

WYKORZYSTANIE METODY FOTOGRAMETRYCZNEJ I TECHNIKI LASEROWEJ DO OKREŚLANIA ODCHYLEK GEOMETRYCZNYCH ELEMENTÓW KOŁOWYCH

USE OF PHOTOGRAMMETRIC METHOD AND LASER TECHNOLOGY FOR DETERMINING OF GEOMETRIC DEVIATIONS OF THE ROTARY ELEMENTS

Piotr Goluch, Kazimierz Ćmielewski, Janusz Kuchmister

Institut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria jednoobrazowa, pomiary geodezyjne maszyn, technika optoelektroniczna

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki pomiarów kołowości elementu obrotowego z zastosowaniem techniki optoelektronicznej. Badawcze prace pomiarowe przeprowadzono na przykładzie wrzeciona tokarki typu TUE-40. Do prac pomiarowych zastosowano prototypowy przyrząd, tworzący zestaw pomiarowy, w skład którego wchodzi profilograf (dwa lasery emitujące wiązki laserowe o barwie czerwonej) i odbiornik pomiarowy (kamera CCD/CMOS połączona z przenośnym komputerem). Emitowane wiązki laserowe ze stałej bazy obserwowane są pod postacią plamek laserowych na powierzchni wrzeciona przez kamerę CCD/CMOS i rejestrowane w postaci pojedynczych obrazów lub filmu na dysku komputera. Rejestracja pojedynczych obrazów może następować w sposób ręczny lub automatyczny z zadaną częstotliwością. Na podstawie zarejestrowanych obrazów oraz przy pomocy autorskiego programu określone są środki energetyczne plamek laserowych. Wyznaczone różnice współrzędnych środków energetycznych plamek laserowych pozwalają określić odchyłkę od kołowości badanego elementu obrotowego z dokładnością nie przekraczającą ± 0.088 mm.

1. WPROWADZENIE

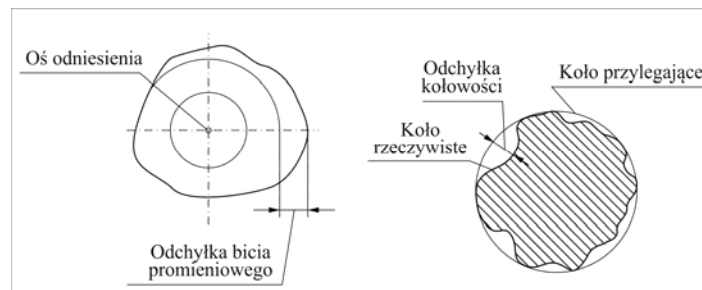
W przemyśle pracują maszyny i urządzenia, które posiadają różnego rodzaju elementy obrotowe (wały, osie, wrzeciona, koła itp.). Ich właściwa geometria warunkuje bezawaryjną pracę, a w przypadku obrabiarek właściwe parametry geometryczne wytwarzanego elementu [Dudik, 1985; Polska Norma, 1994; Polska Norma, 1998]. Wśród obrabiarek największą grupę stanowią tokarki. Podczas eksploatacji okresowo sprawdza się zachowanie podstawowych parametrów geometrycznych, które warunkują występowanie następujących odchyłek:

- odchyłek kształtu prowadnic - są to istniejące przesunięcia w płaszczyźnie poziomej lub pionowej;

- odchyłek chropowatości powierzchni spowodowane brakiem sztywności zamocowania przedmiotu lub narzędzia - są to luzy w mechanizmach obrabiarki;
- odchyłek przesuwu konika względem osi wrzeciona;
- odchyłek od kołowości podczas obrotu wrzeciona;
- odchyłek bicia promieniowego podczas pracy obrabiarki.

Wymienione odchyłki wyznacza się głównie metodami warsztatowymi, jednak z uwagi na znaczne wymiary obrabiarek stosuje się również metody geodezyjne [Gocał, 1993].

Elementy konstrukcyjne tokarek pracujące w ruchu obrotowym kontroluje się pod względem występowania wad dotyczących: bicia promieniowego osi w danym punkcie, braku kołowości (rys. 1.), nieprostokątności powierzchni płaskich do osi obrotu oraz przesunięć w ruchu posuwisto-zwrotnym.



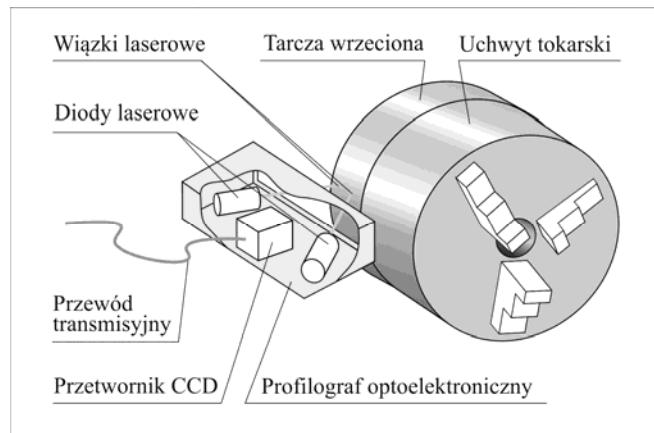
Rys. 1. Ilustracja graficzna istoty występowania odchyłek: od kołowości podczas obrotu wrzeciona oraz bicia promieniowego podczas pracy obrabiarki

Odpowiednio zestawione podzespoły optoelektroniczne i laserowe dały podstawę do opracowania bezstykowej metody pomiaru ruchu obrotowego badanego podzespołu, przy zastosowaniu profilografu optoelektronicznego z przetwornikiem CCD/CMOS i przenośnego komputera [Ćmielewski, 2007; Ćmielewski, 2010; Ćmielewski *et al.*, 2011b].

W badaniach skupiono się głównie na wyznaczeniu odchyłek od kołowości podczas obrotu wrzeciona tokarki z użyciem opracowanego i skonstruowanego profilografu optoelektronicznego.

2. BEZSTYKOWA METODA POMIARU RUCHU OBROTOWEGO PODZESPOŁU MASZYNY Z ZASTOSOWANIEM TECHNIKI LASEROWEJ

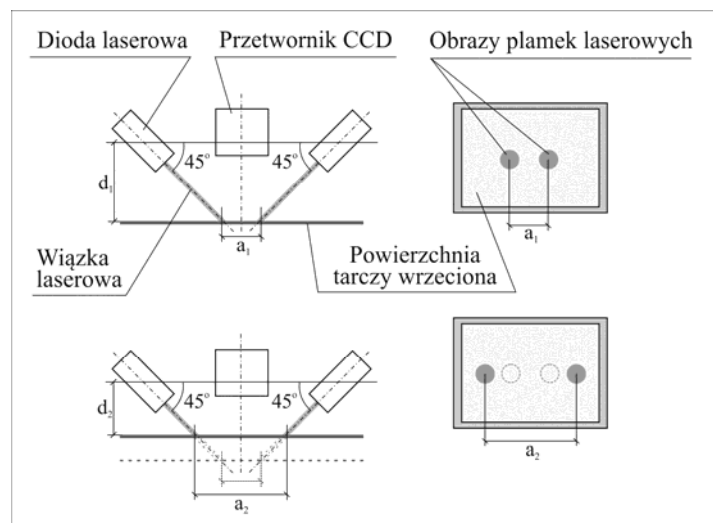
Sposób pomiaru bazuje na obserwacji przetwornikiem CCD/CMOS z rejestracją komputerową przecinających się wiązek laserowych, emitowanych przez dwie diody laserowe, skierowane na element obrotowy obrabiarki (np. tarcza wrzeciona) – rys. 2. Istota pomiaru profilografem bazuje na wykonaniu wcięcia w przód do mierzonego punktu ze stałej bazy, na końcach której umieszczone są nadajniki laserowe emitujące promienie laserowe w zakresie widzialnym. Promienie laserowe materializują osie wcinające pod ustalonym stałym kątem.



Rys. 2. Schemat ustawienia profilografu przy pomiarze odchyłek geometrycznych elementów obrotowych

Na podstawie analizy zarejestrowanych obrazów rozstępu plamek laserowych, widocznych na wspomnianym elemencie obrotowym, określa się występujące wady ruchu obrotowego badanego elementu.

Na rysunku 3 przedstawiono istotę wykonywania pomiaru odległości d_i pomiędzy przyrządem pomiarowym (profilografem optoelektronicznym) a powierzchnią badanego elementu. Odległość tą wyznacza się na podstawie pomiaru na zarejestrowanym obrazie odległości a_i pomiędzy środkami energetycznymi obrazów plamek laserowych, emitowanych przez dwa nadajniki laserowe.



Rys. 3. Istota pomiaru odległości z użyciem profilografu laserowego

Różnicując pomierzone odległości a_i na zarejestrowanych obrazach, w kolejnych położeniach obrotu elementu wirującego (tarczy), określa się wartości odchyłek od kołowości badanego elementu obrotowego.

Przedstawiony schemat (rys. 3.) ilustruje szczególny przypadek ustawienia wiązek laserowych względem ekranu oraz aparatury pomiarowej względem obiektu pomiarowego.

Inne przypadki ustawienia to:

- zróżnicowane kąty wcinające promieni laserowych;
- nieprostokątność ustawienia profilografu względem powierzchni obiektu pomiarowego;
- kombinacja ww. ustawień.

Z tego względu przed rozpoczęciem prac na badanym obiekcie niezbędnym jest przeprowadzenie kalibracji zestawu pomiarowego. Kalibracja umożliwi wprowadzenie poprawek związanych z:

- błędami układu optycznego kamery (dystorsja);
- zmianami skali obrazu, wynikających z różnej odległości profilografu od badanego obiektu;
- nierówności kątów wcinających promieni laserowych.

3. OPIS PRZEPROWADZONYCH PRAC DOŚWIADCZALNYCH

Badania eksperymentalne przeprowadzono w laboratorium Instytutu Geodezji i Geoinformatyki UP we Wrocławiu. Do prac doświadczalnych wykorzystano prototyp profilografu przymocowany do stolika mikrometrycznego. Wstępne prace doświadczalne polegały na sprawdzeniu i określeniu parametrów dokładnościowych wykonanego prototypu profilografu. Następnie po kalibracji zestawu pomiarowego przeprowadzono właściwe badania testowe na tokarce produkcyjnej typu TUE-40.

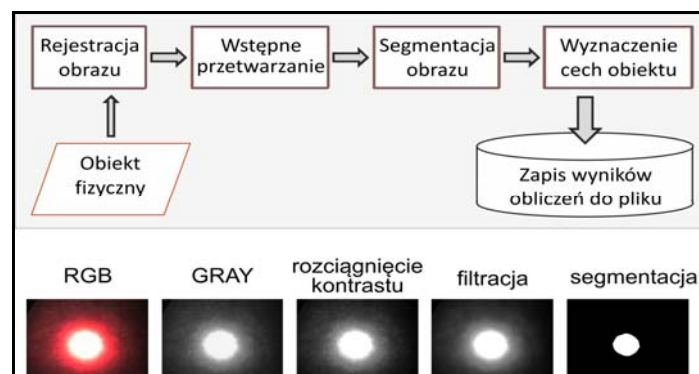
Opracowany i skonstruowany prototyp profilografu został wyposażony w dwie diody laserowe emitujące światło w zakresie barwy czerwonej. Do rejestracji obrazów plamek laserowych wykorzystano kamerę CMOS o rozdzielczości 640 na 480 pikseli [Ćmielewski *et al.*, 2011a; Kuchmister *et al.*, 2012]. Podczas prac eksperymentalnych średnia wielkość piksela (rozdzielczość geometryczna obrazu) była na poziomie 0,066 mm. Przy ustalonych warunkach rejestracji obrazów wielkość obrazu plamki charakteryzowały następujące uśrednione parametry: pole powierzchni - 1714 pikseli (7.5 mm²), ekwiwalentna średnica - 46 pikseli (3.04 mm) i ekscentryczność - 0.505.

Identyfikację położenia środków energetycznych poszczególnych plamek laserowych na zarejestrowanych obrazach przeprowadzono metodą automatyczną. Schemat algorytmu przetwarzania zarejestrowanych obrazów przedstawiono na rysunku 4 [Kuchmister *et al.*, 2012]. Sposób opracowania zarejestrowanych obrazów jest zgodny z zasadami cyfrowego przetwarzania obrazów [Tadeusiewicz i Korohoda, 1997]. Rejestrowane obrazy kamerą CMOS były kolorowe (kanały RGB). Etap wstępnego przetwarzania obejmował: zmianę obrazu kolorowego na obraz w tonach szarości (GRAY), rozciągnięcie kontrastu i filtrację filtrem medianowym (wygładzenie obrazu). Następnym etapem była segmentacja, podczas której wyodrębniany był obraz plamki laserowej. Dla tak wyselekcjonowanego obszaru

wyznaczone były współczynniki kształtu i współczynniki momentowe. W dalszych obliczeniach, których celem było wyznaczenie różnic odległości d_i wzięto pod uwagę wyznaczone centroidy i pole powierzchni wyselekcjonowanych obrazów plamek laserowych. Podczas wstępnych prac, związanych z kalibracją zestawu pomiarowego, określono dokładność zastosowanej metody pomiaru.

a. Wstępne prace testowo - przygotowawcze (kalibracja zestawu pomiarowego)

Pierwszym etapem prac badawczych była kalibracja zestawu pomiarowego, której celem było sprawdzenie słuszności założeń teoretycznych konstrukcji profilografu oraz sprawdzenie rzeczywistej dokładności skonstruowanego modelu. Kalibracja polegała na wykonaniu cyklu zdjęć odpowiadających przesunięciom zestawu pomiarowego względem nieruchomego ekranu, którym była płaska tarcza o jasnej powierzchni. Przesunięcia profilografu względem ekranu projekcyjnego wykonano śrubą mikrometryczną stolika, o nominalnej dokładności odczytu przesunięcia 0.01 mm (rys. 5). W wyniku tych prac zarejestrowano 81 obrazów, odpowiadających 34 testowym położeniom kalibracyjnym w zakresie od -4.5 mm do +12 mm, z przesunięciem profilografu śrubą mikrometryczną o wartość 0.5 mm. Przykładowe zarejestrowane obrazy podczas wstępnej kalibracji profilografu przedstawiono na rysunku 6. Uzyskane wyniki z kalibracji profilografu laserowego zestawiono w tabeli 1 i zilustrowano na rysunku 8.



Rys. 4. Schemat procesu wyznaczenia środka energetycznego plamki laserowej z wizualizacją poszczególnych etapów cyfrowego przetwarzania obrazu

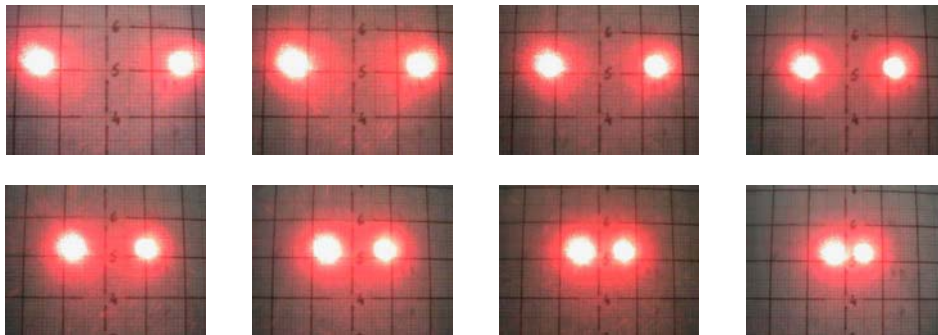
Na podstawie wyznaczonych współrzędnych środków energetycznych zarejestrowanych obrazów plamek laserowych, stosując metodę najmniejszych kwadratów, obliczono współczynniki wielomianu linii trendu niezależnie dla śladów lewego i prawego promienienia laserowego (rysunki 8A i 8B).

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można było określić podstawową miarę jakości dopasowania modelu, czyli współczynniki determinacji R^2 . Wyznaczone równania modelu oraz wartości współczynników R^2 dla obu laserowych wiązek wcinających podano również na rysunku 8. Obliczona średnia wartość poprawki w wyznaczonych modelach kalibracyjnych dla śladu plamki lewej i prawej wyniosła odpowiednio 0.85 i 1.02 piksela.

Na rysunku 6 przedstawiono zarejestrowane obrazy dla przykładowych ośmiu zadanych śrubą mikrometryczną położen profilografu względem ekranu. Zakres zmian wynosił od +10.00 mm do -4.00 mm, ze skokiem co 2.00 mm.



Rys. 5. Prototyp profilografu laserowego podczas kalibracji



Rys. 6. Przykłady zarejestrowanych obrazów podczas wstępnej kalibracji profilografu

W tabeli 1 przedstawiono uśrednione wyniki pomiarów na zarejestrowanych obrazach przy zadanych przesunięciach profilografu śrubą mikrometryczną oraz skalibrowane odległości pomiędzy wyznaczonymi środkami energetycznymi plamek laserowych. Obliczone odległości a'_i tak skalibrowanego urządzenia pozwalają określić różnicę odległości d_i (rys. 3.). Zależność pomiędzy odległościami a_i i d_i nie jest zależnością liniową z uwagi na występowanie zjawiska dystorsji obiektywu kamery – rysunek 8C. Zależność ta byłaby liniowa w przypadku występowania tylko zmiany skali rejestrowanego obrazu ze względu na zmianę odległości pomiędzy profilografem a powierzchnią obiektu pomiaru.

Analizę dokładności pomiaru opracowanego prototypu urządzenia dokonano na podstawie par spostrzeżeń, które stanowiły różnice pomiędzy odległością zadaną śrubą mikrometryczną a odległością wyznaczoną na zarejestrowanych obrazach. Błąd średni, otrzymany na podstawie par spostrzeżeń, wyniósł ± 0.006 mm.

Tabela 1. Uzyskane wyniki z kalibracji profilografu laserowego

Zadany odczyt na podziale śruby mikrometrycznej D	Położenie środków energetycznych plamek laserowych				Skalibrowane odległości pomiędzy środkami energetycznymi plamek $a' = x'p - x'l$
	Plamka lewa		Plamka prawa		
	Pomierzone położenie $x'l$	Położenie po korekcji $x'l$	Pomierzone położenie xp	Położenie po korekcji $x'p$	
[mm]	[pix]	[pix]	[pix]	[pix]	[pix]
12.00	80.87	79.90	591.91	592.76	512.86
11.50	87.42	87.15	584.24	585.00	497.84
11.00	95.09	94.38	577.14	577.29	482.91
10.50	100.98	101.57	569.80	569.63	468.06
10.00	108.03	108.72	563.34	562.03	453.30
9.50	114.37	115.84	556.06	554.48	438.64
9.00	123.04	122.91	547.34	546.99	424.08
8.50	129.88	129.94	541.05	539.56	409.62
8.00	136.48	136.92	532.45	532.19	395.27
7.50	143.30	143.85	523.87	524.87	381.02
7.00	150.02	150.73	517.05	517.62	366.89
6.50	157.20	157.56	509.75	510.43	352.88
6.00	163.83	164.32	501.59	503.31	338.99
5.50	171.31	171.03	494.76	496.25	325.22
5.00	178.56	177.67	489.55	489.25	311.58
4.50	186.28	184.25	482.36	482.32	298.08
4.00	192.34	190.76	475.40	475.46	284.71
3.50	197.74	197.19	469.20	468.67	271.48
3.00	204.01	203.56	461.83	461.94	258.39
2.50	209.78	209.84	455.74	455.29	245.45
2.00	216.64	216.05	448.30	448.71	232.66
1.50	222.30	222.17	442.74	442.20	220.03
1.00	228.14	228.21	435.69	435.77	207.55
0.50	233.73	234.17	429.87	429.41	195.24
0.00	239.58	240.03	423.48	423.13	183.10
-0.50	245.32	245.80	417.14	416.92	171.12
-1.00	250.96	251.47	409.41	410.79	159.32
-1.50	257.18	257.05	404.19	404.74	147.69
-2.00	263.26	262.52	398.35	398.77	136.25
-2.50	267.81	267.89	392.42	392.89	124.99
-3.00	273.61	273.16	387.43	387.08	113.92
-3.50	278.41	278.32	381.24	381.36	103.04
-4.00	283.55	283.36	375.69	375.72	92.36
-4.50	288.50	288.29	370.38	370.17	81.88

b. Pomiar kołowości wrzeciona tokarki

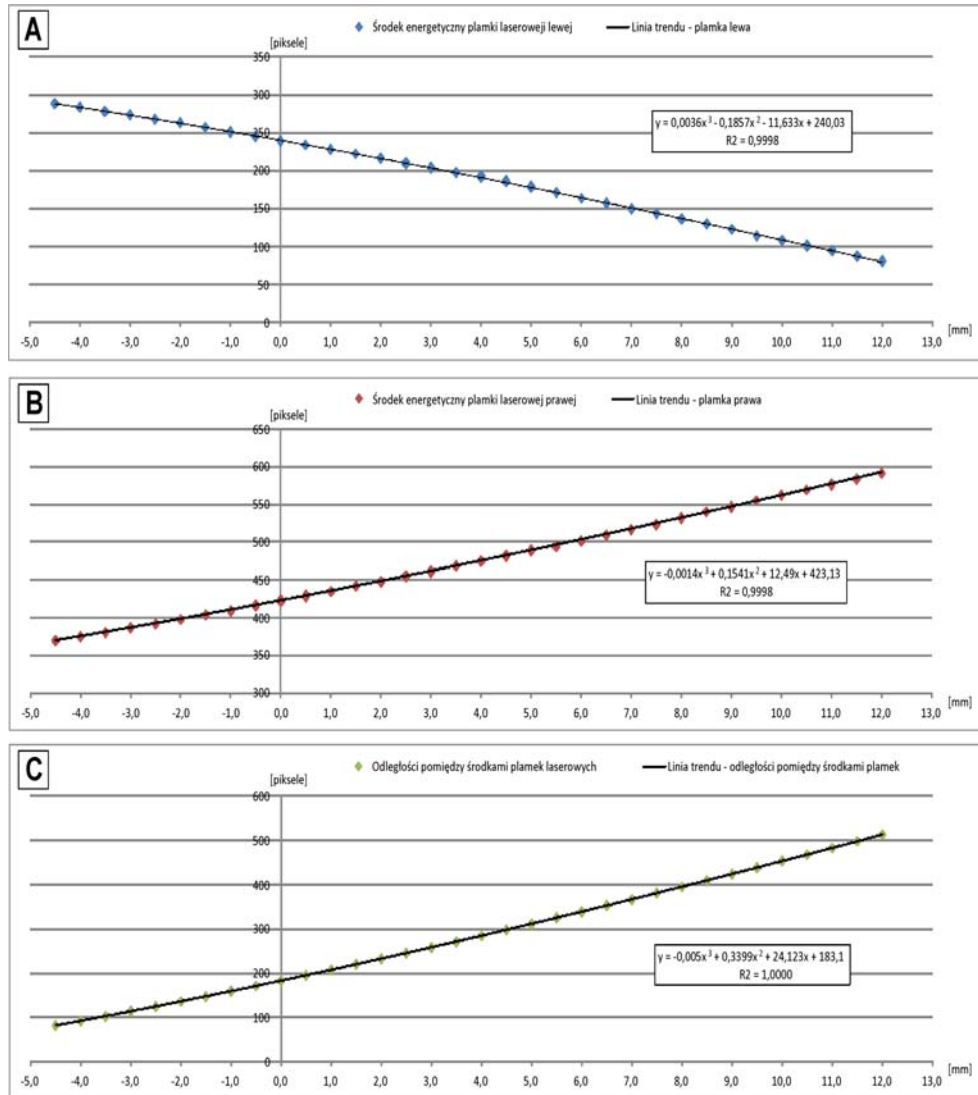
Otrzymane wyniki z wstępnych prac testowo-przygotowawczych potwierdziły, że skonstruowany prototyp spełnia teoretyczne założenia konstrukcyjno-funkcjonalne i dokładnościowe. W związku z tym przystąpiono do prac badawczo-pomiarowych, które przeprowadzono na wrzecionie tokarki typu TUE-40 (rys. 7). W ramach prac pomiarowych, w pierwszym etapie dokonano rejestracji sekwencji obrazów, które posłużyły do skalibrowania profilografu po ustawieniu jego na obiekcie pomiarowym. Następnie przystąpiono do pomiaru kołowości wrzeciona, którą wykonano w 6 położeniach pomiarowych, rozmieszczonych na obwodzie uchwyty tokarskiego co ok. 60 stopni. Doświadczenia zrealizowano w 3 cyklach obserwacyjnych. Kontrolnie wykonano również pomiary kołowości wrzeciona za pomocą czujnika zegarowego, posiadającego nominalną dokładność pomiaru 0.01 mm. Umożliwiło to porównanie wyników pomiarów w oparciu o parę spostrzeżeń i wyznaczenie dokładności zrealizowanego pomiaru profilografem. Otrzymana doświadczalnie dokładność pomiarowa wyniosła ± 0.088 mm.



Rys. 7. Profilograf optoelektroniczny podczas badania kołowości wrzeciona tokarki

W tabeli 2 zestawiono, analogicznie jak podczas badań wstępnych profilografu laserowego, wyniki jego kalibracji na obiekcie pomiarowym. Kalibrację profilografu na obiekcie pomiarowym przeprowadzono dla zadanych odczytów na podziale śruby mikrometrycznej D w zakresie od 9.00 mm do 11.00 mm, ze skokiem co 0.20 mm. Dla tak zadanych odczytów wyznaczono skalibrowane odległości pomiędzy środkami energetycznymi plamek laserowych prawej i lewej.

W tabeli 3 zestawiono wyniki pomiaru wrzeciona tokarki, z zastosowaniem profilografu laserowego, w wybranych położeniach pomiarowych wrzeciona. Na podstawie wyników przeprowadzonej wcześniej kalibracji urządzenia na obiekcie, obliczono skalibrowane odległości a' pomiędzy środkami energetycznymi zarejestrowanych plamek laserowych. Efektem końcowych obliczeń jest wyznaczone położenie profilografu w stosunku do powierzchni wrzeciona tokarki, odniesione do odczytów śruby mikrometrycznej. Dzięki temu można porównać tak obliczone odczyty D' na podziale śruby mikrometrycznej z odczytami wcześniej zadanymi.



Rys. 8. Wykresy ilustrujący wyniki kalibracji zestawu pomiarowego:
Ślady środków energetycznych plamek laserowych lewej diody z wyznaczoną linią trendu (A);
Ślady środków energetycznych plamek laserowych prawej diody z wyznaczoną linią trendu (B);
Skalibrowane odległości pomiędzy środkami energetycznymi plamek laserowych emitowanych przez diodę prawą i lewą wraz z linią trendu (C)

Tabela 2. Wyniki z kalibracji profilografu laserowego na obiekcie pomiarowym

Zadany odczyt na podziale śruby mikrometrycznej D	Położenie środków energetycznych obrazów plamek laserowych				Skalibrowane odległości pomiędzy środkami energetycznymi plamek $a' = x'p - x'l$
	Plamka lewa		Plamka prawa		
	Pomierzone położenie $x'l$	Położenie po korekcji $x'l$	Pomierzone położenie $x'p$	Położenie po korekcji $x'p$	
[mm]	[pix]	[pix]	[pix]	[pix]	[pix]
9.00	190.44 190.33	190.46	336.14 336.25	335.81	145.35
9.20	191.14 191.00	190.79	333.90 334.00	334.59	143.81
9.40	191.24 191.21	191.42	333.50 333.58	333.54	142.12
9.60	192.13 192.13	192.31	332.39 332.94	332.60	140.30
9.80	193.36 193.55	193.38	332.07 332.00	331.74	138.35
10.00	194.60 194.85 194.60	194.60	330.87 330.74 331.09	330.90	136.30
10.20	196.11 195.72	195.89	330.06 330.06	330.04	134.15
10.40	197.26 197.20	197.20	329.37 329.00	329.12	131.91
10.60	198.27 198.71	198.48	327.94 328.00	328.08	129.60
10.80	199.70 199.26	199.67	326.50 326.63	326.89	127.22
11.00	200.94 200.68	200.70	325.64 325.83	325.49	124.79

W tabeli 4 zestawiono wyniki pomiarów błędów kołowości wrzeciona tokarki typu TUE-40 wykonane czujnikiem zegarowym i profilografem laserowym. Otrzymane wyniki pomiarów posłużyły do wyznaczenia dokładności pomiaru kołowości wrzeciona tokarki opracowanym profilografem laserowym.

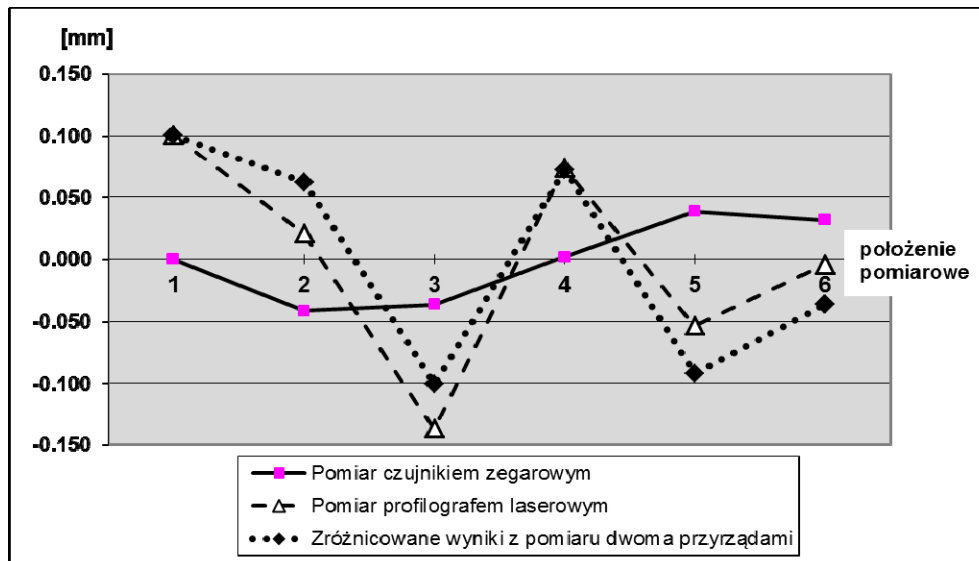
Na rysunku 9 zilustrowano wykresy błędów kołowości wrzeciona tokarki typu TUE-40 wyznaczonych czujnikiem zegarowym i profilografem laserowym w 6 zadanych położeniach pomiarowych. Dodatkowo linią kropkową przedstawiono zróżnicowane wyniki pomiaru kołowości dwoma przyrządami. Uzyskana różnica waha się w granicach od -0.10 mm do +0.10 mm. Różnice te wynikają z dokładności pomiarowej profilografu laserowego.

Tabela 3. Uzyskane wyniki pomiaru wrzeciona tokarki profilografem laserowym w 6 położeniach pomiarowych

Punkty pomiarowe	Położenie środków energetycznych plamek laserowych						Skalibrowane odległości pomiędzy środkami energetycznymi plamek $a' = x'p - x'l$	Obliczony odczyt śruby mikrometrycznej D'
	Plamka lewa			Plamka prawa				
	Wynik pomiaru $x'l$	Obliczona korekta v	Położenie po korekcie $x'l' = x'l - v$	Wynik pomiaru xp	Obliczona korekta v	Położenie po korekcie $x'p = xp - v$		
	[pix]	[pix]	[pix]	[pix]	[pix]	[pix]		
1-1	195.04	0.02	195.02	331.03	-0.04	331.07	136.05	10.026
1-2	194.88	0.02	194.85	330.50	-0.03	330.53	135.67	10.062
1-3	194.93	0.02	194.91	330.91	-0.04	330.95	136.03	10.028
1-4	195.13	0.02	195.11	331.28	-0.04	331.33	136.21	10.011
2-1	194.78	0.03	194.76	331.43	-0.05	331.48	136.72	9.962
2-2	194.62	0.03	194.59	331.19	-0.04	331.23	136.64	9.970
2-3	194.67	0.03	194.64	331.72	-0.05	331.77	137.13	9.923
3-1	193.87	0.04	193.83	332.53	-0.06	332.59	138.76	9.760
3-2	193.75	0.04	193.71	332.07	-0.06	332.12	138.41	9.796
3-3	193.98	0.04	193.94	331.99	-0.06	332.05	138.11	9.826
4-1	194.68	0.03	194.65	330.81	-0.03	330.84	136.19	10.013
4-2	194.47	0.03	194.44	330.79	-0.03	330.82	136.38	9.994
4-3	194.90	0.02	194.87	331.08	-0.04	331.12	136.25	10.007
5-1	194.14	0.04	194.11	331.50	-0.05	331.55	137.44	9.892
5-2	194.01	0.04	193.98	331.62	-0.05	331.67	137.70	9.867
5-3	194.46	0.03	194.43	332.01	-0.06	332.07	137.64	9.873
6-1	194.58	0.03	194.55	331.66	-0.05	331.71	137.16	9.919
6-2	194.84	0.02	194.81	331.63	-0.05	331.68	136.87	9.948
6-3	194.70	0.03	194.67	331.85	-0.05	331.91	137.23	9.912

Tabela 4. Wyznaczenie błędów kołowości wrzeciona tokarki typu TUE-40

Położenie pomiarowe	Pomiar czujnikiem zegarowym		Pomiar profilografem laserowym		Różnica w pomiarze kołowości dwoma metodami
	Odczyt	Błąd kołowości	Odczyt	Błąd kołowości	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
1	5.210	0.000	10.032	0.100	0.100
2	5.168	-0.042	9.952	0.021	0.062
3	5.173	-0.037	9.794	-0.137	-0.100
4	5.212	0.002	10.005	0.074	0.072
5	5.248	0.038	9.877	-0.054	-0.092
6	5.242	0.032	9.927	-0.004	-0.036



Rys. 9. Wykresy błędów kołowości wrzeciona tokarki typu TUE-40 wyznaczonych czujnikiem zegarowym i profilografem laserowym w 6 położeniach pomiarowych

Dokładność pomiaru profilografem na obiekcie jest mniejsza niż uzyskana podczas kalibracji na ekranie. Spowodowane jest to następującymi czynnikami:

- kolor wrzeciona jest szary, przez co identyfikacja plamki laserowej jest gorsza niż na jasnej tarczy ekranu;
- struktura wrzeciona powoduje rozproszenie padającego światła laserowego;
- wrzeciono posiada określony promień krzywizny, w związku z tym powtarzalność obserwacji podczas jego obrotu nie jest zachowana (wyniosła ona około $\pm 1^0$);
- krzywizna wrzeciona powoduje również zróżnicowanie kształtu obrazu rejestrowanych plamek laserowych.

4. PODSUMOWANIE

Technika laserowa w połączeniu z techniką obrazową umożliwia tworzenie narzędzi wspomagających pomiary geodezyjne i warsztatowe. Przykładem może być zaprezentowany profilograf optoelektroniczny. Pomiarowe techniki warsztatowe i geodezyjne mają charakter stykowy – narzędzie pomiarowe ma kontakt bezpośredni z przedmiotem obserwacji. Metoda pomiaru kołowości z użyciem zaprezentowanej aparatury umożliwia wykonanie obserwacji bezkontaktowych, np. podczas ruchu obrotowego elementu maszyny. Jest to pomiar kinematyczny, który pozwala uzyskać wyniki pomiaru kołowości podczas wykonywania prac produkcyjnych przez badaną maszynę.

Emitowane wiązki laserowe ze stałej bazy obserwowane są pod postacią plamek laserowych na powierzchni wrzeciona przez kamerę CCD/CMOS i rejestrowane w postaci obrazów na dysku komputera. Na podstawie zarejestrowanych obrazów oraz przy pomocy autorskiego programu określone są środki energetyczne plamek laserowych. Wyznaczone

współrzędne plamek laserowych pozwalają określić odchyłkę od kołowości badanego elementu obrotowego z dokładnością ± 0.088 mm.

Zaprezentowane badania dotyczą wstępnych prac badawczo-eksperymentalnych. Prace te w kolejnych etapach będą rozwijane. Ich celem będzie podniesienie dokładności pomiarowej profilografu na obiektach pomiarowych, m.in. przez zastosowanie kamery o lepszych parametrach.

5. LITERATURA

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 Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 9(4), 3–16.

Ćmielewski K., Kuchmister J., Gołuch P., Patrzalek Z., Kowalski K., 2011a. Laser plummet testing with the use of the optoelectronic elements. *Reports on Geodesy*, Vol. 1, No. 90, Warszawa 2011, 93-100.

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

Dudik K., 1985. Poradnik tokarza. *WNT*, Warszawa.

Gocał J., 1993. Metody i instrumenty geodezyjne w precyzyjnych pomiarach maszyn i urządzeń mechanicznych. *Wydawnictwo AGH*, Kraków.

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.

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.

Tadeusiewicz R., Korohoda P., 1997. Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, *FPT*, Kraków.

USE OF PHOTOGRAMMETRIC METHOD AND LASER TECHNOLOGY FOR DETERMINING OF GEOMETRIC DEVIATIONS OF THE ROTARY ELEMENTS

KEY WORDS: mono-photogrammetry, surveying equipment, optoelectronic technology

Summary

The paper presents the results of measurements of geometric deviations of the rotary element using optoelectronic technique. Research work was carried out on the example of measuring spindle lathe (lathe type TUE-40). In the work was used a prototype instrument, creating measurement set, which includes: the profilograph (two lasers emit laser beams with red color) and measuring receiver (camera CCD / CMOS sensor combined with a portable computer). Laser beams emitted from a fixed base are observed in the form of laser spots on the surface of the spindle by CCD/CMOS sensor and

recorded in the form of single images or video on your computer. Images or video recording is carried out at with predefined frequency. Based on recorded images, and using the original program are determined centroid of laser spots. The designated coordinates of the laser spots allow to specify the deviations of the rotary of the test element with the accuracy not exceeding ± 0.088 mm.

Dane autorów:

Dr inż. Piotr Gołuch
e-mail: piotr.goluch@up.wroc.pl
telefon: 71 320 56 93
fax: 71 320 56 17

Dr inż. Kazimierz Ćmielewski
e-mail: kazimierz.cmielewski@up.wroc.pl
telefon: 71 320 19 56

Dr inż. Janusz Kuchmister
e-mail: janusz.kuchmister@up.wroc.pl
telefon: 71 320 56 84