

ZASTOSOWANIE KAMERY CCD DO POMIARU PROWADNIC MASZYN NA PRZYKŁADZIE TOKARKI

Kazimierz Ćmielewski, Janusz Kuchmister, Piotr Gołuch,
Krzysztof Kowalski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W procesie wytwarzania oraz kontroli elementów maszyn w czasie eksploatacji istotnym jest zachowanie warunków geometrycznych ujętych w projektach technicznych oraz w normach. Od właściwego usytuowania w przestrzeni podzespołów maszyn zależy jakość finalnego produktu. W przypadku znacznych gabarytów maszyn stosowanie metod warsztatowych ma ograniczony zakres, natomiast wykorzystanie znanych z literatury i praktyki zaawansowanych systemów pomiarowych nie zawsze jest uzasadnione ekonomicznie. Współcześnie elementy techniki optoelektronicznej, przy ogólnej dostępności, umożliwiają budowę aparatury wspomagającej precyzyjne pomiary geodezyjne i warsztatowe maszyn.

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej i poziomej prowadnic tokarki z zastosowaniem techniki optoelektronicznej. Do prac pomiarowych użyto prototypowego przyrządu, tworzącego zestaw pomiarowy umożliwiający opracowanie wyników i przedstawienie ich w postaci zestawień tabelarycznych i wykresów. W skład zestawu pomiarowego wchodzi: laser emitujący wiązkę laserową o barwie czerwonej, odbiornik pomiarowy z kamerą CCD oraz przenośny komputer.

Otrzymane podczas badań eksperymentalnych wyniki potwierdziły możliwość uzyskania wysokich dokładności pomiarów. Średnie błędy pomiarów kształtowały się na poziomie setnych części milimetra ($\pm 0,017$ mm). Zaprezentowana metoda i aparatura pomiarowa mogą być stosowane z powodzeniem przy długości celowych od wartości bliskiej 0 m do wartości kilkunastu metrów.

Słowa kluczowe: pomiary geodezyjne prowadnic maszyn, technika optoelektroniczna

WSTĘP

Podczas pomiarów geodezyjnych na obiektach inżynierskich [USACE 2002] należy zwrócić uwagę na panujące tam warunki środowiskowe, które są zależne głównie od:

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Kazimierz Ćmielewski, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: kazimierz.cmielewski@up.wroc.pl

wielkości obiektu [Azzoni i in. 1998], usytuowanych na obiekcie linii technologicznych i parametrów atmosfery, w której przebiegają obserwacje. Kształtowanie się wzajemnie tych czynników ma znaczący wpływ na:

- jakość otrzymanych rezultatów obserwacji,
- czas wykonania pomiarów,
- dobór odpowiednich instrumentów i metod pomiarowych (sprzęt fabryczny lub sprzęt wytworzony do konkretnego zadania pomiarowego – wynalazki).

W odniesieniu do maszyn, urządzeń i obiektów inżynierskich, stosując geodezyjne metody pomiarów, oprócz przepisów zawartych w instrukcjach i wytycznych, należy również wykorzystać odpowiednie zapisy w normach branżowych [PN-ISO-230-1].

W przypadku dużych maszyn, do których zalicza się również tokarki, wymagane jest zastosowanie specjalistycznych technik geodezyjnych [Gocał 1993, Pachuta i Pachuta 1993].

Rozwój współczesnej optoelektroniki oraz powszechny dostęp jej elementów (lasery, kamery CCD) [Ćmielewski 2010, Fraser 1996, Setan i Ibrahim 2003] zachęciły autorów do opracowania zestawu pomiarowego umożliwiającego przeprowadzenie prac eksperymentalnych pozwalających wyznaczyć odchyłki od prostoliniowości prowadnic łoża tokarki [PN-ISO-230-1, PN-M-55651].

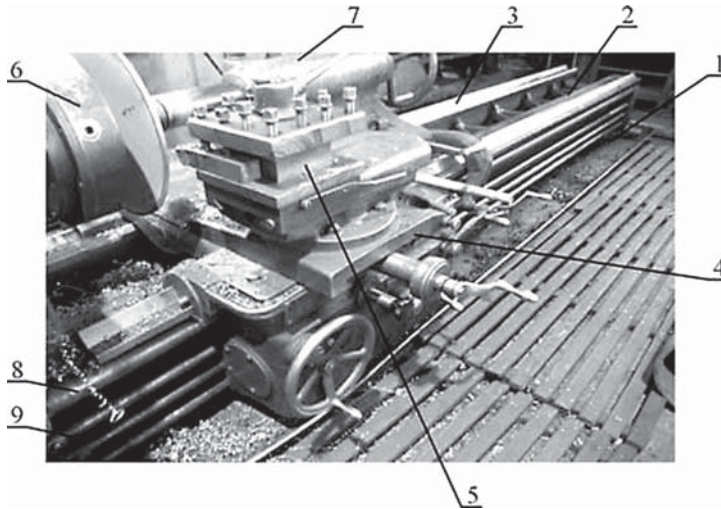
OPIS OBIEKTU BADAŃ I METOD POMIARÓW

Tokarka jest podstawową maszyną wytwórczą stosowaną w procesach produkcyjnych. Aby prawidłowo funkcjonować, powinna spełniać szereg wymagań geometrycznych, które bada się głównie metodami warsztatowymi z użyciem: liniałów powierzchniowych, czujników zegarowych, poziomnic ramowych itp. [Jakubiec i Malinowski 1996]. Jednakże w przypadku znacznych gabarytów obrabiarki stosuje się metody geodezyjne, które wymagają użycia odpowiedniej aparatury pomiarowej – niwelatorów precyzyjnych, teodolitów precyzyjnych, specjalnych łątek pomiarowych i tarcz sygnalizacyjnych oraz wyspecjalizowanych systemów pomiarowych (RMS, ATMS) [Płatek 1995]. Obecnie do pomiarów parametrów geometrycznych maszyn i urządzeń można również wykorzystać trakery laserowe [Leica 2005].

Na rysunku 1 przedstawiono widok tokarki i jej podstawowych elementów konstrukcyjnych. Do podstawowych elementów, które wzajemnie z sobą współpracują, można zaliczyć: podstawę, łożę, prowadnice, wrzeciono, suport, konik, imak, śrubę pociągową, wałek pociągowy.

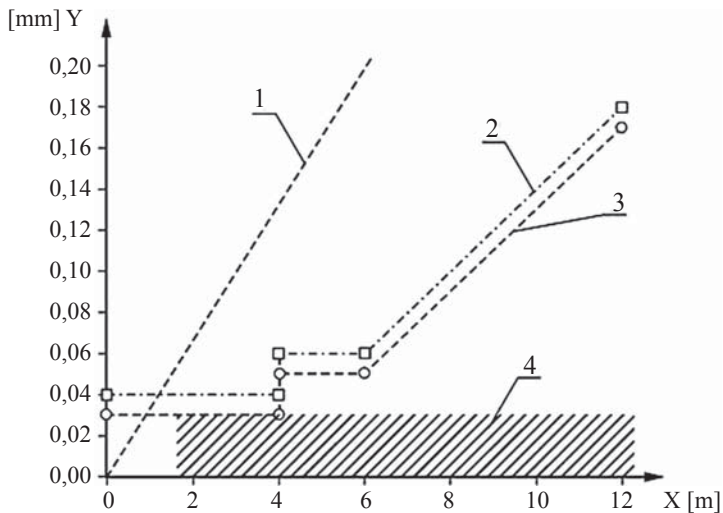
Tokarki są sprawdzane pod względem odchyłek geometrycznych w procesie montażu, a także eksploatacji [Dudik 1985]. Rozkład dopuszczalnych odchyłek w rzucie poziomym przedstawiono na wykresie (rys. 2). Dopuszczalne odchyłki dotyczą przede wszystkim przesuwu sań suportu, jego równoległości do prowadnic konika oraz prowadnic łoża. Są to wielkości rzędu setnych części milimetra w przypadku niedużych długości łoża.

Instrumenty geodezyjne przy krótkich celowych charakteryzują się dużą dokładnością wyników obserwacji. W przypadku teodolitów precyzyjnych, jak wynika to z badań, można osiągnąć dokładność pomiarów odchyłek na poziomie 0,03 mm [Kahmen 1996].



Rys. 1. Główne podzespoły tokarki
 Oznaczenia: 1. podstawa, 2. łożo, 3. prowadnice, 4. suport, 5. imak, 6. wrzeciono, 7. konik, 8. wałek pociągowy, 9. śruba pociągowa

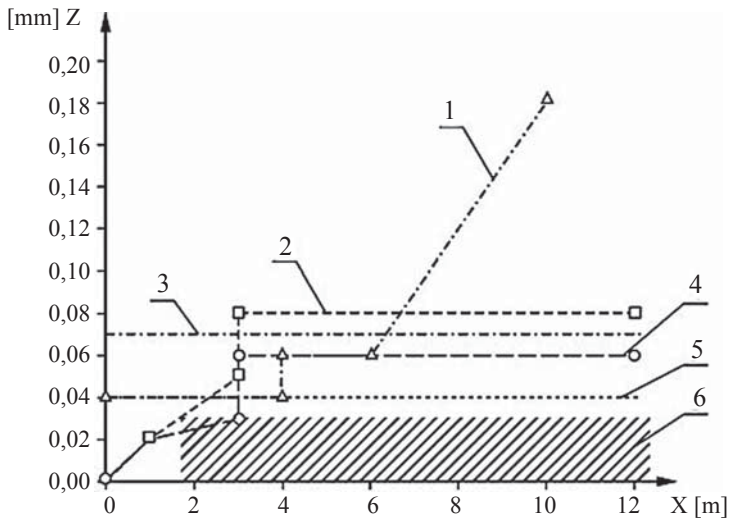
Fig. 1. The main components of the lathe
 Sign: 1. basis; 2. bed, 3. runners, 4. apron, 5. tool post, 6. headstock assembly, 7. tailstock assembly, 8. feed rod, 9. lead screw



Rys. 2. Rozkład dopuszczalnych odchyłek geometrycznych w rzucie poziomym
 Oznaczenia: 1. oś przesuwu sań suportu, 2. prowadnica łoża, 3. równoległość przesuwu sań suportu do prowadnic konika, 4. homogeniczność dokładności teodolitów precyzyjnych, X – długość łoża, Y – odchyłka od prostoliniowości

Fig. 2. Schedule of allowed geometric mistake in horizontal section
 Sign: 1. axis of apron carriage move, 2. runner of bed, 3. the parallelism of apron carriage move against tailstock assembly runners, 4. homogeneity of the precision theodolites accuracy, X – length of bed, Y – deviation from linearity

Na rysunku 3 przedstawiono rozkład dopuszczalnych odchyłek w odniesieniu do rzutu pionowego. Do wyznaczenia tych odchyłek można wykorzystać niwelatory precyzyjne, których dokładność pomiarów wynosi 0,03 mm [Kahmen 1996].



Rys. 3. Rozkład dopuszczalnych odchyłek geometrycznych w rzucie pionowym

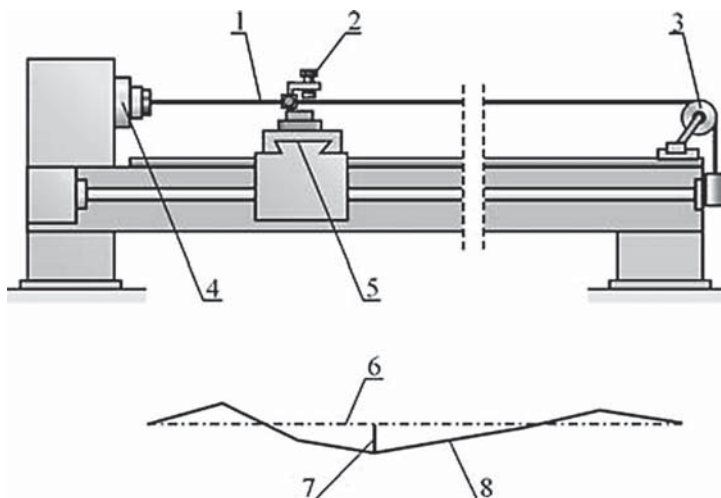
Oznaczenia: 1. równoległość przesuwu sań suportu do prowadnic konika, 2. tylna prowadnica łoża, 3. współosiowość kłów wrzeciono-konik, 4. przednia prowadnica łoża, 5. prowadnica łoża w kierunku poprzecznym, 6. homogeniczność dokładności niwelatorów precyzyjnych, X – długość łoża, Z – wartości odchyłek w rzucie pionowym

Fig. 3. Schedule of allowed geometric mistake in vertical section

Sign: 1. parallelism of apron carriage move against tailstock assembly runners, 2. back runner of bed, 3. spindle-tailstock assemble alignment, 4. front runner of bed, 5. of runner in transverse feed, 6. homogeneity of the precision leveler accuracy, X – length of bed, Z – displacement values in the vertical section

Głównym warunkiem geometrycznym tokarki jest prostoliniowość przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej. Na rysunku 4 przedstawiono zalecaną metodę sprawdzenia tego warunku przy zastosowaniu drutu rozciągniętego wzdłuż łoża. Do wyznaczenia odchyłek przesuwu suportu względem drutu wykorzystuje się mikroskop zamocowany na suportcie.

Badanie prostoliniowości można przeprowadzić również z wykorzystaniem techniki laserowej, zestawiając sprzęt pomiarowy jak na rysunku 5. Wówczas odniesieniem do pomiarów jest wiązka laserowa, a odchylenia od prostoliniowości suportu rejestrowane są za pomocą odbiornika fotodetekcyjnego (rys. 6) np. CCD [Ćmielewski 2007].

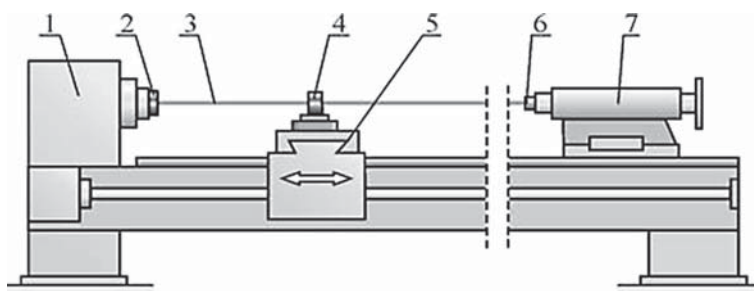


Rys. 4. Pomiar prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej metodą mechaniczno-optyczną

Oznaczenia: 1. napięty drut, 2. mikroskop, 3. rolka, 4. wrzeciono, 5. suport, 6. pozioma oś teoretyczna, 7. odchyłka od prostoliniowości, 8. pozioma oś rzeczywista

Fig. 4. Measuring the straightness of feed slide in the horizontal plane by a mechanical-optical method

Sign: 1. tight wire, 2. microscope, 3. roll, 4. spindle, 5. carriage, 6. theoretical horizontal axis 7. deviation from straightness, 8. real horizontal axis

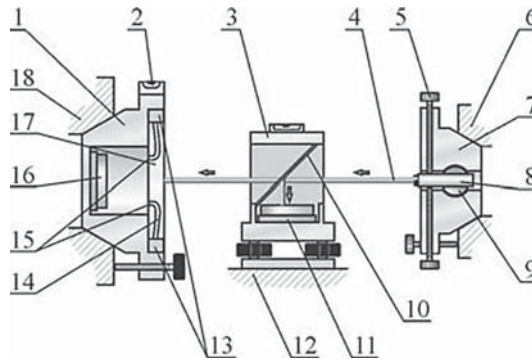


Rys. 5. Pomiar prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej z zastosowaniem techniki laserowej

Oznaczenia: 1. tokarka 2. kontrolny pierścień fotodetekcyjny, 3. wiązka laserowa, 4. odbiornik fotodetekcyjny rejestrujący, 5. suport, 6. kierunkowy pierścień nadawczy, 7. konik

Fig. 5. Measuring the straightness of feed slide in the horizontal plane using laser technology

Sign: 1. lathe; 2. control photo-detection ring, 3. laser beam, 4. photo-detection recording receiver, 5. apron, 6. directional transmitting ring, 7. tailstock assembly



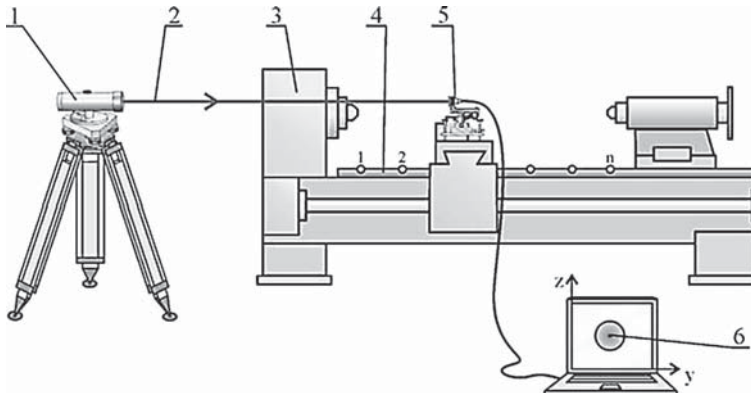
Rys. 6. Schemat budowy zestawu laserowego do pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu
Oznaczenia: 1. kontrolny pierścień fotodetekcyjny, 2. libella, 3. odbiornik fotodetekcyjny rejestrujący, 4. wiązka laserowa, 5. śruba ustawcza, 6. tuleja konika, 7. kierunkowy pierścień nadawczy, 8. nadajnik laserowy, 9. przegub kulisty, 10. element optyczny, 11. przetwornik CCD, 12. suport, 13. źródło światła, 14. światłowód, 15. czoło światłowodów, 16. przetwornik CCD, 17. matówka, 18. tuleja wrzeciona

Fig. 6. Structure scheme of a laser set to measure straightness of apron move

Sign: 1. control photo-detection ring; 2. level, 3. photo-detection recording receiver, 4. laser beam, 5. adjusting screw, 6. tailstock assembly, 7. directional transmitting ring, 8. laser transmitter, 9. spherical joint, 10. optical element, 11 and 16. CCD transducers, 12. apron, 13. light source, 14. optical fiber, 15. face fiber, 17. focussing screen, 18. headstock assembly sleeve

Na rysunku 7 przedstawiono usytuowanie aparatury pomiarowej umożliwiającej pomiar poziomowości łoża tokarki z użyciem kamery CCD.

Autorzy wykonali badania eksperymentalne prostoliniowości przesuwu suportu z zastosowaniem techniki laserowej i kamery CCD na łożu tokarki uniwersalnej TUE-40.



Rys. 7. Schemat usytuowania aparatury pomiarowej do pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu

Oznaczenia: 1. nadajnik laserowy 2. wiązka laserowa, 3. tokarka, 4. prowadnice tokarki, 5. przetwornik CCD 6. zarejestrowany obraz plamki lasera; 1, 2, ..., n – punkty pomiarowe

Fig. 7. Scheme of arrangement of the apparatus for measuring the straightness of apron move

Sign: 1. laser transmitter, 2. laser beam, 3. lathe, 4. slide, 5. CCD transducer, 6. captured image of laser spot; 1, 2, ..., n – measuring points

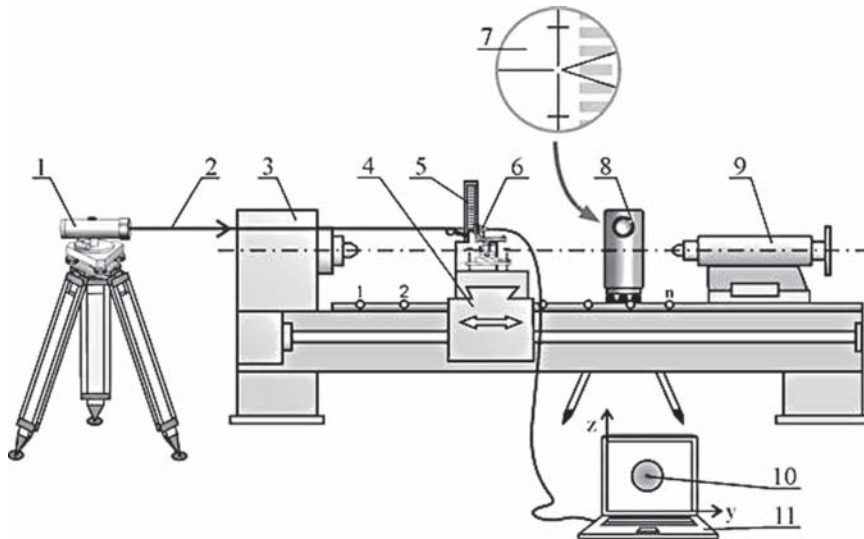
Wiązka laserowa została zorientowana, wzdłuż łoża maszyny (z boku), na zamocowany na suporcie ekran przetwornika CCD.

Badania przeprowadzono w odniesieniu do czternastu ustawień suportu na łożu. Przy każdym ustawieniu zarejestrowano obraz plamki laserowej na tle ekranu pomiarowego.

POMIARY PROSTOLINIOWOŚCI PROWADNIC ŁOŻA TOKARKI

W celu określenia parametrów dokładnościowych zaproponowanej metody pomiaru w przeprowadzonych pracach badawczych wykorzystano dwa niezależne zestawy pomiarowe. Na rysunku 8 przedstawiono usytuowanie aparatury badawczej do pomiaru prostoliniowości prowadnic łoża.

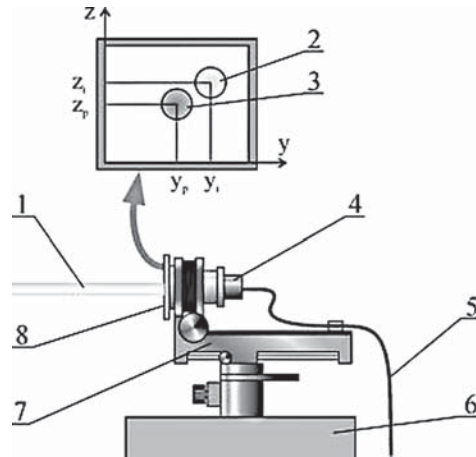
Pierwszy zestaw pomiarowy składa się z umieszczonego na statywie niwelatora precyzyjnego i szklanej łatki pomiarowej ustawionej pionowo na suporcie. Drugi zestaw pomiarowy to nadajnik laserowy emitujący wzdłuż prowadnic wiązkę światła laserowego i zamocowany na suporcie odbiornik z kamerą CCD, połączony z komputerem.



Rys. 8. Schemat usytuowania aparatury pomiarowej i kontrolnej w trakcie prac doświadczalnych
Oznaczenia: 1. nadajnik laserowy, 2. wiązka laserowa, 3. tokarka, 4. suport, 5. łatka szklana, 6. przetwornik CCD, 7. obserwowany obraz łatki szklanej, 8. niwelator precyzyjny, 9. konik, 10. zarejestrowany obraz plamki lasera, 11. komputer: 1, 2, ... n – punkty pomiarowe

Fig. 8. Scheme of arrangement of the measuring and control apparatus during the experimental
Sign: 1. laser transmitter, 2. laser beam, 3. lathe, 4. apron, 5. glass leveling rod, 6. CCD transducer, 7. observed view of leveling glass patch, 8. precise leveler, 9. tailstock assembly, 10. captured image of laser spot, 11. computer: 1, 2, ... n – measuring points

Na rysunku 9 przedstawiono schemat budowy, zasadę działania i sposób wykonywania pomiarów odbiornikiem pomiarowym zamocowanym na suporcie.



Rys. 9. Schemat odbiornika pomiarowego CCD

Oznaczenia: 1. wiązka laserowa, 2. zarejestrowany aktualnie obraz plamki laserowej, 3. zarejestrowany pierwotnie obraz plamki laserowej, 4. przetwornik CCD, 5. przewód transmisyjny, 6. podstawka, 7., 8. ekran pomiarowy, $\{y_p, z_p\}$, $\{y_i, z_i\}$ – współrzędne środka energetycznego plamki lasera w lokalnym układzie współrzędnych (y, z)

Fig. 9. Scheme of the measuring receiver CCD

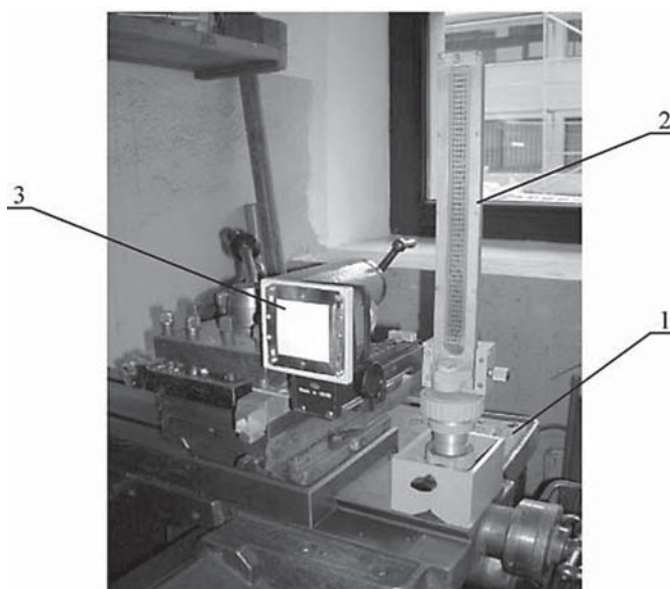
Sign: 1. laser beam, 2. currently registered image with the laser spot, 3. initially registered image with the laser spot, 4. CCD transducer, 5. transmission line, 6. basis, $\{y_p, z_p\}$, $\{y_i, z_i\}$ – coordinates of the energy center of laser spot to the local coordinates (y, z)

Na rysunku 10 przedstawiono zamocowany na suporcie odbiornik pomiarowy oraz ustawioną w pionie łątkę szklaną.

Podczas przesuwu suporu na kolejne punkty pomiarowe, wskutek niepoziomowości łoża, położenie obrazu plamki laserowej ulegało zmianie w stosunku do ekranu. Położenie środka energetycznego plamki, na zarejestrowanych zdjęciach, względem lokalnego układu współrzędnych ekranu zostało wyznaczone autorskim programem, napisanym w środowisku MatLab. W celu określenia dokładności pozycjonowania środka plamki laserowej badania eksperymentalne wykonano wielokrotnie w poszczególnych punktach pomiarowych.

Uzyskane uśrednione wyniki obserwacji z obu zestawów pomiarowych zostały porównane w płaszczyźnie pionowej. W tabeli 1 zestawiono wyznaczone niwelatorem i kamerą CCD, w 14 punktach pomiarowych, odchylenie prowadnic suportu od prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej.

Wyznaczone różnice przewyższeń z pomiarów wykonanych niwelatorem i kamerą CCD umożliwiły przeprowadzenie analizy dokładności opartej na parach spostrzeżeń. Na tej podstawie wyznaczony został średni błąd pojedynczego pomiaru przewyższenia (m0), którego wartość empiryczna wyniosła $\pm 0,022$ mm.



Rys. 10. Widok łaski szklanej i odbiornika pomiarowego zamontowanego na suporcie tokarki
 Oznaczenia: 1. suport, 2. szklana łaska kreskowa, 3. ekran odbiornika pomiarowego
 Fig. 10. View of leveling glass rod and a measuring receiver mounted on the apron of lathe
 Sign: 1. apron, 2. leveling glass rod, 3. screen of the measuring receiver

Tabela 1. Zestawienie odchyłek przesuwu suportu od prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej uzyskanych z pomiarów niwelacyjnych i kamerą CCD
 Table 1. Carriage deviation feed from straightness in the vertical plane obtained with a CCD camera and leveling measurements

Nr punktu Point number	Miara bieżąca Distance [mm]	Pomiar odchylenia suportu od prostoliniowości Measurement of carriage deviation from straightness [mm]		Różnica wyników Difference in results [mm]
		z użyciem niwelatora using a leveler	z użyciem techniki CCD using CCD technique	
1	0	0,000	-0,058	-0,058
2	60	-0,100	-0,121	-0,021
3	120	-0,225	-0,217	0,008
4	180	-0,350	-0,330	0,020
5	240	-0,455	-0,408	0,047
6	300	-0,548	-0,515	0,033
7	360	-0,735	-0,701	0,034
8	420	-1,015	-0,975	0,040
9	480	-1,212	-1,219	-0,007
10	540	-1,350	-1,366	-0,016
11	600	-1,463	-1,480	-0,017
12	660	-1,575	-1,604	-0,029
13	720	-1,675	-1,703	-0,028
14	780	-1,810	-1,833	-0,023
			m_0	0,022

Do analizy przebiegu prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej użyto tych samych zarejestrowanych obrazów kamerą CCD. Pomiar kontrolny – weryfikacyjny prowadzono metodą niwelacji precyzyjnej tylko w odniesieniu do płaszczyzny pionowej. Można stąd założyć, że średni błąd pojedynczego pomiaru odchylenia od prostoliniowości w płaszczyźnie poziomej przyjmie również wspomnianą wartość $\pm 0,022$ mm. W tabeli 2 zestawiono wyznaczone kamerą CCD, w 14 punktach pomiarowych, odchylenie suportu od prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej i poziomej.

Tabela 2. Zestawienie odchyłek przesuwu suportu od prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej i poziomej z pomiarów kamerą CCD

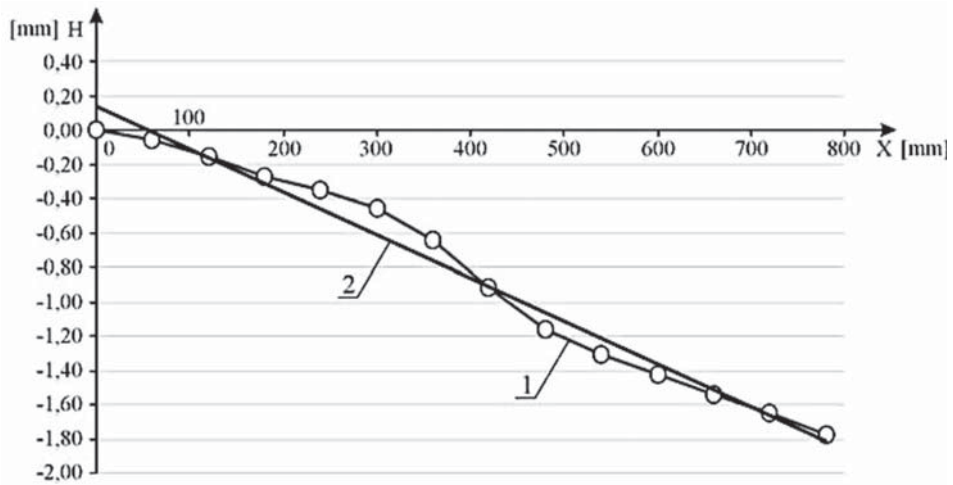
Table 2. Carriage deviation feed from straightness in the vertical and horizontal planes obtained with a CCD camera measurements

Nr punktu Point number	Miara bieżąca Distance [mm]	Odchylenie suportu od prostoliniowości Carriage deviation from straightness [mm]	
		w płaszczyźnie pionowej in vertical plane	w płaszczyźnie poziomej in horizontal plane
1	0	-0,058	0,000
2	60	-0,121	-0,049
3	120	-0,217	-0,060
4	180	-0,330	-0,067
5	240	-0,408	-0,055
6	300	-0,515	-0,063
7	360	-0,701	-0,018
8	420	-0,975	0,039
9	480	-1,219	0,061
10	540	-1,366	0,085
11	600	-1,480	0,067
12	660	-1,604	0,033
13	720	-1,703	-0,020
14	780	-1,833	0,000

Uśrednione wyniki w przypadku płaszczyzny pionowej przedstawiono na wykresie (rys. 11). Maksymalne odchyłki nie przekroczyły wartości 0,15 mm. Średni błąd pojedynczego określenia środka energetycznego zarejestrowanego obrazu plamki laserowej na podstawie obserwacji wielokrotnych wyniósł $\pm 0,017$ mm. Badanie wykazało pochYLENIE całego łoża o wartość około 1,78 mm.

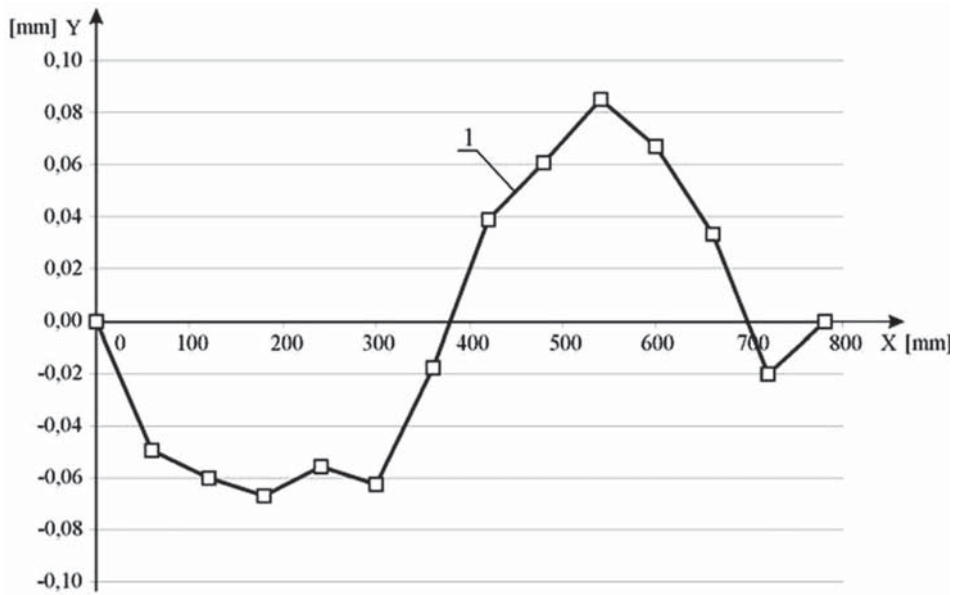
Wyniki pomiarów prostoliniowości prowadnic łoża w płaszczyźnie poziomej przedstawiono na rysunku 12.

Maksymalne odchyłki występują w środku łoża, wynoszą około $\pm 0,07$ mm i znacznie przekraczają odchyłkę dopuszczalną wynoszącą 0,02 mm. Natomiast średni błąd pojedynczego pomiaru z obserwacji wielokrotnych nie przekroczył wartości 0,015 mm.



Rys. 11. Wykres prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie pionowej
Oznaczenia: 1. oś przesuwu sań suportu w płaszczyźnie pionowej, 2. prosta aproksymująca oś przesuwu sań suportu w płaszczyźnie pionowej

Fig. 11. Diagram of rectilinear discrepancy of apron shift in vertical plane
Sign: 1. carriage feed slide axis in the vertical plane; 2. approximation of carriage feed slide axis in the vertical plane



Rys. 12. Wykres prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej
Oznaczenia: 1. oś przesuwu sań suportu w płaszczyźnie poziomej

Fig. 12. Diagram of rectilinear discrepancy of apron shift in horizontal plane
Sign: 1. carriage feed slide axis in the horizontal plane

PODSUMOWANIE

Obecnie technika optoelektroniczna może być z powodzeniem wykorzystana do budowy urządzeń wspomagających pomiary geodezyjne, w szczególności podczas prowadzenia obserwacji wymagających uzyskania dużych dokładności. Dostępne na rynku elementy optoelektroniczne charakteryzują się niewielkimi gabarytami, niskimi kosztami zakupu.

Wybrane elementy techniki optoelektronicznej, współpracując z instrumentami geodezyjnymi, mogą przyczynić się do:

- poszerzenia zakresu pomiarów i zwiększenia dostępności obiektu do wykonania pomiarów (skrócenie celowej do wartości bliskiej 0 m),
- zwiększenia wiarygodności pomiarów przez ich automatyzację,
- polepszenia ergonomii i bezpieczeństwa pracy.

Otrzymane podczas badań eksperymentalnych wyniki potwierdziły możliwość uzyskania wysokich dokładności pomiarów. Średnie błędy pomiarów kształtowały się na poziomie setnych części milimetra ($\pm 0,017$ mm).

Zestawiona aparatura pomiarowa umożliwiła realizację zadania z dokładnością narzuconą przez normy. Dodatkowym atutem zastosowania kamery CCD (przetwornika) jest możliwość wyznaczenia z jednego zarejestrowanego obrazu jednocześnie odchylenia od prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej i poziomej.

Zaprezentowana metoda i aparatura pomiarowa może być stosowana z powodzeniem przy długości celowych ograniczonych do kilku/kilkunastu metrów.

PIŚMIENNICTWO

- Azzoni A., Giussani A., Mazzà G., Scaioni M., Vassena G., 1998. Tests and analysis of the automatic collimator ISAC 5000 for dam monitoring. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, 429–442.
- Ćmielewski K., 2007. Zastosowanie technik światłowodowych i laserowych w precyzyjnych pomiarach kształtu i deformacji obiektów inżynierskich. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 551, Rozprawy CCXLVI, Wrocław.
- Ćmielewski K., 2010. Geodezyjne badania tokarki z zastosowaniem techniki światłowodowej. Acta Scientiarum Polonorum, s. Geodesia et Descriptio Terrarum, 9 (4), Wrocław.
- Dudik K., 1985. Poradnik tokarza. WNT, Warszawa.
- Fraser C. S. 1996. Design aspects of utilizing digital photogrammetry for deformation measurements. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, 115–123.
- Gocał J., 1993. Metody i instrumenty geodezyjne w precyzyjnych pomiarach maszyn i urządzeń mechanicznych. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Setan H., Ibrahim M. S., 2003. Precise measurement and 3D modelling for industrial applications. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–38 May, 529–536.
- Jakubiec W., Malinowski J., 1996. Metrologia wielkości geometrycznych. Wydanie II zmienione, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Kahmen H., 1996. New development in instrumentation for precise engineering and deformation surveys. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, 77–83.

- Leica Heerbrugg AG, 2005. T-Probe, T-Scan. Katalogi i prospekty firmowe.
- Pachuta A., Pachuta St., 1993. Geodezyjne systemy laserowo-elektroniczne zbudowane w Polsce. Sympozjum naukowe. pt. Stan i kierunki rozwoju aparatury geodezyjnej i monitoringu środowiska, Turawa.
- Polska Norma, 1994. PN-M-55651. Warunki odbioru tokarek kłowych. Badanie dokładności. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Polska Norma, 1998. PN-ISO 230-1. Przepisy badania obrabiarek. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- USACE, 2002. Structural Deformation Surveying (EM 1110-2-1009). US Army Corps of Engineers, Washington, DC.

APPLICATION OF A CCD CAMERA FOR MEASUREMENT OF SLIDE ON THE EXAMPLE OF TURNING MACHINES

Abstract. The article presents the problem of geodetic investigation of a lathe using equipment with a CCD camera. Measurements of the lathe's geometry (deviation from linearity the move of apron carriage) were performed at 14 positions in 3 cycles. Studies were made by two independent methods: using a precise geometric leveling method and laser method with CCD camera. To carry out the work the following were used: Ni007 leveling, glass leveling staff, laser diode and a CCD camera, which was connected via a USB cable to the computer.

CCD camera images were recorded on computer disk. The location of the laser spots registered on an image were designated using the author's program written in MATLAB. Averaged results are listed in the tables. The graphs illustrate the obtained measurement errors and the values of deviations. Our results were compared with the distribution of acceptable deviations in vertical sections, which are given in the norms.

Key words: engineering survey, CCD camera, test of devices geometry

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.11.2011

Do cytowania – For citation: Ćmielewski K., Kuchmister J., Gołuch P., Kowalski K., 2011. Zastosowanie kamery CCD do pomiaru prowadnic maszyn na przykładzie tokarki. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 10(4), 35–48.