

Andrzej ZBROWSKI, Wojciech JÓŹWIK
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK SIŁOWNIKÓW UDAROWYCH METODĄ SZYBKIEJ REJESTRACJI OBRAZU

Słowa kluczowe

Siłowniki udarowe, charakterystyka eksploatacyjna, dynamika, optymalizacja.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano metodę bezkontaktowych pomiarów prędkości tłoczyska siłownika udarowego z wykorzystaniem szybkiej techniki rejestracji obrazu za pomocą kamery wizyjnej. Przeprowadzono badania siłowników w celu wyznaczenia charakterystyk prędkości tłoczyska w funkcji ciśnienia i objętości komory akumulatora. Przedstawiono wyniki badań w postaci zarejestrowanych charakterystyk.

Wprowadzenie

Duże prędkości tłoczyska, charakterystyczne dla siłowników udarowych [1, 2], stanowią o ich przydatności w urządzeniach technologicznych przeznaczonych do realizacji prac montażowych i obróbkowych [3]. Dzięki wielokrotnie większej energii siłownika udarowego w stosunku do siłownika klasycznego, do najważniejszych zastosowań tych siłowników należą: wykonywanie połączeń wciskanych, nitowanie, zagniatanie, przecinanie blach i prętów, znakowanie, przebijanie otworów, wykrawanie, dziurkowanie, prasowanie, wybijanie itp. [4, 5].

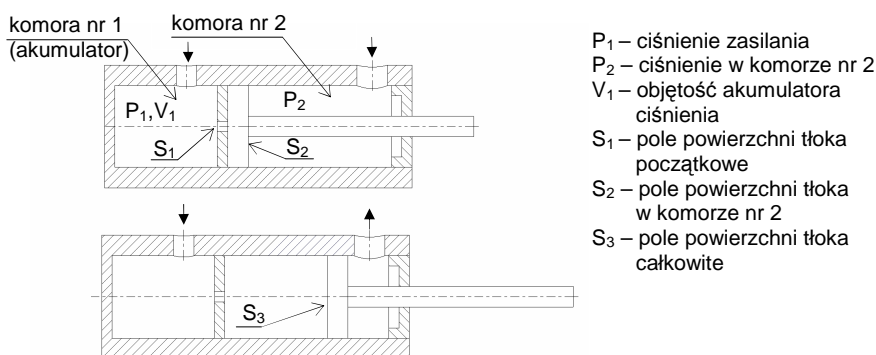
Optymalna realizacja procesu technologicznego wymaga doboru siłownika o właściwej dla konkretnego zadania energii kinetycznej. Prawidłowe ustawienie

narzędzia względem przedmiotu obrabianego stwarza konieczność poznania pełnej charakterystyki energii kinetycznej siłownika w funkcji wysunięcia tłoczyska. Niezbędne jest zatem dołączanie do siłownika odpowiedniej charakterystyki umożliwiającej ustawienie narzędzia w taki sposób, aby proces technologiczny był realizowany z maksymalnym wykorzystaniem możliwości energetycznych. Istotnym problemem jest zatem poznanie charakterystyki prędkości w celu wyznaczenia punktu, w którym tłoczek osiąga maksymalną energię kinetyczną. Ponieważ efektywność siłownika zależy od konstrukcji jednym ze sposobów maksymalnego wykorzystania energii przy zmniejszonych kosztach produkcji jest optymalizacja objętości komory akumulatora.

1. Przedstawienie problemu

Prędkość siłownika udarowego jest parametrem zmiennym w funkcji drogi pokonywanej przez tłok, zależnym od działającego ciśnienia i konstrukcji siłownika. Podstawowe znaczenie dla poziomu uzyskiwanej energii ma objętość komory nr 1 pełniącej rolę akumulatora ciśnienia (rys. 1).

Ruch tłoka siłownika udarowego następuje, gdy iloczyn P_1 i S_1 jest większy niż P_2 i S_2 . Po nieznacznym przesunięciu tłoczyska, w wyniku odpowiedniego przemieszczenia komory nr 2, wielokrotnie wzrasta pole powierzchni (z S_1 do S_3), na które w danej chwili działa ciśnienie P_1 . Ten efekt wywołuje gwałtowne przyspieszenie ruchu tłoka spowodowany działaniem sprężonego powietrza zakumulowanego w komorze nr 1. W celu uniknięcia tłumienia przepływu powietrza otwór w komorze nr 2 musi mieć odpowiednio duży rozmiar, co w praktyce jest realizowane za pomocą zaworu szybkiego spustu.



Rys. 1. Schemat siłownika udarowego

Istnieją dwa zasadnicze aspekty prac badawczych. Pierwszy – konstrukcyjny – jest poświęcony właściwemu określeniu optymalnej objętości komory

akumulatora. Drugi – eksploatacyjny – dotyczy wyznaczania skoku tłoczyska, w którym układ osiąga energię maksymalną.

W obu przypadkach niezbędna jest znajomość prędkości tłoczyska. Ze względu na rozwijanie przez tłoczysko znacznych prędkości, przekraczających nawet 10 m/s, podstawowym problemem jest prawidłowy pomiar tej wielkości. Ze względu na szybkości jak i ograniczone możliwości zabudowy układów pomiarowych metody stykowe nie mogą być stosowane.

Dotychczasowe prace poświęcone wyznaczeniu energii kinetycznej siłowników udarowych prowadzone były zatem w obszarach symulacji komputerowej oraz bezstykowych badań doświadczalnych.

Zagadnienia symulacji komputerowej obejmowały opracowanie oprogramowania CAD wspomagającego obliczenia i dobór siłownika szybkobieżnego. Opracowano modele matematyczne i sformułowano zadanie optymalizacji. Wykorzystując wielowariantowy model algebraiczny siłownika udarowego opracowano algorytm obliczeń i doboru urządzenia [6].

Badania doświadczalne powadzone były z wykorzystaniem opracowanego urządzenia do wyznaczania i optymalizacji parametrów pracy pneumatycznych siłowników udarowych. W działaniu urządzenia zastosowano metodę triangulacji laserowej do pomiaru przemieszczenia tłoczyska [7].

2. Metoda i stanowisko pomiarowe

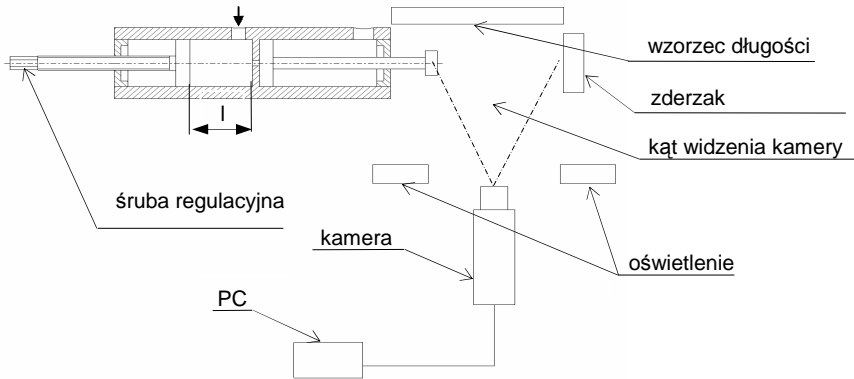
Celem badania był pomiar przemieszczenia i prędkości nieobciążonego tłoczyska siłownika udarowego w funkcji ciśnienia zasilania i objętości komory akumulatora. Pomiary przeprowadzono na stanowisku przeznaczonym do badania siłowników udarowych [8, 9, 10], poddanym modyfikacjom umożliwiającym zastosowanie oświetlaczy i szybkiej kamery wizyjnej do obserwacji czoła tłoczyska (rys. 2).

Tabela 1. Parametry geometryczne badanych siłowników

Objętość komory V_1 l [%]	Typ siłownika	Długość komory V_1 [mm]	Objętość komory V_1 [cm ³]
0	D40×200	0	9,6
	D100×200	0	111,3
25	D40×200	50	72,4
	D100×200	20	268,3
50	D40×200	100	135,3
	D100×200	40	425,5
75	D40×200	150	198,1
	D100×200	60	582,5
100	D40×200	200	261,0
	D100×200	80	739,6

Do badań wykorzystano szybką kamerę Phantom V 310 firmy Vision Research oraz oświetlacze halogenowe.

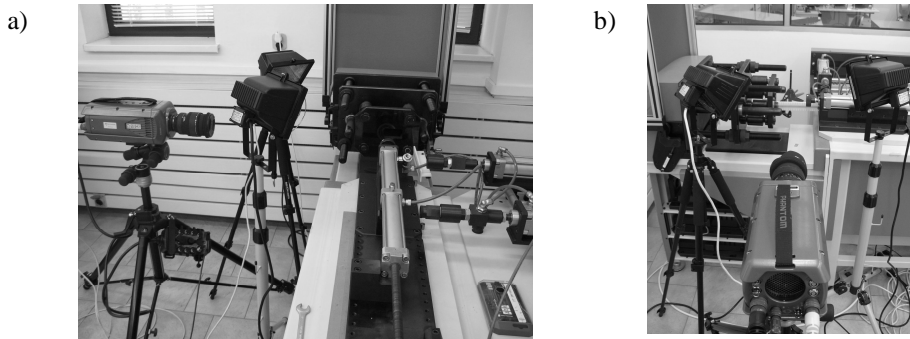
Badanie przeprowadzono na zmodyfikowanych siłownikach D40×200 i D100×200 posiadających regulację objętości komory akumulatora. Objętość komór siłowników w funkcji wysuwu śruby przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego

Kalibrację wizyjnego układu pomiarowego przeprowadzono z zastosowaniem wzorca długości zamocowanego do stanowiska.

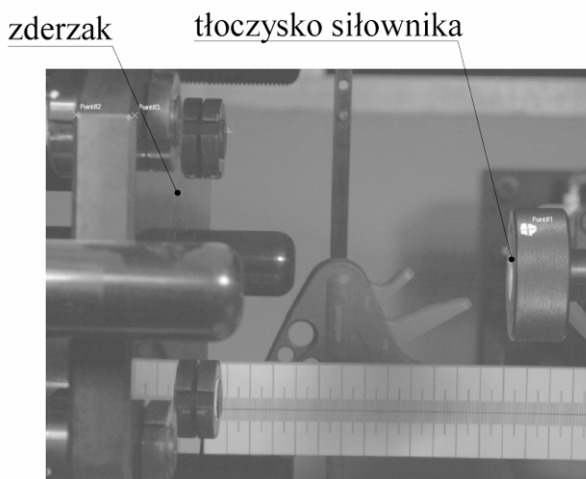
Wykorzystane stanowisko badawcze (rys. 3) umożliwia zamocowanie siłownika na wprost stalowej płyty pełniącej funkcję zderzaka oraz podłączenie siłownika do układu pneumatycznego sterowanego mikroprocesorowo. Układ sterowania będący integralną częścią stanowiska uruchamia w odpowiedniej sekwencji pneumatyczne zawory rozdzielające. Realizacja odpowiedniego algorytmu umożliwi kolejno: zapowietrzenie komory nr 2 po stronie tłoczyska, zapowietrzenie komory nr 1 – akumulatora, odpowietrzenie komory nr 2. Po odpowietrzeniu komory nr 2 tłoczysko rozpoczyna ruch roboczy i uderza w zderzak stanowiska badawczego.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe: a) widok od tyłu, b) widok z boku

Synchronizacja ruchu tłoczyska i układu wizyjnego jest realizowana ręcznie z zastosowaniem trybu postTrigger. W tym trybie operator zatrzymuje pętlę rejestracji obrazu po usłyszeniu odgłosu zderzenia. W pamięci kamery (rys. 4) zostają zapisane ostatnie sekundy, których ilość zależy od prędkości rejestracji danych (ilości klatek na sekundę).

Zastosowane oświetlenie halogenowe umożliwiło rejestrację zjawiska z prędkością 6000 klatek na sekundę w czasie naświetlania 0,1 ms.



Rys. 4. Zarejestrowany obraz przemierzającego się tłoczyska

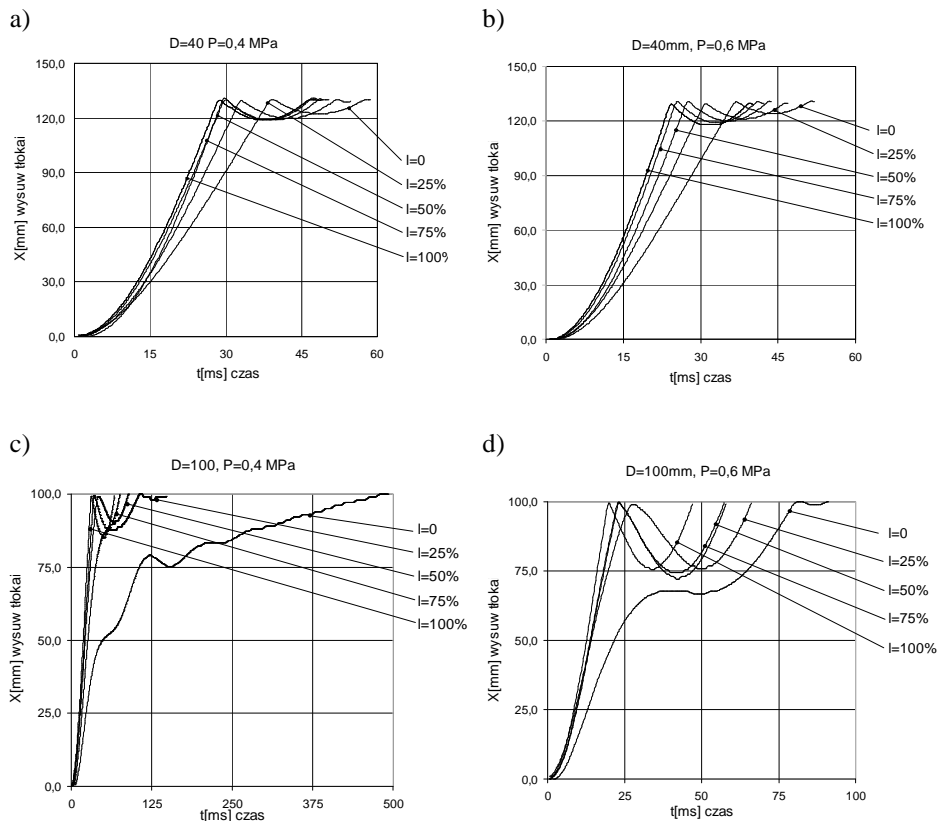
Do analizy zarejestrowanych danych zastosowano komercyjne oprogramowanie do analizy obrazu TEMA 3.5 firmy Image Systems AB.

3. Analiza wyników badań

Wyznaczono charakterystyki położenia tłoczyska, w funkcji czasu $X(t)$ oraz prędkości tłoczyska w funkcji położenia $V(x)$, w zakresie od początku pracy siłownika do momentu uderzenia w zderzak.

Zarejestrowane charakterystyki $X(t)$ wykazują, że ruch tłoczyska realizowany jest w dwóch sekwencjach (rys. 5). Najpierw odbywa się ruch roboczy, a następnie po uderzeniu tłoczyska w zderzak stanowiska badawczego następuje odbicie i zmiana kierunku ruchu na ruch wsteczny elementu ruchomego zakończony powtórny dobiegiem do zderzaka i wygaszeniem ruchu na zderzaku.

Dla siłownika D100×200 z minimalną komorą $l = 0$ odbicie nie występuje, ponieważ przed uderzeniem w zderzak zarejestrowano zatrzymanie i chwilowe cofnięcie tłoczyska. Cofnięcie tłoczyska wyniosło 4 mm dla ciśnienia zasilania $P = 0,4$ MPa i 1 mm dla $P = 0,6$ MPa.

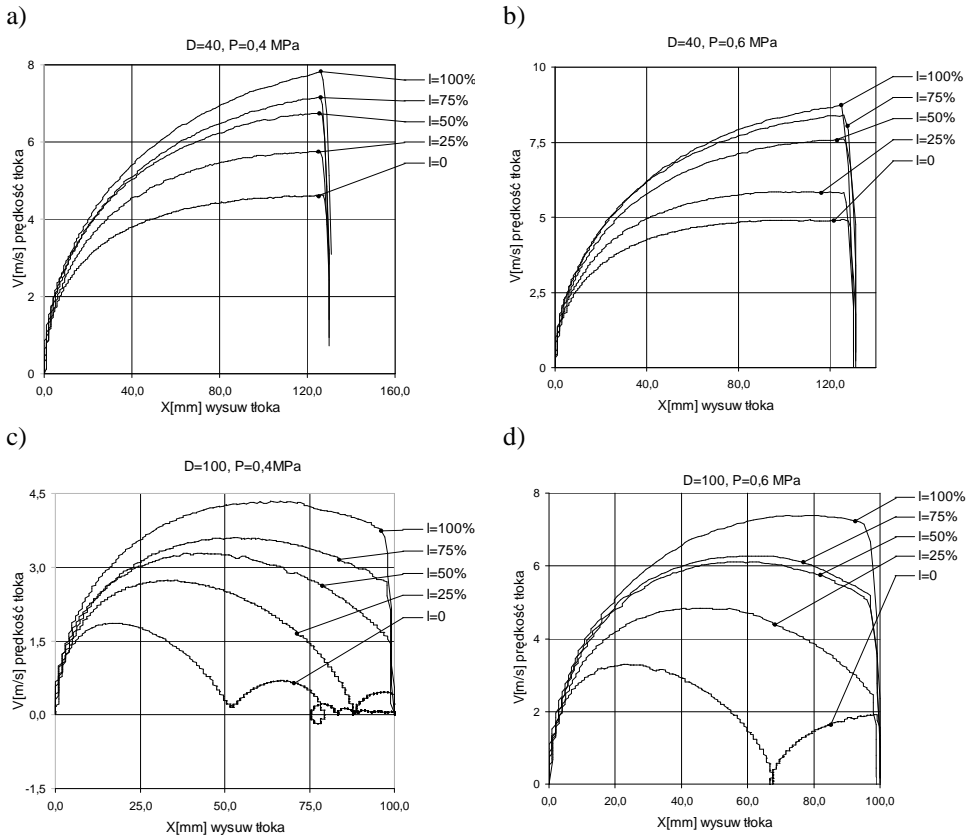


Rys. 5. Charakterystyka drogi tłoczyska w funkcji czasu: a) siłownik D40 z ciśnieniem 0,4 MPa, b) siłownik D40 z ciśnieniem 0,6 MPa, c) siłownik D100 z ciśnieniem 0,4 MPa, d) siłownik D100 z ciśnieniem 0,6 MPa. (Wartości „ l ” oznaczają objętość komory regulacyjnej – patrz tabela 1)

Siłownik D100×200 wykazuje dużą wrażliwość charakterystyki $X(t)$ związaną z objętością komory akumulatora oraz poziomem ciśnienia zasilającego.

Zarejestrowane charakterystyki $V(X)$ wykazują wzrost maksymalnej prędkości tłoka wraz ze wzrostem objętości komory regulacyjnej i ciśnienia zasilania (rys. 6).

Dla siłownika D40×200 maksymalna prędkość tłoka występuje w momencie uderzenia w zderzak, co oznacza, że pozycja tłoczyska o maksymalnej energii uderzenia jeszcze nie została osiągnięta. Wyjątek stanowiło zasilanie ciśnieniem $P = 0,6$ MPa dla dwóch najmniejszych objętości komory akumulatora, gdzie zaobserwowano ustalenie prędkości tłoka przed zderżaniem. W tym przypadku należy wnioskować, że jest to pozycja tłoczyska o maksymalnej energii uderzenia.

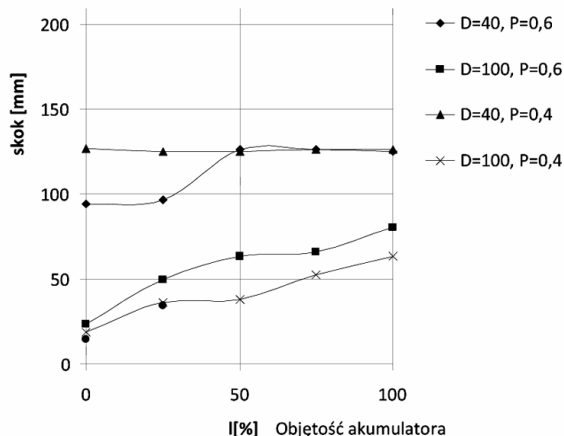


Rys. 6. Charakterystyka prędkości tłoczyska w funkcji drogi: a) siłownik D40 z ciśnieniem 0,4 MPa, b) siłownik D40 z ciśnieniem 0,6 MPa, c) siłownik D100 z ciśnieniem 0,4 MPa, d) siłownik D100 z ciśnieniem 0,6 MPa (Wartości „ l ” oznaczają objętość komory regulacyjnej – patrz tabela 1)

Dla siłownika D100×200 spadek prędkości wystąpił przed uderzeniem w zderzak, co oznacza, że pozycja tłoczyska o maksymalnej energii uderzenia odpowiada mniejszym wartościom skoku tłoczyska. Wysuw tłoka, dla którego występuje maksymalna prędkość, wzrasta wraz ze wzrostem objętości komory regulacyjnej. Dla minimalnych objętości komory regulacyjnej wystąpiło cofanie się tłoka, z czego wynika nietypowy kształt charakterystyki $V(x)$.

Zjawisko cofnięcia jest spowodowane powstawaniem poduszki powietrznej w komorze siłownika od strony tłoczyska. Gdy w akumulatorze zgromadzona jest zbyt mała ilość powietrza, spowodowana zbyt małą objętością akumulatora lub zbyt niskim poziomem ciśnienia, poduszka powietrzna zatrzymuje tłok i pcha go w przeciwną stronę. Zjawisko trwa do momentu, aż komora akumulatora zostanie ponownie dopełniona powietrzem z instalacji pneumatycznej.

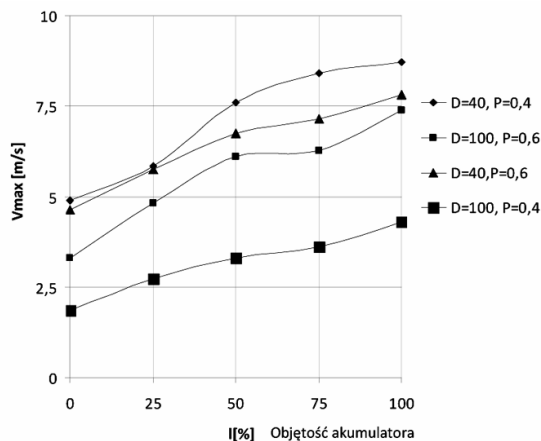
Optymalna odległość czoła tłoczyska siłownika, od obrabianego elementu jest zależna od objętości komory akumulatora (rys. 7).



Rys. 7. Zależność pozycji tłoka o maksymalnej energii uderzenia od objętości komory akumulatora

Zarejestrowana zależność jest silniejsza dla siłowników o większej średnicy, a dodatkowo oddziałującym czynnikiem jest poziom ciśnienia. Przy mniejszych wartościach ciśnienia zależność jest silniejsza.

Podobną zależność można zaobserwować dla wartości prędkości maksymalnej (rys. 8).



Rys. 8. Zależność wartości prędkości maksymalnej tłoka od objętości komory akumulatora

Prędkość maksymalna wzrasta wraz ze wzrostem objętości komory akumulatora i wzrostem ciśnienia zasilania.

Wnioski

Główną zaletą zastosowania szybkich technologii wizyjnych jest możliwość bezstykowego, precyzyjnego i prowadzonego z bardzo dużą rozdzielczością pomiaru położenia elementów poruszających się ze znaczną prędkością.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie charakterystyk prędkości i położenia czoła tłoczyska w zależności od wartości ciśnienia zasilającego i objętości komory akumulatora w siłowniku udarowym.

Zarejestrowane wyniki badań wskazują, że dla siłowników udarowych występuje taka wartość skoku tłoczyska, dla której elementy ruchome uzyskują maksimum energii kinetycznej. Na podstawie uzyskanych charakterystyk wyznaczono optymalne pod względem energetycznym odległości przedmiotu obrabianego od czoła tłoczyska. Stwierdzono, że w miarę wzrostu objętości komory akumulatora optymalna długość skoku ulega zwiększeniu.

Optymalny skok siłowników o mniejszej średnicy tłoka jest dłuższy niż w przypadku siłowników o większej średnicy dla tych samych wartości ciśnienia zasilania. Oznacza to, że przedmiot obrabiany w przypadku dużych siłowników powinien znajdować się bliżej czoła siłownika niż w przypadku siłowników mniejszych.

Stwierdzono, że istnieje taka objętość komory akumulatora, dla której nie występuje dalszy istotny wzrost energii kinetycznej zespołu tłok–tłoczysko. Dalsze zwiększanie objętości komory powoduje niepotrzebny wzrost kosztów wytwarzania związany z materiałochłonnością konstrukcji i czasochłonnością obróbki.

Uzyskane wyniki są zbliżone do rezultatów pomiarów przeprowadzonych metodą triangulacji laserowej [8], jednak dzięki dużej rozdzielczości metody zarejestrowano 6 razy więcej punktów pomiarowych, co pozwoliło na zaobserwowanie zjawiska odbicia.

Duża rozdzielczość metody pozwala na kontynuowanie prac badawczych polegających na analizie zjawiska odbicia zespołu tłok–tłoczysko występującego podczas zderzenia z przeszkodą.

Bibliografia

1. Kiczkowiak T., Grymek S.: Szybkobieżny siłownik pneumatyczny z wbudowanym zbiornikiem. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej. Seria: Mechanika 2001; Z. 69, s. 12–18.
2. Lenczewski J., Łunarski J.: Siłownik pneumatyczny udarowy. Technologia i Automatykacja Montażu. 1/1999, s. 30–32.
3. Lenczewski J., Łunarski J.: Pneumatyczno-udarowe przebijanie otworów w operacjach przedmontażowych. Technologia i Automatykacja Montażu. 1/2001, s. 30–32.

4. Lenczewski J., Łunarski J.: Pneumatyczne znakowarki udarowe. Technologia i Automatykacja Montażu. 1/2000, s. 36–37.
5. Mikulczyński T., Kiczkowiak T.: Zastosowanie szybkobieżnego napędu pneumatycznego do dynamicznego prasowania mas formierskich. Przegląd Odlewnictwa 1999, Vol. 49, z. 4, s. 141–143.
6. Kiczkowiak T., Grymek S.: Program komputerowy do wspomagania obliczeń szybkobieżnych siłowników pneumatycznych z wbudowanym zbiornikiem. Krajowa Konferencja Pneuma'2000, 25–27.10.2000; Kielce.
7. Czajka P., Giesko T.: Wyznaczanie charakterystyk siłowników udarowych z nastawną objętością komory. Problemy Eksploatacji 3/2008, s. 123–131.
8. Giesko T., Zbrowski A., Czajka P.: Metoda i urządzenie do testowania siłowników udarowych. Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza 2007 nr 2, s. 34–37.
9. Czajka P., Giesko S., Zbrowski A.: Metoda i urządzenie do wyznaczania i optymalizacji parametrów pracy pneumatycznych siłowników udarowych. Przegląd Mechaniczny 12/2008, s. 24–28.
10. Giesko T., Zbrowski A.: Metoda i urządzenie do wyznaczania i optymalizacji parametrów pracy pneumatycznych siłowników udarowych. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Technika i Technologia Montażu Maszyn. Kalnica k. Cisnej, 28–30 maja 2008. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika z. 72, Rzeszów, s. 237–244.

Recenzent:
Jerzy ŁUNARSKI

Determination of the characteristics of the impact cylinders wit use of fast camera

Key words

Impact cylinders, operational characteristics, dynamics, optimization.

Summary

The article presents the method for contact-less measurement of the velocity of the piston of the impact cylinder with use technique of fast recording of images with use of vision camera. The research on the impact cylinder were performed for determination of the velocity characteristics of the piston as a function of air pressure and the volume of the accumulation chamber. The results are presented as the recorded characteristics.