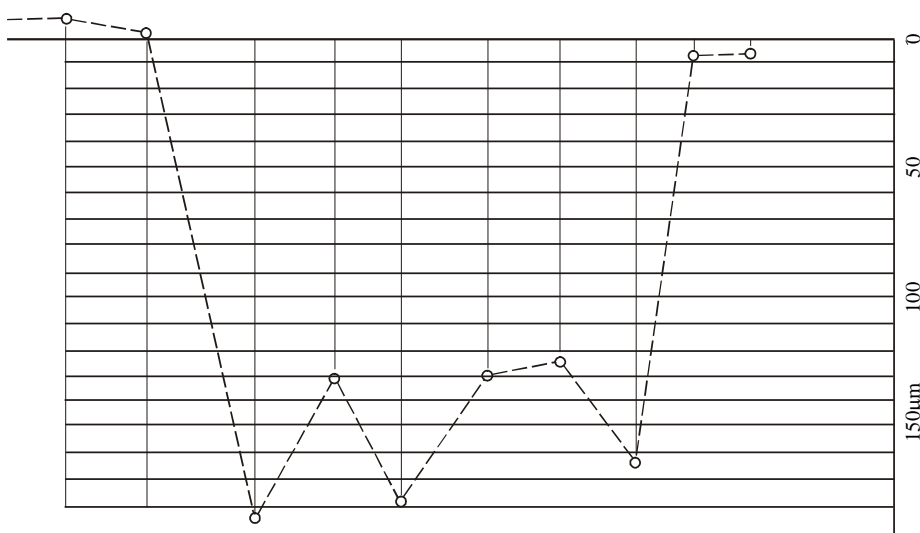
Na zdjęciach widoczne są fragmenty ruletki rozciągniętej wzdłuż podziałów łąt, na których można odczytać odległości miejsc uszkodzenia podziału od stopek łąt. W literaturze (Woschitz H., Brunner F.K., Heister H. 2002b) wskazano, że tego rodzaju uszkodzenia mogą wywoływać znaczne odskoki wyników pomiarów dokonywanych z odczytami w strefach uszkodzeń podziału na łątach, znajdujących się w polu widzenia kamery CCD niwelatora cyfrowego. W związku z tym wykonaliśmy serie odczytów łąt i interferometru przy nieznacznych, kilkucentymetrowych przesunięciach wózka (2) w strefie nacelowań niwelatorem na łąty, w których widoczne były uszkodzenia. W rezultacie otrzymaliśmy wykresy odchyłek pokazane na rysunkach 7a, 8a.

Uszkodzenia podziału łąty nr 013490, pokazane na rysunku 7b, znajdują się w strefie odczytów ruletki 66,3–69,4 cm. Spowodowały one wystąpienie znacznych odchyłek odczytów o wartościach w granicach 120–185 μm w przedziale podziału łąty 65,3 – 72,1 cm. Odchyłki te są pokazane na rysunku 7a. Znamienne jest, że strefa podziału łąty, w której zaobserwowano duże odchyłki jest usytuowana asymetrycznie w stosunku do miejsc uszkodzeń. Przeprowadzone badanie wskazuje, że pomiary z użyciem tej łąty powinny być dokonywane tak, aby unikać nacelowań w sektorze o szerokości 8 cm między odczytami 65–74 cm.

Uszkodzenia podziału łąty nr 013491 pokazane na rysunku 8b znajdują się w strefie odczytów ruletki 36,8–37,3 cm. Są one znacznie mniejsze i obejmują mniejszy fragment podziału, aniżeli uszkodzenia podziału łąty 013490. Wykres odchyłek, pokazany na rysunku 8a, wykazuje też znacznie mniejszy wpływ tych uszkodzeń na poprawność wyników pomiarów wykonywanych z odczytywaniem podziału łąty w strefie widoczności uszkodzeń.

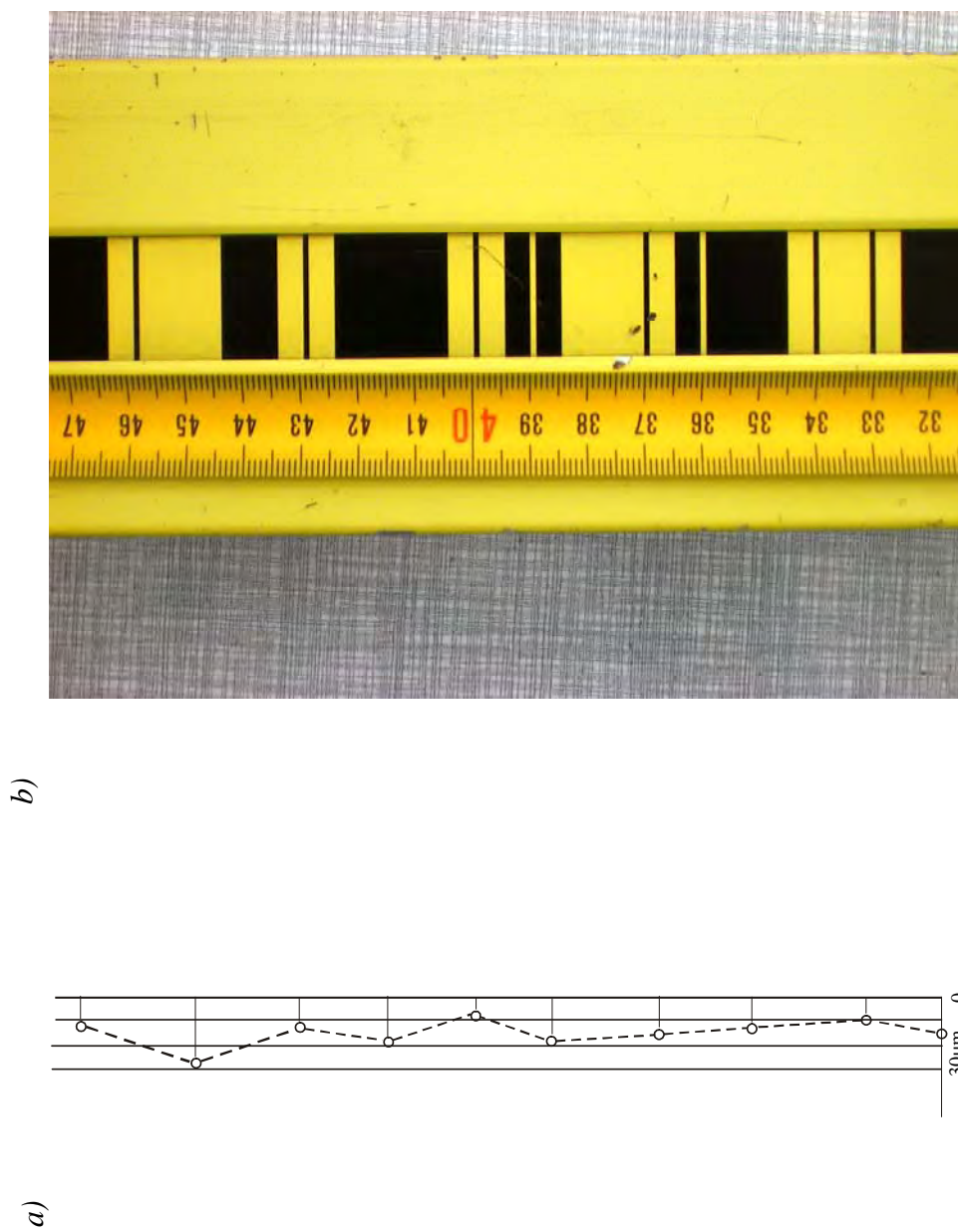


b)



a)

Rys.7. Wykres odchyłek odczytów łań LD13 nr 013490 w strefie otaczającej uszkodzenia podziału



Rys.8. Wykres odchyłek odczytów łaty LD13 nr C 3491 w strefie otaczającej uszkodzenia podziału

Z tego badania wynika generalny wniosek, że w przypadku gdy łąta ulegnie uszkodzeniu polegającemu na zatarciu lub zabrudzeniu fragmentu podziału, należy:

- 1) możliwie szybko sprawdzić laboratoryjnie skutki celowania w strefie otaczającej miejsca uszkodzeń i ustalić granice strefy, w której odczyty nie powinny być dokonywane;
- 2) jeśli nie ma możliwości natychmiastowego sprawdzenia w laboratorium skutków celowania w strefie otaczającej miejsca uszkodzeń podziału, to dalsze pomiary powinny być dokonywane z wyłączeniem z celowania strefy znacznie szerszej, równej co najmniej szerokości sektora widoczności łąty przez kamerę CCD niwelatora cyfrowego.

Według (Woschitz H., Brunner F.K., Heister H. 2002b) dla łąt i niwelatorów firmy Leica strefa widoczności podziału przez kamerę CCD mieści się w granicach $\pm 2^\circ$, zaś dla łąt i niwelatorów firmy Topcon w granicach $\pm 1,2^\circ$. W przypadku niwelatorów firmy Zeiss szerokość ta wynosi ± 15 cm niezależnie od odległości celowania.

8. WNIOSKI

Tytuł niniejszej pracy został opatrzony słowami „wstępne badanie”, bowiem badania zestawów łąt kodowych z użyciem niwelatorów cyfrowych nie są zakończone i trwają nadal. Na opublikowanie wyników badań dotychczasowych, jakkolwiek dotyczących niewielkiej liczbie próby skontrolowanych zestawów łąt i niwelatorów, zdecydowaliśmy się z tego powodu, że już obecnie zarysowało się na ich podstawie kilka istotnych wniosków i informacji dla użytkowników. Oto one:

- 1) Zastosowany komparator zestawów łąt kodowych i niwelatorów cyfrowych w wersji “nieruchomy niwelator cyfrowy – ruchoma łąta kodowa” wykazał realną możliwość wykonywania niwelatorem na łącie odczytów z błędami średnimi w granicach 3–7 μm (mimo, że odczyty wykazywane są przez niwelator do 10 μm), co oznacza możliwość wyznaczenia odchyłki systematycznej A „metra średniego” łąty kodowej z błędem rzędu 2–3 $\mu\text{m}/\text{m}$ (błąd średni parametru A liczony jako błąd funkcji osiąga przy sprawdzaniu łąty 3 m w odstępach co 0,1 m wartość m_A rzędu 1–2 $\mu\text{m}/\text{m}$, lecz przy ocenie realnej dokładności

komparacji uwzględniono tu również wpływ nieznacznych imperfekcji geometrycznych konstrukcji komparatora).

- 2) Wyznaczone odchyłki A sprawdzonych dotychczas łąt kodowych pracujących w zestawach z niwelatorami cyfrowymi firm Leica NA 3000, NA 3003, niwelatorami Zeiss DiNi 11, DiNi 12 i niwelatorem Topcon DL 101-C nie przekroczyły $15 \mu\text{m/m}$, przy czym wystąpiły one ze znakiem $+$, co oznacza, że taśmy inwarowe w tych łątach były naciągnięte z siłą nieznacznie mniejszą od nominalnej, przy której $A = 0$; tak małe stwierdzone odchyłki systematyczne długości podziału świadczą dobrze zarówno o dokładności wykonania podziałów łąt i systemu ich odczytywania przez niwelator, jak i o dobrej ich stabilności w czasie.
- 3) Wśród sprawdzonych łąt i niwelatorów były egzemplarze względnie nowe i mało eksploatowane oraz egzemplarze eksploatowane dosyć intensywnie w okresie dochodzącym do 7 lat. Wskazuje to na bardzo dobrą stabilność podziałów łąt kodowych i systemów ich automatycznego odczytywania i przetwarzania odczytów do systemu metrycznego przez niwelatory cyfrowe.
- 4) Przy użyciu komparatora kontrolującego poprawność pracy zestawów łąta kodowa – niwelator cyfrowy możliwe stało się liczbowe określenie wpływu uszkodzeń rysunku podziału na łątach kodowych na błędy automatycznego dokonywania odczytów i określenie szerokości stref otaczających miejsca uszkodzeń podziału, w których odczytów nie należy wykonywać.
- 5) Z badań dotyczących wad obrazu podziału łąt wynikają zalecenia, aby przy pomiarach unikać ustawiania łąt w miejscach o „przesianym cieniu” lub miejscach, w których na obraz łąty nakłada się nierównomierne oświetlenie i rozbłyski wywołane odbiciem promieni słonecznych i innych. Z tego powodu w momencie wywołania odczytu należy obserwować łątę przez lunetę niwelatora! Należy pracować łątami, których podział jest na bieżąco oczyszczany z zabrudzeń (np. zachlapania przez przejeżdżające pojazdy). Stwierdzono, że takie zjawiska mogą wypaczać odczyty w granicach kilku dziesiątych części milimetra.

9. ZALECENIA

W pierwszej kolejności przed rozpoczęciem pomiarów każdego dnia należy wykonać przegląd stanu łąt, zwracając uwagę przede wszystkim na:

- wygięcia i wgniecenia drewnianego lub metalowego korpusu łąty, zwłaszcza w strefie przylegania do niej taśmy inwarowej,
- ewentualne poluzowania śrub mocujących obsadę stopki i obsadę systemu naciągu taśmy inwarowej,
- zarysowania i zabrudzenia zakodowanego rysunku kresek naniesionych na taśmie inwarowej,
- odchylenia pęcherzyka libeli sferycznej od położenia środkowego przy pionowym ustawieniu korpusu oraz różnice ustawienia pęcherzyków, gdy łąta jest zaopatrzona w dwie libele sferyczne,
- odchylenia płaszczyzny stopki od poziomu przy pionowym ustawieniu korpusu.

Nie należy otwierać zaplombowanego systemu naciągowego, natomiast w przypadku stwierdzenia znacznych wygięć i wgnieceń korpusu należy oddać łątę do serwisu, w celu sprawdzenia, czy w systemie naciągowym są zachowane niezbędne luzy taśmy. W przypadku dokonywania korekt siły naciągu taśmy w serwisie, należy po nich każdorazowo przeprowadzić komparację łąty.

W przypadku trwałego, miejscowego uszkodzenia rysunku podziału łątę kodową i niwelator cyfrowy należy oddać do sprawdzenia na komparatorze w celu ocenienia wartości odchyłek odczytów tym spowodowanych oraz wyznaczenia strefy podziału, która powinna być przy dalszych pomiarach wyłączona z nacełowań.

LITERATURA

- Feist W.K., Gurtler T., 1995, *Die neunten Digitalnivelliere DiNi10 und DiNi20*. Vermessungswesen und Raumordnung 57/2.
- Ingensand H., 1990, *The Wild NA2000, the first digital level in the world*. AVN 6, June 1990.
- Ingensand H., 1999, *The evolution of digital leveling techniques – limitations and new solutions. The importance of heights*. Gavle, Sweden.
- Janusz J., 1998, *Metody i urządzenia do terenowej kontroli precyzyjnych łąt niwelacyjnych*. IV sympozjum “Problemy podstawowych sieci geodezyjnych”, Warszawa.

- Janusz W., Janusz J., Kołodziejczyk M., 2003 a, *Komparator lat kodowych*. Geodeta 9.
- Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., 2003 b, *Wzorcowanie niwelatorów cyfrowych i lat kodowych oraz lat z podziałem równomiernym. a) System komparacji lat kodowych opracowany w IGiK w Warszawie. b) Terenowy komparator lat do niwelacji precyzyjnej*. Seria monograficzna nr 7, Warszawa, IGiK.
- Jastrzębski S., 2003, *Badanie możliwości zastosowania niestandardowych rozwiązań instrumentalnych w monitorowaniu przemieszczeń pionowych*. Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej. Warszawa 27–28.03.2003.
- Lizończyk M., Malarski R., Sadowska A., 1997, *Niwelator cyfrowy DiNi 10 i próba jego zastosowania do pomiarów przemysłowych*. Przegląd Geodezyjny 11.
- Margański S., 1996, *Badania laboratoryjne niwelatora Wild NA 2000 firmy Leica*. Przegląd Geodezyjny 4.
- Margański S., 2001, *Laboratoryjne badania niwelatora kodowego DiNi 12 firmy Zeiss*. Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej. Warszawa, 29-30.03.2001.
- Maurer W., Schnadelbach K., 1993, *Bestimmung der Systemgenauigkeit der digitalen Niveliere NA2000/NA3000*. In Festschrift Schelling. Mitt.Geod.Inst.TU Graz, 78.
- Maurer W., Schnadelbach K., 1995, *Laserinterferometry – Ten years experience in calibrating invar leveling staffs*. I symp.appl.laser techniques in geodesy and mine surveying. Ljubliana, Sept., 9 p. *Niwelacja precyzyjna*. Praca zbiorowa, 1993, Warszawa PPWK.
- Reitchofer A., 1993, *Überprüfung des Digitalniveliersystems Wild3000/GPCL*. Festschrift Schelling. Mitt. Geod.Inst. Graz, 78.
- Rueger J.M., Brunner F.K., 2000, *On System Calibration and Type Testing of digital Levels*. Zeitschrift für Vermessungswesen, 4.
- Pokrzywa A., Mróz J., Szczutko T. i in., 2000, *Technologia kompleksowego sprawdzania lat niwelacyjnych z wykorzystaniem interferometru laserowego HP5529A*. Geodezja, t.6, z.1.
- Woschitz H., Brunner F.K., 2002a, *System Calibration of Digital Levels – Experimental Results of Systematic Effects*. 2nd Conference of Engineering Surveying, Bratislava, Nov. 2002 a.
- Woschitz H., Brunner F.K., Heister H., 2002 b, *Scale determination of digital levelling system using a vertical comparator*. Proceedings FIG XXII Congress Washington, April 2002 a.

Takalo M., Rouhianen P., 2002: *On System Calibration of Digital Levels*. Proceedings of the 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission. Espoo, Finland 1–5 Oct. 2002.

Takalo M., Rouhianen P., 2004, *On System Calibration of Digital Level*. Ingerieurvermessung 2004 – 14th International Course on Engineering Surveying ETH Zurich.

*JERZY JANUSZ
WOJCIECH JANUSZ
ANDRZEJ KALIŃSKI
MIECZYŚLAW KOŁODZIEJCZYK
ANDRZEJ TORUŃSKI*

PRELIMINARY EXAMINATION OF SETS OF CODE
STAFFS WITH THE USE OF DIGITAL LEVELS
ON IGiK COMPARATOR IN VERSION
“FIXED LEVELLING INSTRUMENT – MOVABLE STAFF”

S u m m a r y

Calibration of code staffs should be done with the use of laser interferometer and digital level, which is utilized for field measurements applying the calibrated staffs, as not only staff graduation is checked, but ability of self-dependent, correct measurements and conversion to metric system by leveling instrument is also verified.

Calibration can be done on comparator in version “movable digital level – fixed code staff”, constructed at the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw in March 2003, when there was no adequately high laboratory to move staffs vertically. Such a comparator was described in IGiK Proceedings (J. Janusz, W. Janusz, M. Kolodziejczyk, 2003a,b).

In January 2004, at new laboratory, which enables to move staffs vertically, new comparator in version “fixed digital level – movable code staff” was constructed at the Institute of Geodesy and Cartography.

Construction of this comparator and results of comparative examinations of both versions were described in the presented work. It was found, that using comparator in version “fixed digital level – movable code staff” it is possible to obtain higher precision of calibration, because level’s readouts are not affected with changes of comparator position and with variable refraction distortions of axis of collimation, while aiming telescope at different levels.

The results of calibration for the following code staffs were discussed:

- 8 LD 13 code staffs with the use of Zeiss DiNi 11 and DiNi 12 digital levels;
- 2 GPCL2 code staffs and 2 GPPCL3 code staffs with the use of Leica NA 3003 digital level, as well as 2 GPCL2 code staffs using Leica NA 3000 digital level;
- one code staff with the use of Topcon DL 101-C digital level.

It was found, that readouts on staffs can be done with mean errors 3–7 μm , while A coefficient of systematic error can be determined with mean error $m_A = 1 - 3 \mu\text{m}/\text{m}$. At the same time it was found, that A coefficient, which characterizes deviation of the average meter of graduation, did not exceed for all checked staffs 15 $\mu\text{m}/\text{m}$, although some of these staffs were intensively exploited for about 7 years.

In the course of examination of LD 13 staffs with the use of DiNi 11 level it was found, that staff graduation can be affected locally with great errors, around 0,2 mm, while aiming at fragment of graduation, which is permanently damaged by its scratching or uncleanness. Some examples were given, how to determine on comparator with the use of digital level those fragments of staff graduation around damages, which should not be taken for readouts.

Translation: Zbigniew Bochenek