

WYKORZYSTANIE INTERFEROMETRU LASEROWEGO W POMIARACH WIELKOŚCI GEOMETRYCZNYCH I KONSTRUKCYJNYCH MASZYN ROLNICZYCH

Paweł Zagajski, Kazimierz A. Dreszer

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Obecnie stosowane systemy laserowe mogą być wykorzystywane w procedurach osiowania wałów, określania prostoliniowości otworów i gniazd łożysk jak również do osiowania kół. Pomiary z wykorzystaniem interferometru laserowego nie wymagają od osoby sprawdzającej szczególnie wysokich kwalifikacji gdyż obsługa aparatury pomiarowej sprowadza się do zainstalowania i wyregulowania układu optycznego. Ponadto zastosowanie systemu laserowego ułatwia pomiar i pozawala na osiągnięcie znacznie wyższej dokładności pomiarowej w porównaniu z tradycyjnymi metodami pomiarowymi. Wyżej wymienione powody zadecydowały, że coraz częściej tradycyjne przyrządy pomiarowe zastępowane są systemami laserowymi. W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki pomiarów wybranych wielkości konstrukcyjnych trzębnowego separatora ziarna z wykorzystaniem laserowego systemu pomiarowego LSP 30 firmy LASERTEX.

Słowa kluczowe: trzębnowy separator, laserowy system pomiarowy LSP 30, pomiar wielkości geometrycznych.

Wstęp

Opracowane w 1958 r. przez Szawłowa i Townesa urządzenie zwane laserem, wykorzystujące zjawisko wzmocnienia światła drogą wymuszonej emisji promieniowania przyczyniło się do postępu w wielu dziedzinach nauki i techniki. Emitowane światło laserowe dzięki takim właściwościom (cechom) jak monochromatyczność oraz spójność wiązki w czasie i w przestrzeni znalazło szczególnie zastosowanie w metrologii. Obecnie stosowane systemy laserowe mogą być wykorzystywane w procedurach osiowania wałów, określania prostoliniowości otworów i gniazd łożysk jak również do osiowania kół. Pomiary z wykorzystaniem interferometru laserowego nie wymagają od osoby sprawdzającej szczególnie wysokich kwalifikacji gdyż obsługa aparatury pomiarowej sprowadza się do zainstalowania i wyregulowania układu optycznego. Ponadto zastosowanie systemu laserowego ułatwia pomiar i pozawala na osiągnięcie znacznie wyższej dokładności pomiarowej w porównaniu z tradycyjnymi metodami pomiarowymi. Wyżej wymienione powody zadecydowały, że coraz częściej tradycyjne przyrządy pomiarowe zastępowane są systemami laserowymi. W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki pomiarów wybranych wielkości konstrukcyjnych trzębnowego separatora ziarna z wykorzystaniem laserowego systemu pomiarowego LSP 30 firmy LASERTEX.

Cel i zakres pracy

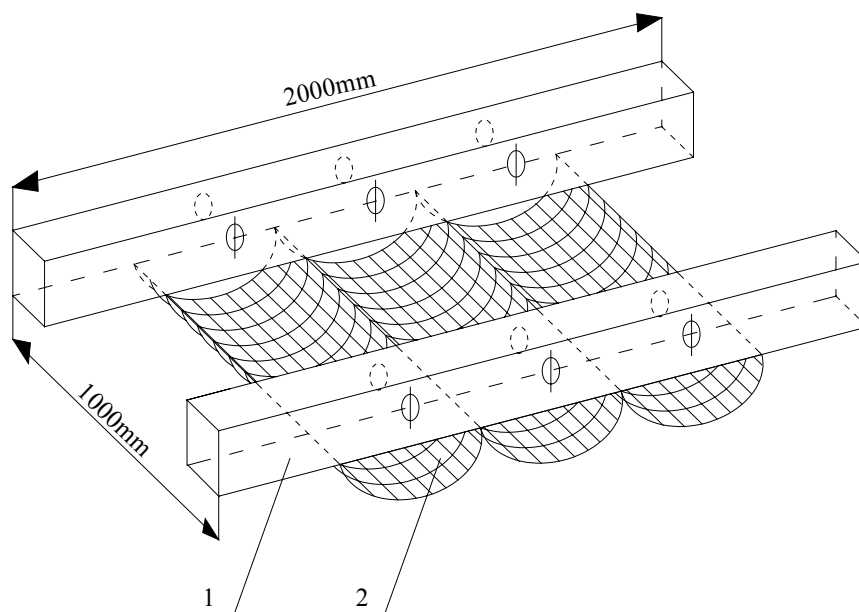
Celem pracy był pomiar prostoliniowości i prostopadłości ramy trzybębnowego separatora ziarna.

Realizacja przyjętego zakresu badań wymagała przeprowadzenia prac i procedur w następującym zakresie:

- ustawienia konstrukcji ramy,
- przygotowania aparatury pomiarowej i oprzyrządowania,
- wykonania pomiaru.

Obiekt badań i aparatura badawcza

Obiektem badanym był zaprojektowany na cele badawcze trzybębnowy separator ziarna, w którym rama nośna (1) z klepiskami (2) stanowią podstawę konstrukcji (rys. 1).



Rys. 1. Schemat ramy trzybębnowego separatora ziarna: 1 – rama, 2 – klepiska wydzielające wg. [Zagajskiego 2007; Dreszera, Gieroby 1989]

Fig. 1. The scheme of three-drum grain separator: 1 – frame, 2 – threshing concave. [Zagajski 2007; Dreszer, Gieroba 1989]

W celu zapewnienia prawidłowej pracy zespołów separujących a co za tym idzie bezawaryjnej i długotrwałej pracy, zespół musi spełniać wymagania w zakresie:

- odchylenia od prostoliniowości ramy,
- odchylenia od prostopadłości ramy.

Jako aparaturę badawczą wykorzystano laserowy system pomiarowy LSP 30 firmy LASERTEX. Jest to dwuczęstotliwościowy laser Zeemanowski He-Ne ze stabilizacją częstotliwości promieniowania. Podstawowe parametry pomiarowe interferometru zestawiono w (tabeli 1), natomiast schemat blokowy przedstawia (rys. 2).

Pomiar	Zakres	Rozdzielczość	Dokładność
Przemieszczenie	0÷30 m	0,1µm (0,01 µm)	1,5 µm/m
Szybkość przemieszczania	0÷0,3 m/s	3 µm/s	0,1 %
Odchylenie kątowe	0÷3600 sec	0,6 sec	± 0,2 %
Prostoliniowość (metodą kątową)	0÷12 m	0,3 µm/100 mm	± 0,3 %
Płaskość	0÷3 m	0,3 µm/100 mm	± 0,3 %
Prostoliniowość (metodą uchylną)	0÷3 m	1 µm	± 2 %
Prostopadłość (metodą uchyleń)	± 1000sec	0,3 sec	± 1 % + (1,5 sec)
Podziały kątowe	0-360° co 5°	0,6 sec	± 0,2 %

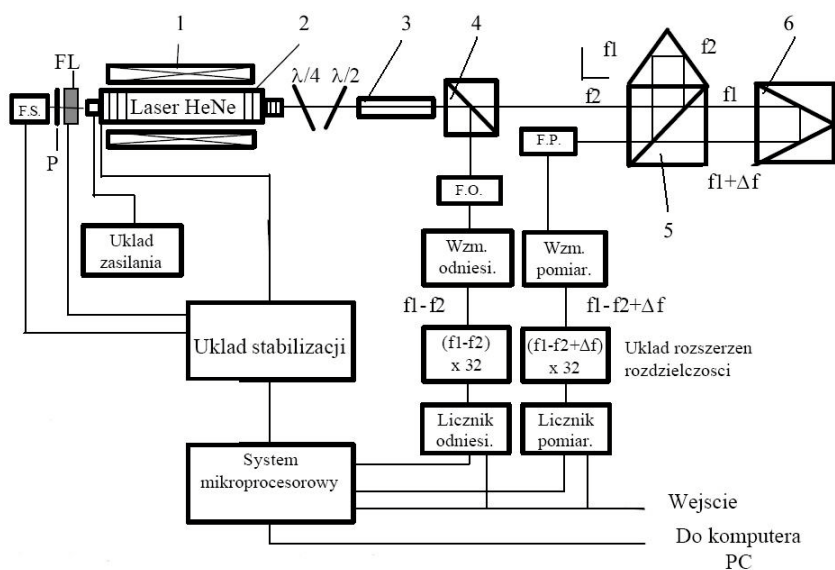


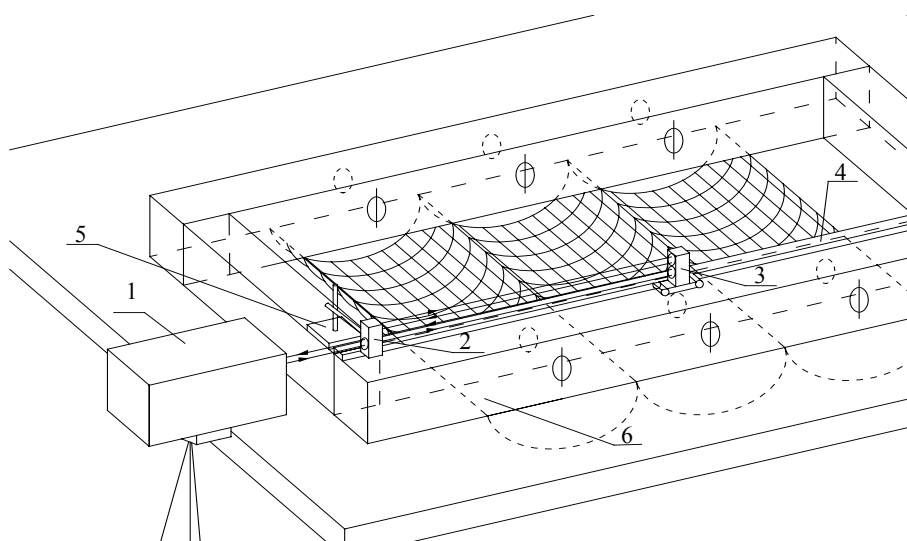
Fig. 2. The block scheme of laser interferometer LSP 30: 1 – magnet, 2 – radiator, 3 – telescope, 4 – divider, 5 – interferometer, 6 – retroprism, P – polarizer, F.S., F.P. – detector

Ponadto w skład laserowego systemu pomiarowego LSP 30 firmy LASERTEX wchodziło następujące elementy: optyka do pomiarów kątowych, uchwyt magnetyczny czujniki temperatury, komputer, tripol.

Realizacja przyjętego zakresu badań

Realizację przyjętego zakresu badań rozpoczęto do ustawienia badanego elementu. Badaną ramę trzypiętowego systemu młocącego ustawiono na płaskiej powierzchni (w konkretnym przypadku był to zaprojektowany blat stół). Przed przystąpieniem do pomiarów stół wraz z ramą wypoziomowano.

Prostoliniowość konstrukcji a szczególnie ramy nośnej ma istotne znaczenie dla poprawności pracy wielopiętowego zespołu wydzielającego. Sprawdzanie dokładności wykonania badanej ramy rozpoczęto od sprawdzania odchylenia o prostoliniowości. Aparaturę pomiarową rozmieszczono w sposób przedstawiony na (rys. 3). Rozmieszczenie aparatury pomiarowej (2, 3) ilustruje (rys. 3).

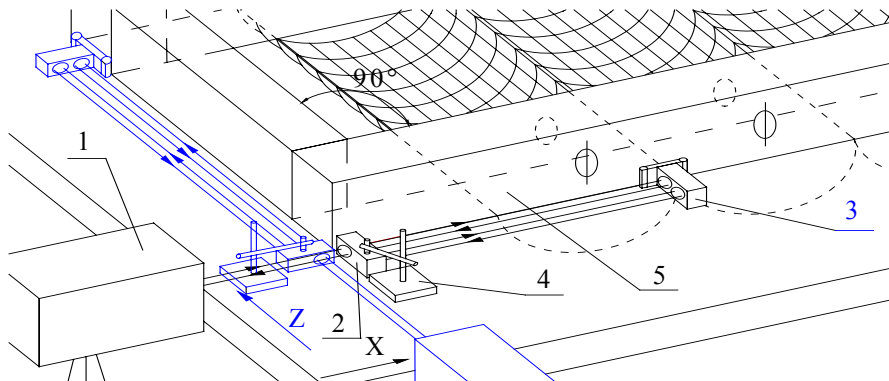


Rys. 3. Pomiar prostoliniowości: 1 – głowica laserowa, 2 – interferometr kątowy, 3 – retroreflektor kątowy, 4 – liniał prowadzący, 5 – uchwyt magnetyczny, 6 – rama

Fig. 3. Measurement of rectilinearity: 1 – head of laser, 2 – angularly interferometer, 3 – angularly retroreflector, 4 – straight-edge, 5 – shank magnet, 6 – frame

Po dokonaniu pomiarów prostoliniowości ramy dokonano sprawdzenia jej prostokątności. Jest to parametr określający stopień zdeformowania ramy w płaszczyźnie XZ.

Sprawdzanie prostokątności sprowadza się do wykonania pomiaru prostoliniowości ramy w osi X oraz w osi Z. Po dokonaniu pomiarów w obydwu osiach korzystając z opcji dostępnej przy pomiarze prostoliniowości wczytujemy wyniki pomiarów osi X i Z a program określa odchylenie od prostokątności (rys. 4 a, b).



Rys. 4.(a, b). a) pomiar w osi X; b) pomiar w osi Z: 1 – głowica laserowa, 2 – interferometr kątowy, 3 – retroreflektor kątowy, 4 – uchwyt magnetyczny, 5 – rama

Fig. 4. (a,b). a) measurement in X axis; b) measurement in Z axis: 1 – head laser, angularly interferometer, 3 - angularly retroreflector, 4 - shank magnet, 5 – frame

W przypadku braku prostoliniowości ramy nośnej, osie bębnow separatorów są skoszone a szczeliny robocze pomiędzy bębnami a klepiskami nie są jednakowe. W konsekwencji powoduje to że przestrzeń robocza pomiędzy wyżej wymienionymi elementami nie jest jednakowo obciążona w czasie pracy.

Wyniki badań

Każdy wynik pomiaru obarczony jest błędem a jego ocena należy do najtrudniejszych zadań. Jest to spowodowane brakiem pełnej informacji na temat zjawisk fizycznych zachodzących w układzie pomiarowym (w chwili pomiaru). W celu ograniczenia błędu spowodowanego warunkami atmosferycznymi zastosowany system pomiarowy wyposażony był w temperaturową kompensację błędu. Dzięki kompensacji błędu otrzymane wyniki pomiaru zbliżone są do wartości rzeczywistej (tabela 2).

Tabela 2. Wyniki pomiarów prostoliniowości ramy
Table 2. Measurement of frame rectilinearity

Prawy profil ramy					Lewy profil ramy			
Lp.	Ds.śr.	Ds.śr.	Odchylenie standardowe	Niepewność 3σ	Ds.śr.	Ds.śr.	Odchylenie standardowe	Niepewność 3σ
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	0,666	0,624	0,112	0,137	0,712	0,875	0,095	0,116
2	0,694				0,825			
3	0,468				0,878			
4	0,497				0,955			
5	0,684				0,968			
6	0,734				0,910			

W oparciu o otrzymane wyniki można przyjąć, że rama wykonana jest w prawidłowy sposób, gdyż jej prostopadłość wynosi $89^{\circ}55'$.

Analiza błędu i dyskusja wyników

Niepewność pomiaru może być obciążona licznymi błędami przyrządu pomiarowego. Przyczyną wielu błędów występujących podczas pomiarów jest temperatura, zatem ważny jest jej dokładny pomiar i uwzględnienie w poprawkach.

Kolejnym istotnym błędem jest błąd drogi martwej, związany ze zmianami warunków otoczenia podczas pomiaru. Pojawia się on gdy zmieniają się parametry otoczenia wpływające na zmianę długości fali oraz wtedy gdy się temperatura materiału na którym ustawione są interferometr i reflektor. Błąd drogi martwej jest tym większy, im większa jest odległość między interferometrem, a punktem bazowym.

Rozregulowanie ścieżki światła laserowego powoduje rozbieżności między odległością zmierzoną, a odległością faktycznie przebytą.

Błędy wprowadzane przez ruchy katowe są związane z regułą, która mówi, że maksymalną dokładność może być osiągnięta tylko wtedy, gdy wzorzec pomiaru jest w linii z osią mierzonej części. Jeżeli pomiar przemieszczenia jest dokonywany w miejscu oddalonym o pewne przesunięcie od rzeczywistego punktu przemieszczenia, to odległość rzeczywista jest inna od odległości zmierzonej. Na każdą sekundę łuku ruchu katowego wprowadzony jest błąd wynosi on $5\text{ }\mu\text{m}$ na 1 m przesunięcia. Niestabilność lasera czyli zmiana długości fali w czasie, przekłada się bezpośrednio na wartość błędu pomiaru. Błędy pomiarów mogły być spowodowane również błędami przypadkowymi na przykład drganiami podłoża pomiarowego.

Obliczenia niepewności pomiaru a więc określenie przedziału niepewności rozłożonych symetrycznie względem wyniku pomiaru, w którym z określonym prawdopodobieństwem jest zawarty błąd pomiaru. Niepewność pomiaru obliczana dla 3σ co odpowiada przedziałowi ufności $P\alpha=0,99$.

Niepewności pomiaru rozpoczęto od wyznaczenia wartości średniej z zależności:

$$Ds_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ds_i = \frac{3,743}{6} = 0,624\text{mm} \quad (1)$$

Dla wyznaczonej wartości średniej określono odchylenie standardowe:

$$s(Ds) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Ds_i - Ds_{sr})^2} = \sqrt{\frac{0,628}{5}} = 0,112\text{mm} \quad (2)$$

Znając wartość odchylenia standardowego obliczono niepewność pomiaru:

$$u(Ds) = 3 \cdot \frac{s(Ds)}{\sqrt{n}} = 3 \cdot 0,046 = 0,137\text{mm} \quad (3)$$

Podsumowanie

Wykorzystując interferometr laserowy LSP 30 firmy LASERTEX do pomiaru zmierzono:

- odchylenie od prostoliniowości ramy
- odchylenie od prostopadłości ramy

Wymienione parametry mają istotny wpływ na prace wielobębnowych systemów separujących. Odchyłki od prostoliniowości czy też prostopadłości ramy przyczyniają się do niewspółosiowości bębnow separujących. Owa niewspółosiowość przyczynia się do zmiany szczeliny pomiędzy bębniem a klepiskiem oraz obciążenie łożysk itp. Jak wiadomo wielkość szczeliny ma istotny wpływ na jakość wydzielanego ziarna jak również na energochłonność separatora. Bardzo istotnymi parametrami konstrukcyjnymi są również rozstaw łożysk i współosiowość gniazd łożyskowych.

Przeprowadzone pomiary wykazały, że konstrukcja ramy wykazuje odchylenie od prostoliniowości w granicach 0,624 mm dla prawego profilu oraz 0,875 mm dla lewego, natomiast wartość niepewności pomiaru ocenia się odpowiednio na 0,0137 mm i 0,0095 mm. Otrzymana wartość prostopadłości ramy wyniosła $89^{\circ}55'$ jest to zadowalający wynik.

Bez wątpienia przeprowadzone pomiary przy pomocy interferometri laserowej nie wymagają od osoby sprawdzającej specjalnego przeszkolenia, cała trudność sprowadza się do zamocowania i ustawienia układu pomiarowego.

Do najistotniejszych wad wykorzystywanego systemu pomiarowego należy zaliczyć dużą wrażliwość układu na drgania występujące w badanym ośrodku. W czasie przeprowadzania pomiarów w wyniku drgań dość łatwo dochodziło do przerywania wiązki lasera co w konsekwencji prowadziło do konieczności powtórzenia pomiaru.

Pomimo powyższych wad laserowy system pomiarowy LSP 30 z powodzeniem może być wykorzystywany przy pomiarach geometrycznych elementów konstrukcyjnych maszyn.

Bibliografia

- Barzykowski J., Domanska A., Kujawska M., Mrocza J.** 2004 Współczesna metrologia zagadnienia wybrane. WNT. Warszawa. s. 15-57.
- Dreszer K., Gieroba J.** 1989. Opredalenie parametrów kowierno-rotornych separatorów grubego worocha. Sbornik naucznych trudów MIISP im. W.P. Gorjaczkina. Moskwa. s. 100-106.
- Kamińska-Krzowska B., Kujan K.** 1999. Laboratorium metrologii wielkości geometrycznych, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej Lublin. s. 8- 63.
- Patorski K., Kujawska M., Salbut L.** 2005. Interferometria laserowa z automatyczną analizą obrazu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa. s. 8-49.
- Sadowski A.** 1978. Metrologia długości i kąta. WNT. Warszawa. s. 20-78.
- Zagajski P.** 2006. Sprawdzanie dokładności maszyny długościowej 1 m przy pomocy interferometru laserowego LSP 30. Praca Magisterska Politechnika Lubelska. s. 6-60.
- Zagajski P.** 2007. Dokumentacja techniczna i obliczeniowa wielobębnowego zespołu młocącego przeznaczonego dla kombajnu zbożowego. Praca Magisterska Akademia Rolnicza. Promotor Prof. dr hab. inż. Kazimierz A. Dreszer. s. 7-43.
- Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu - Dokument EA-4/02, 2002. GUM.
- Instrukcja obsługi interferometru laserowego LSP30 Compact . 2006. firmy LASERTEX (www.lasertex.com.pl).

LASER INTERFEROMETER USE IN MEASUREMENTS OF GEOMETRICAL SIZES AND CONSTRUCTIONAL AGRICULTURAL MACHINES

Abstract. At present applied laser systems can be used in procedures the axle of ramparts, defining the rectilinearity of openings and nests of bearings how also to axle of wheels. From they utilizations laser interferometer they do not require from checking particularly high qualifications person measurements because the service of measuring apparatus imports to installation and adjusting optical arrangement. Moreover the use of laser system facilitates on achievement of considerably higher measuring exactitude measurement and let in comparison with traditional measuring methods. Above-mentioned reasons decided that laser systems more often traditional measuring instruments be replaced. The results measurements of chosen constructional sizes in present article were presented the three drum separator from utilization the laser measuring system the LSP 30 firm LASERTEX.

Key words: the three drum separator, laser measuring system LSP 30, measurement of geometrical sizes

Adres do korespondencji:

Kazimierz A. Dreszer
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin