

Piotr CZAJKA, Tomasz GIESKO
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK SIŁOWNIKÓW UDAROWYCH Z NASTAWIANĄ OBJĘTOŚCIĄ KOMORY

Słowa kluczowe

Siłownik udarowy, charakterystyki siłownika, triangulacja laserowa.

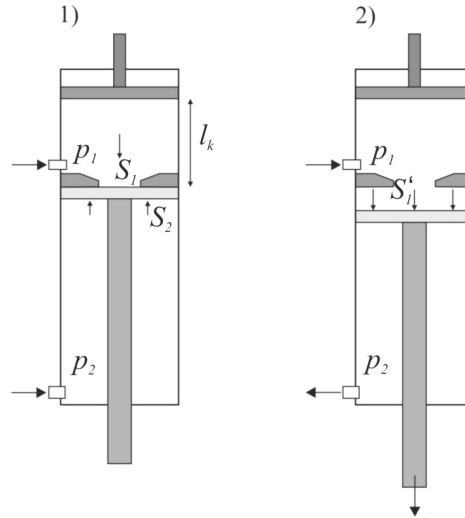
Streszczenie

Metodę bezkontaktowych pomiarów położenia tłoczyska z wykorzystaniem triangulacji laserowej opracowano na potrzeby eksperymentalnego wyznaczania charakterystyk siłownika udarowego. Przeprowadzono badania siłowników udarowych z nastawianą objętością komory. Przedstawiono wyniki analizy charakterystyk siłowników udarowych uzyskanych na drodze eksperymentalnej.

Wprowadzenie

Siłowniki udarowe charakteryzują się dużym przyspieszeniem i dużą prędkością maksymalną ruchu roboczego tłoczyska, a tym samym umożliwiającą uzyskanie znacznej energii kinetycznej [4]. W konstrukcji siłownika udarowego zastosowano przegrodę o nastawianym położeniu l_k , co umożliwi zmianę objętości komory roboczej nad tłokiem (rys. 1). Jeżeli stosunek wartości ciśnień powietrza pod tłokiem i nad tłokiem $p_1:p_2$ nie przekroczy stosunku wartości powierzchni $S_2:S_1$ ($p_1S_1 < p_2S_2$), tłok pozostaje w górnym położeniu w spoczynku (położenie 1). Po otwarciu zaworu wylotowego zachodzi nierówność $p_1S_1 > p_2S_2$, przez co zostaje zapoczątkowany ruch tłoka, przy czym jednocześnie zwiększa się wielokrotnie powierzchnia czynna nad tłokiem S_1' (położenie 2). W efekcie następuje gwałtowny skok roboczy tłoka z prędkością maksymalną do około 12 m/s. W celu osiągnięcia maksymalnego przyspieszenia przez tłoczysko, wy-

lot powietrza z siłownika powinien posiadać odpowiednio duży przekrój. Parametry pracy siłownika udarowego, takie jak przyspieszenie i osiągnięta prędkość maksymalna tłoka zależą w dużym stopniu od objętości komory nad tłokiem [3].



Rys. 1. Zasada działania siłownika udarowego: 1) położenie spoczynkowe, 2) faza skoku

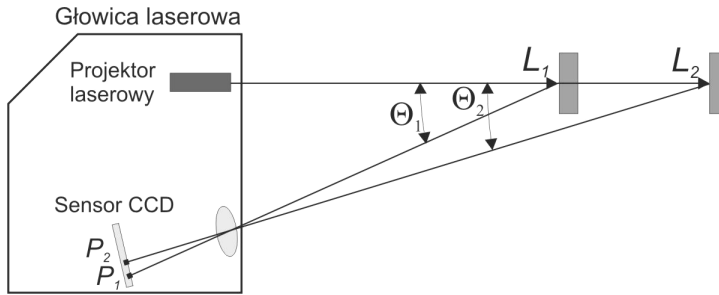
Siłowniki udarowe są stosowane w urządzeniach technologicznych wytwarzania i montażu, w operacjach przebijania, nitowania, znakowania, wykrawania, wtlaczania, krojenia, ścinania.

Zaprezentowana analiza pracy siłownika udarowego wskazuje na potrzebę dysponowania wiedzą o jego charakterystykach, jak: $l = f(t)$, $v = f(t)$, $v = f(l)$.

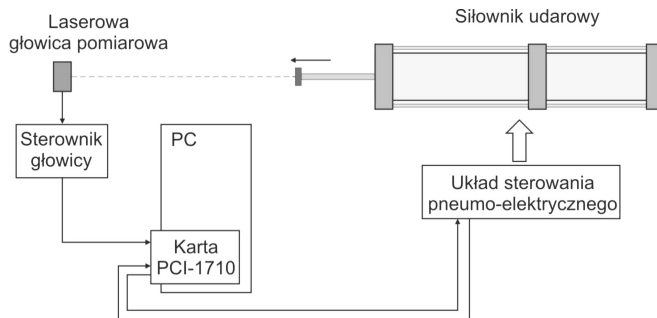
1. Metoda pomiarowa i stanowisko badawcze

Do wyznaczania charakterystyk siłownika udarowego zastosowano metodę pomiarową, polegającą na bezkontaktowym pomiarze położenia tłocyska z wykorzystaniem techniki triangulacji laserowej [1]. Zasada pomiaru polega na projekcji plamki promienia lasera na powierzchni obiektu i jej obserwacji za pomocą układu wizyjnego (rys. 2). W zależności od odległości L danego punktu powierzchni obiektu od emitera wiązki laserowej zmienia się kąt Θ , pod którym jest obserwowana plamka. Do obserwacji położenia plamki zastosowano sensory CCD w połączeniu z układami optycznymi.

W układzie pomiaru skoku roboczego tłocyska siłownika udarowego głowica laserowa połączona jest z układem rejestracji i przetwarzania danych pomiarowych, którym w zrealizowanym rozwiązaniu jest komputer z kartą PCI (rys. 3). Sygnały pomiarowe są wstępnie przetwarzane cyfrowo przez sterownik zintegrowany z głowicą laserową.



Rys. 2. Zasada pomiarów z wykorzystaniem triangulacji laserowej



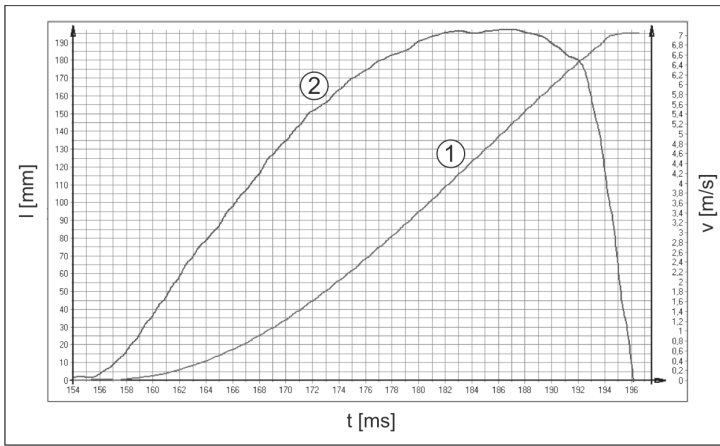
Rys. 3. Struktura układu pomiarowego

Do układu akwizycji dostarczane są kolejne wyniki pomiarów ze stałą częstotliwością. Ruch roboczy tłoczyska siłownika uderowego odbywa się w krótkim czasie (rzędu ms), przez co pomiar przemieszczenia realizowany jest w sposób dyskretny, co ustaloną programowo przerwę czasową. W celu wyznaczenia charakterystyki drogi z wymaganą dokładnością, konieczny jest dobór właściwych parametrów pracy układu pomiarowego i układu akwizycji wyników pomiarów, przede wszystkim okresu próbkowania [1]. W opracowanym stanowisku badawczym zastosowano głowicę laserową LK-503 firmy Keyence o częstotliwości próbkowania ok. 1 kHz, rozdzielczości pomiarowej 0,05 mm i zakresie pomiarowym 500 mm [2]. W celu redukcji zakłóceń wyników pomiarów wynikających z szumu pomiarowego, zastosowano metodę filtracji medianowej. Pierwotną charakterystyką skoku siłownika jest wykres drogi tłoczyska sporządzony w dziedzinie czasu $l = f(t)$. Na podstawie tych wyników była wyznaczana charakterystyka prędkości tłoczyska $v = f(t)$.

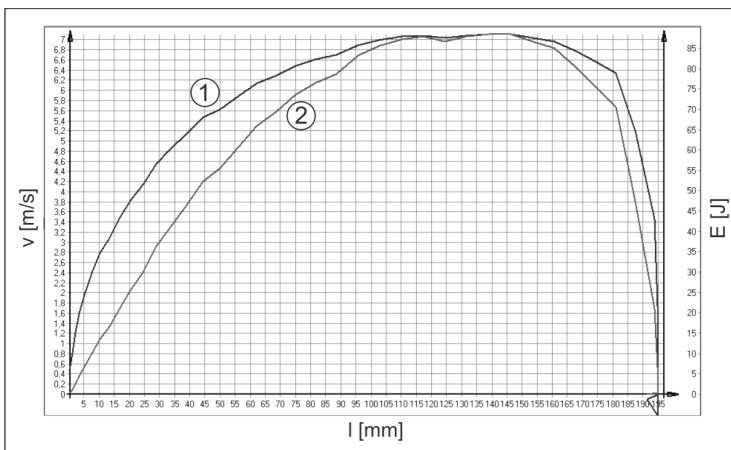
Metoda pomiarowa i stanowisko badawcze umożliwiają wyznaczanie prędkości maksymalnej tłoczyska z niepewnością około 1% oraz skoku tłoczyska siłownika odpowiadającego prędkości maksymalnej z niepewnością około 11% [1]. Niepewność rozszerzona typu A (ze współczynnikiem rozszerzenia $k = 2$) była wyznaczona na podstawie statystycznej analizy danych uzyskanych w 20 kolejnych pomiarach.

2. Wyniki badań i wnioski

Przedmiotem badań były siłowniki udarowe: siłownik D40x200, z regulacją długości komory roboczej nad tłokiem w zakresie 0÷200 mm oraz siłownik D100x200, z regulacją długości komory roboczej nad tłokiem w zakresie 0÷80 mm. Badania zrealizowano dla wytypowanych wartości ciśnienia sprężonego powietrza: 0,4 MPa, 0,5 MPa, 0,6 MPa. Na podstawie danych pomiarowych drogi tłoczyska siłownika w funkcji czasu, przy pomocy opracowanego programu, wyznaczane były charakterystyki prędkości w funkcji czasu (rys. 4) oraz charakterystyki prędkości i energii kinetycznej w funkcji przebytej drogi przez tłoczysko siłownika (rys. 5).



Rys. 4. Przykładowe charakterystyki: 1) $l = f(t)$, 2) $v = f(t)$ tłoczyska siłownika D40x200 ($p = 0,6$ MPa i $l_k = 200$ mm)

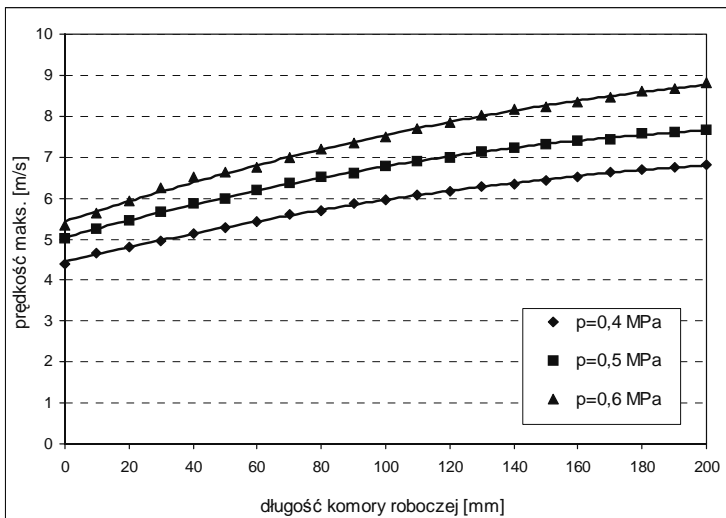


Rys. 5. Przykładowe charakterystyki: 1) prędkości $v = f(l)$, 2) energii kinetycznej $E = f(l)$ tłoczyska siłownika D40x200 ($p = 0,6$ MPa i $l_k = 200$ mm)

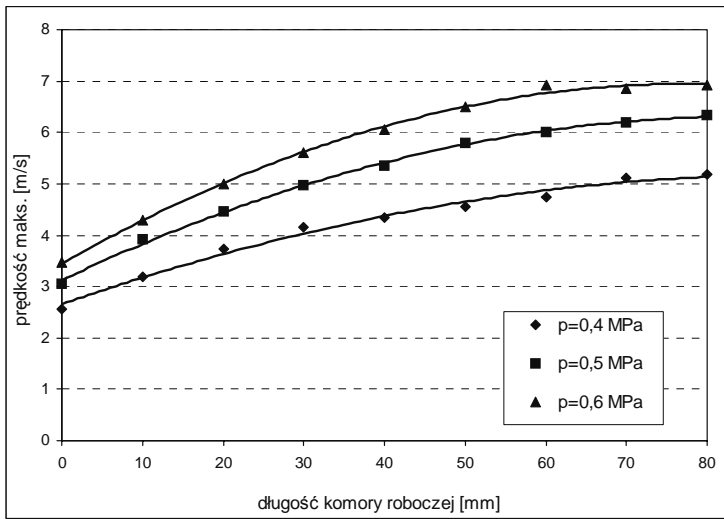
Lokalne zniekształcenia charakterystyki prędkości są efektem losowo występujących błędów pomiaru drogi przy wykorzystaniu techniki triangulacji laserowej. Pomiarzy dla ustalonych warunków eksperymentu wykonywano trzykrotnie, a rezultatem końcowym była średnia z uzyskanych wyników [1].

Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono analizę wpływu długości komory roboczej siłownika na uzyskiwaną prędkość maksymalną ruchu tłoczyska (rys. 6 i rys. 7). Przebieg otrzymanych krzywych można opisać, z bardzo dobrym przybliżeniem, wielomianami drugiego stopnia zachowując współczynnik dopasowania $R^2 \geq 0,99$. Otrzymane krzywe można także aproksymować za pomocą funkcji liniowej, przyjmując przybliżenie na poziomie $R^2 \geq 0,91$. **Prezentacja** zależności prędkości maksymalnej tłoczyska w postaci prostej jest wygodna i całkowicie wystarczająca na potrzeby dobierania parametrów siłownika udarowego dla wymaganych warunków pracy.

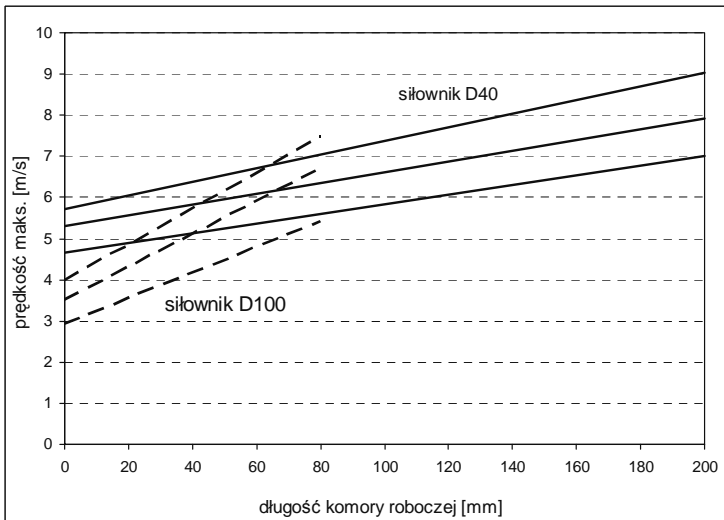
Z analizy krzywych wynika, że zmiana długości komory roboczej ma silniejszy wpływ na osiąganą przez tłoczysko prędkość maksymalną w przypadku siłownika D100, co wynika z kilkukrotnie większej powierzchni czynnej tłoka w porównaniu do siłownika D40. W przypadku siłownika D40, mała zmienność wartości prędkości maksymalnej umożliwia duży zakres dopuszczalnego błędu doboru długości komory roboczej. Z analizy obu zestawionych charakterystyk wynika, że zarówno dla siłownika D40 i D100, zmiana ciśnienia zasilania o wartość 0,1 MPa spowoduje zmianę wartości prędkości maksymalnej o 15% (przy maksymalnej objętości komór). Na rys. 8 przedstawiono wykresy prędkości w funkcji długości komór obu siłowników udarowych po zastosowaniu aproksymacji liniowej ($R^2 \geq 0,9$).



Rys. 6. Prędkość maksymalna tłoczyska siłownika udarowego D40 w zależności od długości komory roboczej

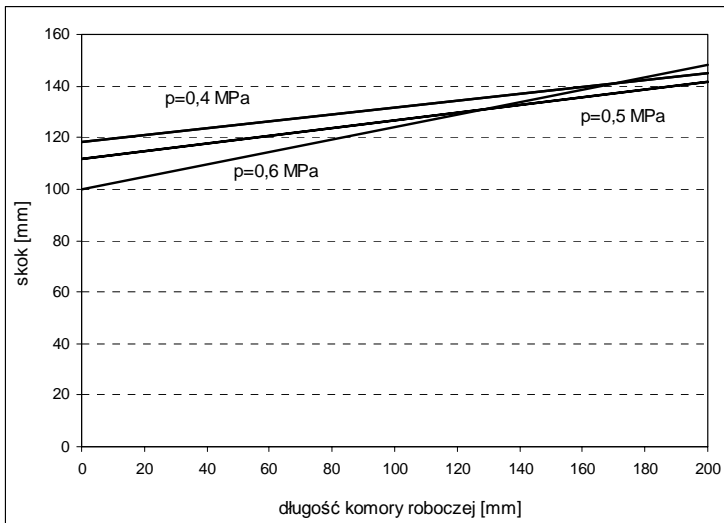


Rys. 7. Prędkość maksymalna tłoczyska siłownika udarowego D100 w zależności od długości komory roboczej

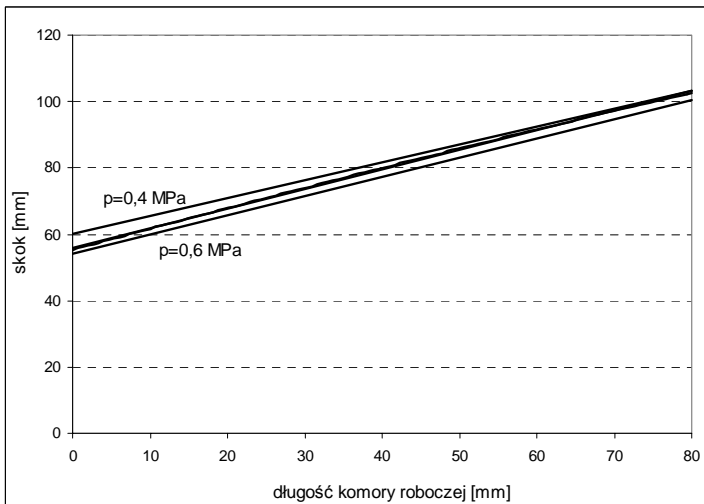


Rys. 8. Wykresy prędkości maksymalnych tłoczyska badanych siłowników udarowych (z rys. 6 i 7) po zastosowaniu aproksymacji liniowej

Analizie poddano również krzywe przedstawiające zależność skoku siłownika, odpowiadającego prędkości maksymalnej, od długości komory roboczej i ciśnienia zasilania (rys. 9 i 10).



Rys. 9. Skok siłownika D40 odpowiadający prędkości maksymalnej w zależności od długości komory roboczej (po aproksymacji funkcją liniową)



Rys. 10. Skok siłownika D100 odpowiadający prędkości maksymalnej w zależności od długości komory roboczej (po aproksymacji funkcją liniową)

W efekcie przeprowadzenia aproksymacji funkcją liniową otrzymano zbiór prostych o zbliżonym położeniu i kącie pochylenia rosnącym nieznacznie ze wzrostem ciśnienia zasilania. Zmiany ciśnienia powietrza w zakresie ujętym w eksperymencie nie wpływają w istotny sposób na przebieg charakterystyki.

Podsumowanie

Metoda triangulacji laserowej umożliwia bezkontaktowe pomiary skoku roboczego tłoczyska siłownika udarowego oraz – na podstawie uzyskanych danych – wyznaczenie charakterystyk drogi i prędkości na potrzeby badań testowych.

Podstawową przesłanką wyboru metody pomiarowej były wymagania funkcjonalne dla urządzenia badawczego, wykluczające zastosowanie metod kontaktowych oraz osiągnięcie jak najkrótszego czasu próbkowania sygnału.

W trakcie przeprowadzonych eksperymentów na opracowanym stanowisku badawczym wyznaczono charakterystyki pracy siłowników udarowych dla wytypowanych wielkości średnic tłoka. Krzywe przedstawiające prędkość maksymalną tłoczyska w zależności od długości komory mogą być opisane z bardzo dobrym przybliżeniem za pomocą wielomianów 2 stopnia. Na potrzeby dobierania parametrów siłownika udarowego można wykorzystywać charakterystyki będące aproksymacją liniową wyników pomiarów. Zwiększenie dokładności wyznaczania charakterystyki drogi jest możliwe przez zastosowanie laserowej głowicy triangulacyjnej o większej częstotliwości próbkowania.

Wyznaczone eksperymentalnie charakterystyki mogą być wykorzystywane w projektowaniu konstrukcji siłowników udarowych oraz optymalizacji parametrów pracy dla wybranych zastosowań.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.

Bibliografia

1. Giesko T. (red.): Sprawozdanie z realizacji zadania badawczego pt. „Aparatura badawcza i testowa do wyznaczania parametrów pracy siłowników udarowych w zastosowaniach specjalnych”. Program Wieloletni PW-004, Radom, 2007.
2. Katalog wyrobów firmy Keyence. <http://www.keyence.co.uk/>
3. Kiczowski T.: Wpływ parametrów konstrukcyjnych na dynamikę szybkiego siłownika pneumatycznego z wbudowanym zbiornikiem. XIII Ogólnopolska Konferencja Teorii Maszyn i Mechanizmów. Koszalin, 1992.
4. The Norgren Guide to Specifying Pneumatic Actuators.

Recenzent:
Franciszek SIEMIENIAKO

Characteristics calculation of impact cylinders with an adjusting chamber**Key words**

Impact cylinder, cylinder characteristics, laser triangulation.

Summary

The non-contact measurement method based on laser triangulation was developed for the need to calculate stroke characteristics of impact cylinders. The tests of impact cylinders with an adjusting chamber were performed. The analysis results of experimentally obtained characteristics were presented.

