

ZASTOSOWANIE PIONOWNIKA LASEROWEGO DO BADAŃ PROSTOLINIOWOŚCI OBIEKTÓW WYDŁUŻONYCH

Janusz Kuchmister¹, Kazimierz Ćmielewski¹, Piotr Gołuch¹,
Krzysztof Kowalski²

¹ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

² Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej we Wrocławiu

Streszczenie. W pracach geodezyjnych dotyczących wyznaczenia prostoliniowości obiektów wydłużonych często stosowana jest metoda stałej prostej, która wymaga ustawienia instrumentu nad zadanym punktem. Do realizacji tego zadania można wykorzystać prawidłowo zrektyfikowany pionownik laserowy.

W przypadku każdego instrumentu parametrem charakterystycznym jest minimalna długość celowej, która ogranicza usytuowanie punktów pomiarowych. W warunkach panujących na obiektach inżynierskich często nie ma możliwości odsunięcia instrumentu od badanego obiektu. Wówczas początkowe punkty pomiarowe mogą być zmierzone dopiero po ustawieniu instrumentu na końcowym punkcie stałej prostej.

W przedstawionej w referacie metodzie pomiaru położenia punktów względem określonej stałej prostej zastosowano wiązkę światła laserowego emitowanego przez pionownik laserowy tachimetru Leica TC407. W celu użycia wiązki laserowej pionownika do pomiaru metodą stałej prostej punktów zlokalizowanych w odległości od zera do kilkunastu metrów od stanowiska instrumentu zastosowano dodatkowe oprzyrządowanie: lustro kolimacyjne, przetwornik CCD z przystawką i komputer.

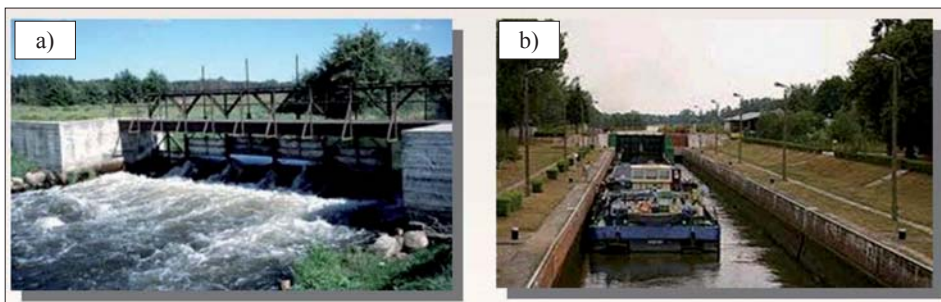
W referacie autorzy prezentują koncepcję metody oraz wyniki wstępnych prac testowych zrealizowanych na laboratoryjnej bazie długościowej. Prace badawcze wykazały, że w przypadku odległości punktów pomiarowych: 1, 2, 4, 8 i 12 m od instrumentu uzyskano odpowiednio następujące odchylenia standardowe: od $\pm 0,03$ do $\pm 0,08$ mm.

Słowa kluczowe: pionownik laserowy, pomiary inżynierskie obiektów wydłużonych, kamera CCD

WSTĘP

Do wyznaczenia prostoliniowości obiektów wydłużonych można wykorzystać następujące geodezyjne metody wyznaczania przestrzennego położenia punktów: strunowa, laserowa, dyfrakcyjna, optyczna, przecięć kierunków oraz wcięć kątowych [Bryś, Przewłocki 1998, Wanic 2007].

Metoda optyczna to najpopularniejsza aliniometryczna metoda wyznaczenia położenia punktów, stosowana zarówno w tradycyjnych pomiarach geodezyjnych, jak i pomiarach specjalnych [Ćmielewski 2007], obejmujących obiekty i urządzenia mechaniczne oraz hydrotechniczne, np. jazy czy śluzy (rys. 1). Metoda ta wymaga ustawienia instrumentu nad zadanym punktem, natomiast do sygnalizowania punktów reprezentujących badany obiekt używa się specjalnego dodatkowego oprzyrządowania [Pelzer 1988].



Rys. 1. Przykładowe obiekty inżynierskie, gdzie stosowane są pomiary aliniometryczne: a) jaz, b) śluza

Fig. 1. Examples of engineering objects, where the linearity measurements are used: a) weir, b) floodgate

Podczas pomiarów inwentaryzacyjnych obiektów inżynierskich metodą aliniometryczną występują poniższe błędy [Pelzer 1988, Wanic 2007]: centrowania instrumentu oraz tarczy (celu) na punktach osnowy, zorientowania pionowej płaszczyzny odniesienia na tarczę (cel), odczytu na podziałce łąty, pomiaru odchylenia od prostej na skutek nieprostokątnego ustawienia podziałki łąty do prostej odniesienia oraz położenia punktu kontrolowanego na obiekcie.

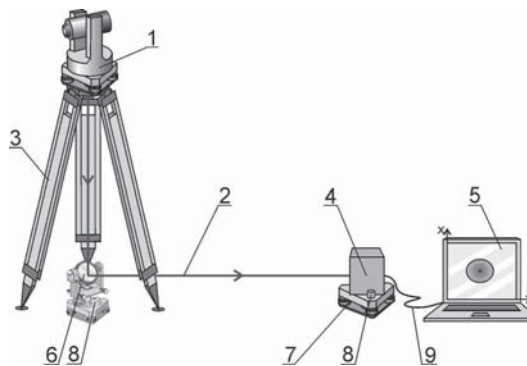
W przypadku każdego instrumentu parametrem charakterystycznym jest minimalna długość celowej, która ogranicza usytuowanie punktów pomiarowych. W warunkach panujących na obiektach inżynierskich często nie ma możliwości odsunięcia instrumentu od badanego obiektu. Wówczas początkowe punkty pomiarowe mogą być pomierzone dopiero po ustawieniu instrumentu na końcowym punkcie stałej prostej. Do realizacji tego zadania można wykorzystać prawidłowo zrektyfikowany pionownik laserowy.

IDEA METODY POMIARU

Do pomiaru położenia punktów względem ustalonej „stałej prostej”, autorzy wykorzystali wiązkę światła laserowego emitowanego przez pionownik laserowy tachimetru Leica TC407. W celu zastosowania wiązki laserowej pionownika do pomiaru metodą „stałej

prostej” punktów zlokalizowanych w odległości od zera do kilkunastu metrów od stanowiska instrumentu użyto dodatkowego oprzyrządowania. W skład dodatkowego oprzyrządowania (rys. 2) wchodzi: lustro kolimacyjne (6), przetwornik CCD z przystawką (4) i komputer (5). Emitowana przez pionownik instrumentu (1) wiązka światła laserowego (2), po odbiciu od zwierciadła pada na powierzchnię przetwornika CCD, następnie poprzez linię transmisyjną kierowana jest do komputera, gdzie jest widoczna w postaci plamki na ekranie monitora. Wyposażenie spodarek zwierciadła i przetwornika CCD w libelle umożliwia właściwe ustawienie w przestrzeni płaszczyzny zwierciadła i ekranu kamery CCD. Osadzenie zwierciadła autokolimacyjnego (rys. 2) w korpusie, który zaopatrzone jest w zaciski i śruby ruchu leniwego, umożliwia precyzyjne pochylenie i obrót płaszczyzny zwierciadła, dzięki czemu wiązka laserowa kierowana jest we właściwym kierunku – na powierzchnię ekranu kamery przetwornika CCD. Połączony z kamerą CCD komputer pozwala w czasie rzeczywistym obserwować i rejestrować obraz plamki lasera padającej na ekran projekcyjny (rys. 3). Dzięki temu można wizualnie lub z pomocą odpowiedniego programu pozycjonować obraz plamki w lokalnym układzie współrzędnych ekranu.

Prace badawczo-pomiarowe weryfikujące koncepcję opracowanej metody zostały zrealizowane na laboratoryjnej bazie długościowej.



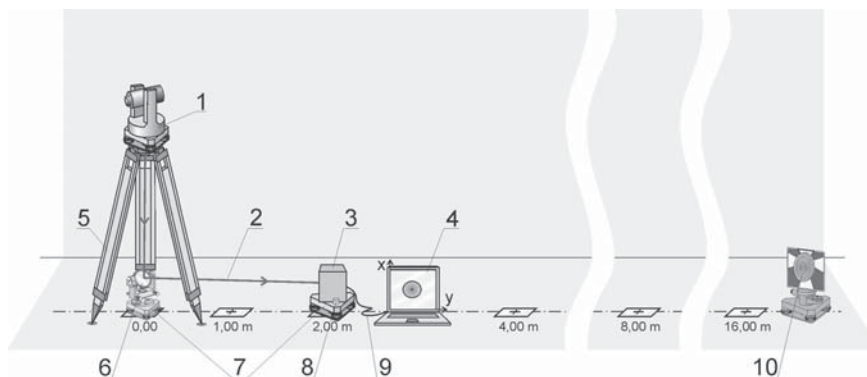
Rys. 2. Wzajemne usytuowanie elementów zestawu pomiarowego [Ćmielewski et al. 2011]
Oznaczenia: 1. tachymetr z pionownikiem laserowym, 2. wiązka laserowa pionownika, 3. statyw, 4. przetwornik CCD, 5. notebook, 6. lustro kolimacyjne, 7. spodarka, 8. libella, 9. przewód transmisyjny

Fig. 2. The kit components location of the measuring
Sign: 1. measuring instrument; 2. beam of laser plummet, 3. tripod, 4. CCD transducer, 5. notebook, 6. autocollimation mirror, 7. tribrach, 8. level, 9. transmission line

Do realizacji pomiarów prostoliniowości z użyciem pionownika można zestawić przyrządy i urządzenia w sposób przedstawiony na rysunkach 3 i 4. Wariantowe zestawienie przyrządów umożliwia wykonanie pomiarów dwoma sposobami.

Zestaw pomiarowy – sposób I

W pierwszym sposobie, po spoziomowaniu i ukierunkowaniu wiązki na tarczę (10) umieszczoną na końcu linii pomiarowej, kamerę z przetwornikiem CCD (3) należy ustawić na kolejnych punktach pomiarowych i rejestrować obrazy plamki laserowej widoczne na monitorze komputera. Zagadnienie to zostało szczegółowo przedstawione w publikacji [Ćmielewski et al. 2011].

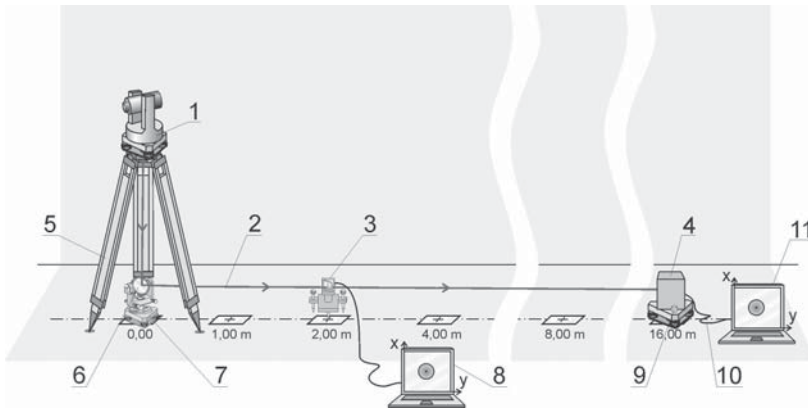


Rys. 3. Usytuowanie elementów zestawu pomiarowego na bazie długościowej – sposób I
Oznaczenia: 1. tachymetr z pionownikiem laserowym, 2. wiązka laserowa pionownika, 3. przetwornik CCD, 4. notebook, 5. statyw, 6. zwierciadło, 7. spodarka, 8. libella, 9. przewód transmisyjny, 10. tarcza celownicza

Fig. 3. The kit components location of the measuring on the length base – method I
Sign: 1. measuring instrument, 2. beam of laser plummet, 3. CCD transducer, 4. notebook, 5. tripod, 6. autocollimation mirror, 7. tribrach, 8. level, 9. transmission line, 10. target plate

Zestaw pomiarowy – sposób II

W drugim sposobie pomiaru (rys. 4), dzięki zastosowaniu odpowiedniej konstrukcji pomiarowego odbiornika fotodetekcyjnego (3), część wiązki laserowej kierowana jest na ekran kontrolnego odbiornika fotodetekcyjnego (4). W związku z tym, część wiązki laserowej (3) po skierowaniu na matrycę kamery CCD służy do oceny położenia punktów pomiarowych. Natomiast druga część kierowana jest bezpośrednio na ustawiony na punkcie końcowym kontrolny odbiornik fotodetekcyjny (4), który służy do sprawdzenia stałości położenia wiązki laserowej podczas wykonywania pomiaru na kolejnych punktach pomiarowych.

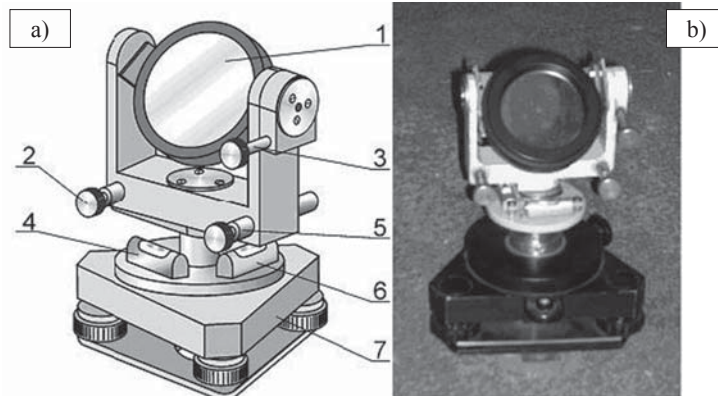


Rys. 4. Usytuowanie elementów zestawu pomiarowego na bazie długościowej – sposób II
Oznaczenia: 1. tachymetr z pionownikiem laserowym, 2. wiązka laserowa pionownika, 3. odbiornik pomiarowy fotodetekcyjny, 4. kontrolny odbiornik fotodetekcyjny, 5. statyw, 6. zwierciadło, 7. spodarka, 8. i 11. notebooki, 9. libella, 10. przewód transmisyjny

Fig. 4. The kit components location of the measuring on the length base – method II
Sign: 1. measuring instrument, 2. beam of laser plummet, 3. CCD transducer, 4. supervisory receiver set – CCD transducer, 5. tripod, 6. autocollimation mirror, 7. tribrach, 8. and 11. notebooks, 9. level, 10. transmission line

ELEMENTY ZESTAWU POMIAROWEGO

Na rysunkach 5, 6 i 7 przedstawiono schematycznie oraz na przykładzie wykonania główne elementy zestawu pomiarowego.

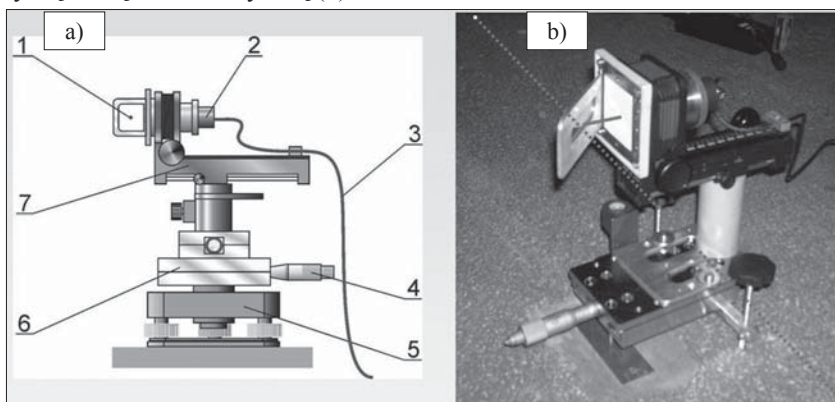


Rys. 5. Widok zwierciadła autokolimacyjnego zastosowanego w zestawie pomiarowym: a) schemat, b) przykład wykonania

Oznaczenia: 1. zwierciadło autokolimacyjne, 2. śruba mikroruchu poziomego zwierciadła, 3. śruba sprzęgu osi obrotu pionowego zwierciadła, 4. i 6. libelle rurkowe, 5. śruba mikroruchu pionowego zwierciadła, 7. spodarka

Fig. 5. View of autocollimation mirror used in the measurement set: a) scheme, b) example
Sign: 1. autocollimation mirror, 2. horizontal slow – motion screw of mirror, 3. clamping screw the vertical axis of rotation of the mirror, 4. and 6. levels, 5. vertical slow – motion screw of mirror, 7. tribrach

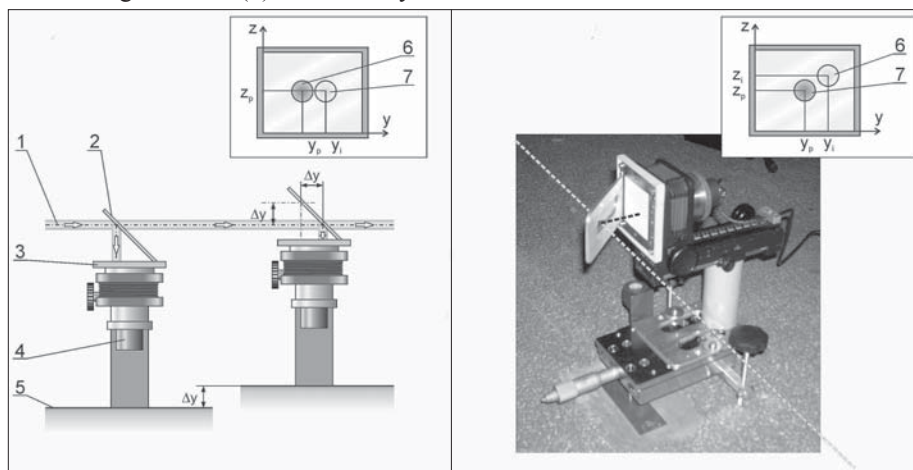
Wiązka światła laserowego (rys. 6.) po przejściu przez półprzepuszczalną płytkę (1) kierowana jest na ekran kamery CCD (2). Ustawienie korpusu kamery (7) na stoliku mikrometrycznym umożliwia przesunięcie ekranu kamery o odcinek, którego długość mierzy się śrubą mikrometryczną (4).



Rys. 6. Widok odbiornika pomiarowego: a) schemat, b) przykład wykonania
Oznaczenia: 1. płytkę półprzepuszczalną, 2. kamera, 3. przewód transmisyjny, 4. śruba mikrometryczna, 5. spodarka, 6. stolik mikrometryczny, 7. korpus

Fig. 6. View of the measuring receiver: a) scheme, b) example
Sign: 1. half-permeable plate, 2. camera, 3. transmission line, 4. micrometric screw, 5. tribach, 6. micrometric table, 7. body

Na rysunku 7a przedstawiono ideę przesunięcia obrazu plamki lasera na ekranie kamery (4) po przemieszczeniu odbiornika pomiarowego na mierzonym obiekcie (5) wzdłuż osi y . Natomiast na rysunku 7b pokazano wynik łącznego przemieszczenia punktu mierzonego obiektu (5) wzdłuż osi y i z .



Rys. 7. Odbiornik pomiarowy: a) schemat, b) przykład wykonania
Oznaczenia: 1. laser beam, 2. płytkę półprzepuszczalną, 3. ekran, 4. kamera, 5. mierzony obiekt, 6. wyjściowy obraz plamki laserowej, 7. kolejny obraz plamki laserowej

Fig. 7. Measuring receiver: a) scheme, b) example
Sign: 1. half-permeable plate, 2. half-permeable plate, 3. screen, 4. camera, 5. measured object, initial 6. initial laser spot, 7. current laser spot

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Przeprowadzenie właściwych prac pomiarowych poprzedzono wstępnymi czynnościami testowo-przygotowawczymi obejmujących wybór:

- pionownika – sprawdzenie parametrów geometrycznych i energetycznych plamki laserowej w funkcji odległości dla wybranej grupy pionowników,
- kamery – zjawisko dystorsji, miniaturyzacja, koszt itp.,
- sposobu ustawienia kamery zależnie od obiektu – płaszczyzna ekranu prostopadła do wiązki lasera oraz nad punktem pomiarowym,
- systemu rejestracji i przetwarzania danych (komputer).

Prace badawcze przeprowadzono na bazie laboratoryjnej o długości 16 m. Wzajemne usytuowanie elementów zestawu pomiarowego podczas prac badawczych przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Wzajemne usytuowanie elementów zestawu pomiarowego podczas prac badawczych
Fig. 8. Relative location of the set of elements during the research work

Zakres prac pomiarowo-obliczeniowych obejmował:

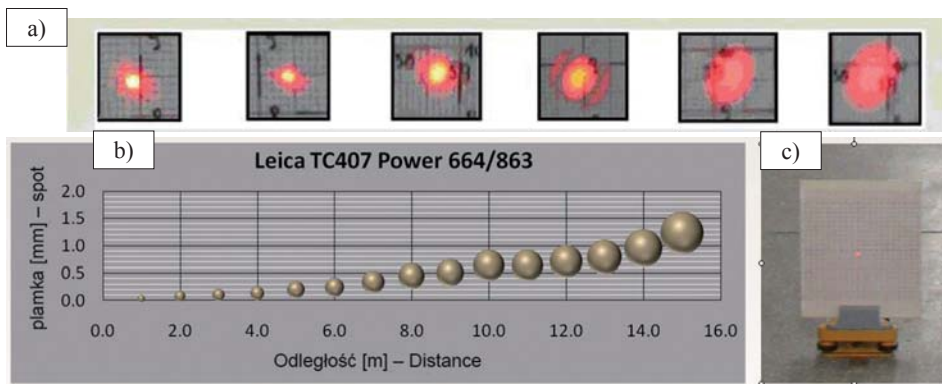
- wykonanie rejestracji obrazów plamki laserowej emitowanej przez pionowniki wybranych instrumentów geodezyjnych na odpowiednich punktach bazy długościowej [Ćmielewski et al. 2011],
- wykonanie dwukrotnej rejestracji położenia plamki laserowej na ekranie dla zadanego przesunięcia ekranu śrubą mikrometryczną na punktach bazy,
- wyznaczenie położenia środka energetycznego plamki laserowej na zarejestrowanych obrazach,
- analizę dokładności wyznaczenia środka energetycznego plamki na zarejestrowanych obrazach.

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Detekcję obrazu plamki laserowej można zrealizować metodą wizualną lub tymi, które bazują na cyfrowym przetwarzaniu zarejestrowanego obrazu, np. kamerą CCD. Metody wykorzystujące cyfrowe przetwarzanie obrazu możemy zaliczyć do sposobów umożliwiających automatyczne przeprowadzenie detekcji środka energetycznego plamki laserowej.

Metoda wizualna

Przed rozpoczęciem właściwych prac eksperymentalno-pomiarowych w przypadku wybranego pionownika laserowego instrumentu geodezyjnego wyznaczono wielkość plamki laserowej w funkcji odległości (rys. 9a, 9b). Stwierdzono, że wraz ze wzrostem odległości celu (tarczy pomiarowej – rys. 9c) od instrumentu zmieniają się wielkość i jakość obserwowanego obrazu plamki na powierzchni tarczy (rys. 9a). Detekcja tą metodą opiera się na subiektywnym określeniu położenia środka energetycznego plamki. Dokładność detekcji zależy w znacznym stopniu od odległości tarczy do instrumentu, z uwagi na zmieniającą się wielkość i jakość obserwowanej na tarczy plamki laserowej.



Rys. 9. Wyznaczona wielkość plamki laserowej pionownika instrumentu Leica TCR407 Power
a) zaobserwowane na tarczy obrazy plamki laserowej na wybranych punktach bazy długościowej: 1, 2, 4, 8, 12 i 16 m

b) wykres zależności wielkości plamki laserowej w funkcji odległości

c) tarcza celownicza z widocznym śladem plamki laserowej

Fig. 9. Spot size of laser plummet of Leica TCR407 Power instrument

a) observed images of laser spot on the fixed target at the selected length: 1, 2, 4, 8, 12 and 16 m

b) the graph of the function of laser spot size from distance

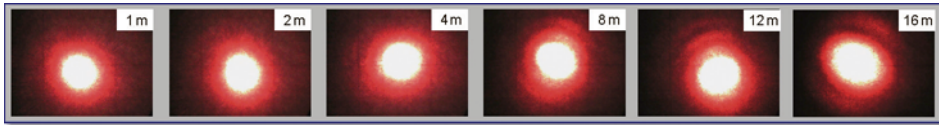
c) the fixed target with a visible trace of the laser spot

Metoda automatyczna

W metodzie automatycznej, do wyznaczenia środka energetycznego plamki lasera na zarejestrowanym obrazie, wykorzystano formuły zapisane w programie MatLab.

Na podstawie zarejestrowanych obrazów plamek laserowych na poszczególnych punktach bazy długościowej z użyciem kamery CCD i komputera (rys. 10) można zauwa-

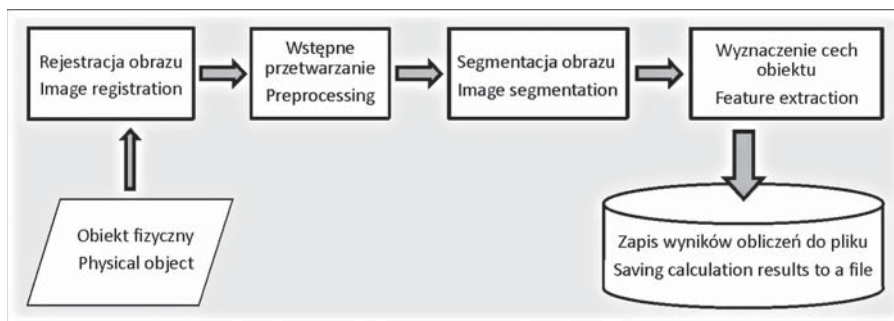
żyć, że wielkość i jakość plamki w przypadku badanego egzemplarza tachimetru TC407 Power nie różnią się znacząco od siebie. Wynika to z czułości radiometrycznej kamery CCD oraz układu kolimującego wiązkę laserową w pionowniku.



Rys. 10. Zaobserwowane i zarejestrowane obrazy plamki laserowej pionownika instrumentu Leica TCR407 Power

Fig. 10. Observed and recorded spot images of the laser plummet Leica TCR407 Power

Wszystkie badania testowe na zarejestrowanych obrazach plamki laserowej wykonane zostały autorskim programem wykorzystującym środowisko MatLab. Algorytm programu w uproszczeniu przedstawiono schematycznie na rysunku 11, natomiast wynik zasadniczych etapów (wstępne przetwarzanie i segmentację obrazu) zilustrowano na rysunku 12. Wspomniane etapy związane były z konwersją zarejestrowanego obrazu kolorowego (RGB) na poziom szarości (GRAY) lub składowe kanały obrazu kolorowego (R – red, G – green, B – blue). Kolejnym punktem było rozciągnięcie kontrastu, po którym filtrem medianowym uzyskano właściwy obraz poddany na końcu procesowi segmentacji. W celu uzyskania binarnego obrazu śladu plamki laserowej wyznaczono szereg cech (wskaźniki kształtu), z których do dalszych analiz wybrano jedynie współrzędne środka ciężkości otrzymanej figury geometrycznej (środek energetyczny obrazu plamki lasera).



Rys. 11. Schemat procesu wyznaczenia środka energetycznego plamki laserowej

Fig. 11. Schematic determination of the energy center of the laser spot



Rys. 12. Wizualizacja poszczególnych etapów cyfrowego przetwarzania obrazu plamki laserowej

Fig. 12. Visualization of the various stages of digital image processing of laser spot

Prace testowe z wykorzystaniem stolika mikrometrycznego

W celu określenia dokładności prototypu zestawu pomiarowego – na punktach pomiarowych długościowej bazy testowej wykonano wielokrotne rejestracje obrazu plamki laserowej zadanego symulowanego poprzecznego liniowego przesunięcia odbiornika pomiarowego, zamontowanego na stoliku mikrometrycznym. Nominalna dokładność odczytu przesunięcia wynosi 0,01 mm, a zakres pomiarowy – 25 mm. Na podstawie przeprowadzonych analiz wyników pomiarów testowych stwierdzono, że powtarzalność automatycznej detekcji środka energetycznego plamki laserowej wynosi $\pm 0,031$ mm. Uśrednione wyniki z przeprowadzonych badań eksperymentalnych zestawiono w tabeli 1. Z powodu wyznaczonych różnic (d) pomiędzy zadanym/symulowanym przesunięciem odbiornika pomiarowego na stoliku mikrometrycznym (Y_s) a wyznaczonym przesunięciem odbiornika pomiarowego, według pomiaru na zarejestrowanych obrazach (Y_{CCD}), określono średni błąd pojedynczego spostrzeżenia (m_d) na podstawie wzoru (1):

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (1)$$

W ostatnim wierszu tabeli 1 zestawiono wartości obliczonych średnich błędów m_d dla każdego punktu bazy długościowej. Wartości wyznaczonych błędów wahają się w granicach $\pm 0,033$ do $\pm 0,083$ mm i zależą od odległości pomiędzy instrumentem a odbiornikiem pomiarowym. Graficzną ilustrację zmian średnich błędów pojedynczego spostrzeżenia (m_d) w funkcji odległości przedstawiono na rysunku 13.

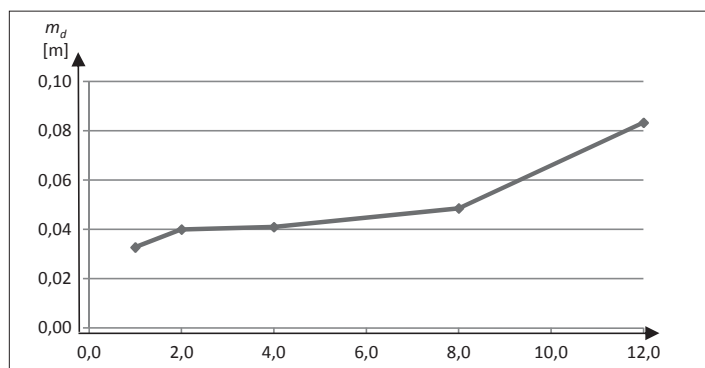
Tabela 1. Wyniki pomiarów testowych wyznaczenia dokładności poprzecznego liniowego przesunięcia odbiornika pomiarowego na stoliku mikrometrycznym

Table 1. The accuracy of the linear transverse displacement of the measuring receiver on the micrometric table – the results of test measurements

Y_s	Odległości na długościowej bazy testowej – Distances on the test length base									
	1 m		2 m		4 m		8 m		12 m	
	Y_{CCD}	d	Y_{CCD}	d	Y_{CCD}	d	Y_{CCD}	d	Y_{CCD}	d
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0,000	0,055	0,055	0,026	0,026	-0,006	-0,006	0,111	0,111	0,052	0,052
3,000	2,942	-0,058	2,972	-0,028	3,023	0,023	3,027	0,027	2,872	-0,128
5,000	4,915	-0,085	5,030	0,030	4,982	-0,018	5,011	0,011	5,078	0,078
7,000	6,984	-0,016	6,988	-0,012	7,110	0,110	6,973	-0,027	7,126	0,126
8,000	-	-	-	-	7,916	-0,084	-	-	-	-
9,000	-	-	-	-	8,979	-0,021	-	-	-	-
10,000	10,058	0,058	10,011	0,011	10,006	0,006	9,898	-0,102	9,795	-0,205
10,500	-	-	-	-	10,523	0,023	-	-	-	-
11,000	-	-	-	-	11,030	0,030	-	-	-	-
12,000	-	-	-	-	11,940	-0,060	-	-	-	-
13,000	13,010	0,010	13,003	0,003	12,904	-0,096	12,990	-0,010	13,157	0,157
14,000	-	-	-	-	14,097	0,097	-	-	-	-
15,000	15,040	0,040	14,930	-0,070	15,063	0,063	14,925	-0,075	14,970	-0,030
15,500	-	-	-	-	15,452	-0,048	-	-	-	-
17,000	16,986	-0,014	16,915	-0,085	17,019	0,019	16,940	-0,060	16,949	-0,051
20,000	19,990	-0,010	19,620	0,120	-	-	19,593	0,093	-	-
m_d	$\pm 0,033$		$\pm 0,040$		$\pm 0,041$		$\pm 0,049$		$\pm 0,083$	

Oznaczenia: Y_s – zadane przesunięcia odbiornika pomiarowego na stoliku mikrometrycznym; Y_{CCD} – uśrednione przesunięcie odbiornika pomiarowego na podstawie pomiaru na zarejestrowanych obrazach; d – obliczone różnice pomiędzy Y_{CCD} - Y_s ; m_d – średni błąd pojedynczego spostrzeżenia wyznaczony na podstawie różnic d

Sign: Y_s – put displacement measuring receiver on the micrometric table; Y_{CCD} – averaged displacement of the measuring receiver by measuring the recorded images; d – calculated differences between Y_{CCD} - Y_s ; m_d – mean error determined on the basis of the differences d



Rys. 13. Graficzna ilustracja zmian wartości średnich błędów pojedynczego spostrzeżenia (m_d) w funkcji odległości

Fig. 13. Graphic illustration of mean errors (m_d) changes as a function of distance

PODSUMOWANIE

Zrealizowane prace badawcze na bazie długościowej, z użyciem zaprezentowanej aparatury pomiarowej, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- zastosowanie kamery CCD w połączeniu z komputerem umożliwia rejestrację obrazów plamki laserowej, a posługując się odpowiednim programem można w sposób automatyczny identyfikować środek energetyczny zarejestrowanych obrazów plamki;
- instrumenty charakteryzują się różnymi parametrami zastosowanych laserów w pionownikach, co wpływa na wielkość, moc i kształt plamki lasera obserwowanej na ekranie w funkcji odległości. W związku z tym dokładność identyfikacji środka energetycznego rejestrowanego obrazu plamki jest zależna m.in. od odległości pomiędzy instrumentem a odbiornikiem pomiarowym;
- na podstawie zrealizowanych badań stwierdzono, że powtarzalność automatycznej detekcji środka energetycznego plamki laserowej wynosi $\pm 0,031$ mm;
- przeprowadzona analiza dokładności wykazała, że w przypadku tachimetru Leica TC 407 średni błąd pojedynczego spostrzeżenia, w zależności od odległości mieści się w zakresie od $\pm 0,03$ do $\pm 0,08$ mm.

PIŚMIENNICTWO:

- Bryś H., Przewłocki S., 1998. Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ćmielewski K., 2007. Zastosowanie technik światłowodowych i laserowych w precyzyjnych pomiarach kształtu i deformacji obiektów inżynierskich, Zeszyty Naukowe UP we Wrocławiu, 551, seria Rozprawy CCXLVI, Wrocław.
- Ćmielewski K., Kuchmister J., Gołuch P., Patrzalek Z., Kowalski K., 2011. Laser plummet testing with the use of the optoelectronic elements. Reports on Geodesy [po recenzji, w druku].

- Pelzer H., 1988. Ingenieurvermessung – Deformationsmessungen – Massenberechnung. Ergebnisse des Arbeitskreises 6 des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW) e.V. Verlag Konrad Witwer, Stuttgart.
- Wanic A., 2007. Instrumentoznawstwo geodezyjne i elementy technik pomiarowych. Wydawnictwo UWM, Olsztyn.

APPLICATION OF THE LASER PLUMMET TO MEASURE THE LINEARITY OF ELONGATED OBJECTS

Abstract. In surveying work the designation of straightness of elongated objects is done by method of constant straight, which requires an instrument setup over a given point. For the implementation of this task, you can use a plummet properly rectified. The minimum length to the target is a characteristic parameter of each instrument. This value limits location of the measurement points. In the conditions prevailing on the engineering objects it is often not possible to offset the instrument from the test object. At that time the first measurement points can be measured only after setting the instrument at the final point of constant straight.

The method presented in this paper to measure the position of points relative to a specific fixed straight uses a light beam emitted by a laser plummet from a Leica TC407 total station. To use laser the beam of the plummet to measure points located at distances from zero to several meters from the position of the instrument by constant straight method additional instrumentation was applied. The additional equipment includes: collimating mirror, CCD adapter and computer. Preliminary research showed that for distances of 1, 2, 4, 8 and 12 m measuring points on the instrument were obtained respectively from 0.03 to 0.08 mm.

Key words: laser plummet, engineering survey of elongated objects, CCD camera

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 23.03.2012

For citation – Do cytowania: Kuchmister J., Ćmielewski K., Gołuch P., Kowalski K., 2012. Zastosowanie pionownika laserowego do badań prostoliniowości obiektów wydłużonych. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 11 (1), 5–16.