

# Badania wybranych charakterystyk pracy przepływowej maszyny energetycznej

## Performance tests of the fluid-flow energy-converting machine to selected operating characteristics

ADAM KOMOROWSKI  
KRZYSZTOF NOZDRZYKOWSKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.608

Przedstawiono wyniki badań charakterystyk pracy nowego typu pompy rotacyjnej z tłokami wirującymi w przestrzeniach toroidalnych. Wykorzystano naukowe podstawy badań eksperymentalnych, aby wyznaczyć zależności funkcyjne pomiędzy parametrami pracy pompy oraz jej wymiarami charakterystycznymi a wartościami ciśnień mierzonych w wybranych miejscach badanego prototypu pompy. Wyniki badań pokazano w postaci trójwymiarowych wykresów umożliwiających jakościową i ilościową ocenę tych wyników.

**SŁOWA KLUCZOWE:** badania charakterystyk pompy, rozkład ciśnień, pompa rotacyjna

*The paper presents the results of tests conducted on the prototype rotary pump with pistons rotating in toroidal cavity. Functional correlations between the pump operating parameters and its standard dimensions versus the values of pressure as measured in selected sections of the pump are presented against results of laboratory experiments. The test results are illustrated on 3D plots providing for their quantitative and qualitative assessment. KEYWORDS: tests of pump operation characteristics, pressure distribution, rotary pump*

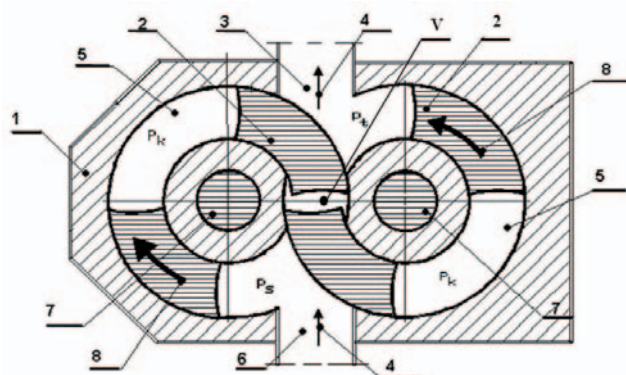
Względy gotowości technicznej i bezpieczeństwa pracy urządzeń okrętowych oraz ich ścisła współzależność powodują, że od tych urządzeń wymaga się wysokiej niezawodności działania. Gotowość infrastruktury statku do realizacji określonego zadania ze zbioru zadań dla danej grupy systemów okrętowych zależy od sprawnego funkcjonowania wszystkich urządzeń, w tym pomp. Uszkodzenia urządzeń okrętowych mogą ograniczać lub całkowicie wykluczać możliwość wykonania określonego zadania, co jest szczególnie niebezpieczne w przypadku eksploatacji statku w trudnych warunkach morskich [1÷3].

Praktyka morska potwierdza, że stosowane obecnie pompy tłokowe charakteryzują się nierównomierną wydajnością i dużą awaryjnością, co jest konsekwencją częstego pompowania cieczy zanieczyszczonych ciałami stałymi. Z tego powodu prowadzi się badania mające na celu opracowanie doskonalszych rozwiązań, które mogą mieć praktyczne zastosowanie w okrętownictwie. Z badań zaprezentowanych w niniejszym artykule wynika, że takim rozwiązaniem może być przepływowa maszyna energetyczna z tłokami wirującymi w przestrzeniach toroidalnych, scharakteryzowana w opisie patentowym P 130112 [4]. Jeden z ważniejszych etapów przeprowadzonych badań obejmował doświadczalne pomiary ciśnień w przestrzeniach roboczych oraz częściach ssących i tłocznych wykonanej konstrukcji prototypu pompy – oznaczonej roboczo MP-05. W tym celu zaprojektowano i zainstalowano wielopunktowy układ pomiarowy na systemie badanego urządzenia. Przedmiotem analiz była również weryfikacja otrzymanych wyników doświadczalnych doty-

czących równomierności strumienia przepływu czynnika i zasilania pompy. Badania prowadzono w różnych warunkach eksploatacyjnych – zmieniano intensywność przepływu czynnika i luzu między tłokiem a korpusem w przestrzeniach roboczych oraz wprowadzano przeciwiśnienia na tłoczeniu, symulujące zmianę obciążenia pompy.

### Konstrukcja rotacyjnej pompy MP-05 z tłokami toroidalnymi

Istotę rozwiązania konstrukcyjnego nowego typu pompy rotacyjnej przedstawiono na rys. 1. W korpusie 1 maszyny roboczej znajdują się przestrzenie robocze, w których są pasowane obrotowo tłoki 2 osadzone na wałkach 7. Toroidalne przestrzenie robocze przenikają się, a pracujące w nich tłoki nie stykają się ze sobą. Tłoki, stanowiące wycinki torusa połączone wałkami 7 łożyskowanymi w korpusie, obracają się zgodnie z kierunkiem strzałek 8, a ich ruch jest zsynchronizowany za pomocą przekładni. Podstawową cechą opracowanej konstrukcji jest to, że w przeciwieństwie do znanych rozwiązań pomp rotacyjnych przestrzenie robocze 5, a także międzywirnikowa przestrzeń wewnętrzna  $V$ , nie zmieniają swojej objętości w czasie obrotów tłoków – to powoduje, że przy odpowiednim zsynchronizowaniu pracy zespołów tłokowych pompa ma stałą wydajność.

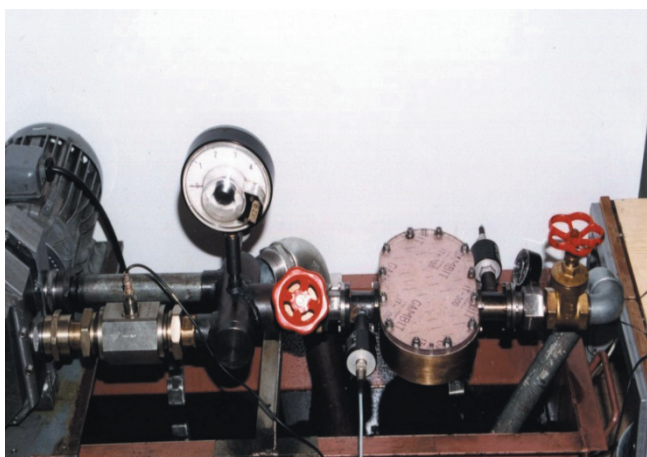


Rys. 1. Pompa wyporowa z wirującymi tłokami (oznaczenia: 1 – korpus, 2 – tłoki, 3 – otwór tłoczny, 4 – kierunek przepływu czynnika pompowanego, 5 – przestrzenie robocze, 6 – otwór ssawny, 7 – wałki, 8 – kierunki obrotów wałków z tłokami,  $V$  – międzywirnikowa przestrzeń wewnętrzna)

### Doświadczalne badania weryfikacyjne funkcjonowania pompy MP-05

Jak wcześniej wspomniano, istotnym etapem oceny funkcjonowania pompy o proponowanej konstrukcji były badania doświadczalne jej wybranych charakterystyk pracy. Doświadczenia przeprowadzono na specjalnie zbudowanym i wyposażonym stanowisku badawczym, umożliwiającym wielomiejscowy pomiar ciśnień prototypu pompy w przypadku zmiany jej charakterystycznych wymiarów i parametrów pracy (rys. 2).

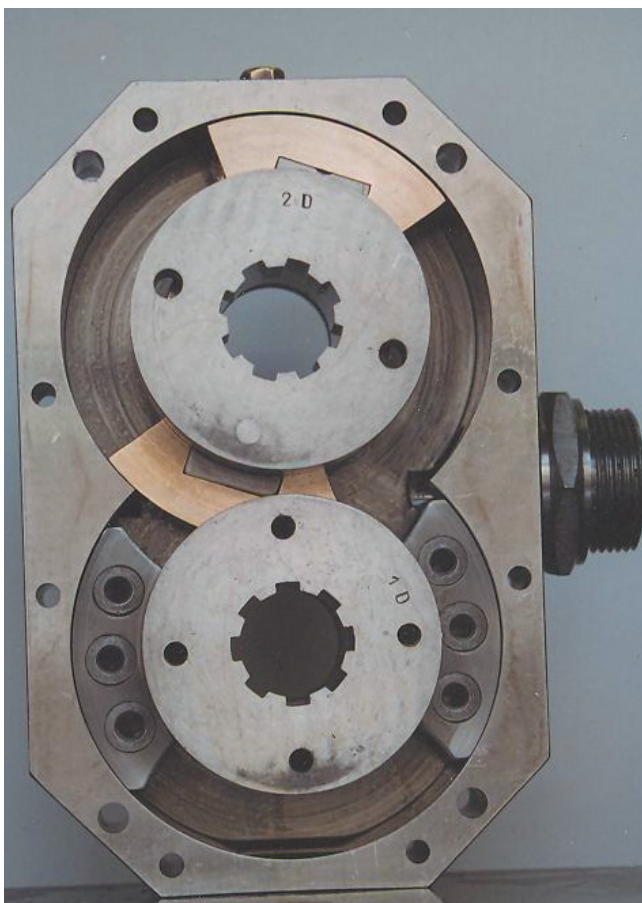
\* Mgr inż. Adam Komorowski (a.komorowski@am.szczecin.pl), dr hab. inż. Krzysztof Nozdrzykowski, prof. AM w Szczecinie (k.nozdrzykowski@am.szczecin.pl) – Wydział Mechaniczny Akademii Morskiej w Szczecinie



Rys. 2. Stanowisko badawcze przystosowane do badań oporów przepływu w przestrzeniach roboczych pompy

Uwzględniając specyfikę morskich warunków pracy pompy, wykonano jej prototyp w wersji przystosowanej do badań, których celem była taka optymalizacja konstrukcji, aby uzyskać najkorzystniejsze parametry eksploatacyjne – w warunkach pompowania czynnika zarówno o małym, jak i dużym stopniu zanieczyszczenia. Na potrzeby badań zastosowano składaną konstrukcję tłoków, pozwalającą na zmianę luzów promieniowych w przestrzeniach roboczych pompy. Na trzonach tłoków osadzono wymienne wkładki stanowiące toroidalne segmenty o zmiennej średnicy zewnętrznej (rys. 3). Stanowisko badawcze wyposażono również w przepływomierz zamontowany na wyjściu z pompy, umożliwiający bezpośredni pomiar jej wydajności.

Do wielomiejscowego pomiaru ciśnień zastosowano zespół czujników umiejscowionych w następujący sposób:



Rys. 3. Składana konstrukcja tłoków prototypu pompy MP-05

- **czujnik nr 1** – na króćcu dolotowym pompy. Informacje uzyskane z tego czujnika były pomocne w prognozowaniu podciśnienia ssania na etapie optymalizacji szczegółów konstrukcyjnych części ssącej pompy,
- **czujnik nr 2** – na bocznej części korpusu pompy. Informacje otrzymane z tego czujnika umożliwiały określenie ciśnienia maksymalnego i minimalnego w przestrzeni roboczej pompy oraz różnicy ciśnień przed i za tłokiem (w przestrzeni ssącej i tłocznej),
- **czujnik nr 3** – na króćcu wylotowym pompy. Informacje uzyskane z tego czujnika posłużyły do prognozowania zmian ciśnienia tłoczenia na wylocie pompy i optymalizacji szczegółów konstrukcyjnych części tłocznej pompy,
- **czujnik nr 4** – za przepływomierzem. Czujnik ten umożliwiał pomiary ciśnienia tłoczenia w miejscu, gdzie przepływ czynnika był ustabilizowany, a na podstawie mierzonej wartości ciśnienia można było wnioskować o równomierności pracy pompy.

Pomiary ciśnienia przeprowadzono dla dwóch wariantów eksploatacyjnych:

- **wariant I:** brak przeciwcisnienia, zmienna prędkość obrotowa  $n = (100 \div 500)$  obr/min oraz luz  $L$  zmieniany co 0,25 mm w zakresie  $(0 \div 0,75)$  mm;
- **wariant II:** zmienne przeciwcisnienie  $p_p = (0 \div 300)$  kPa i prędkość obrotowa  $n = (100 \div 500)$  obr/min, stała wartość luzu  $L = 0,5$  mm.

Dla każdego wariantu przeprowadzono 500 pomiarów, a ich wyniki poddano analizie wariancji i regresji.

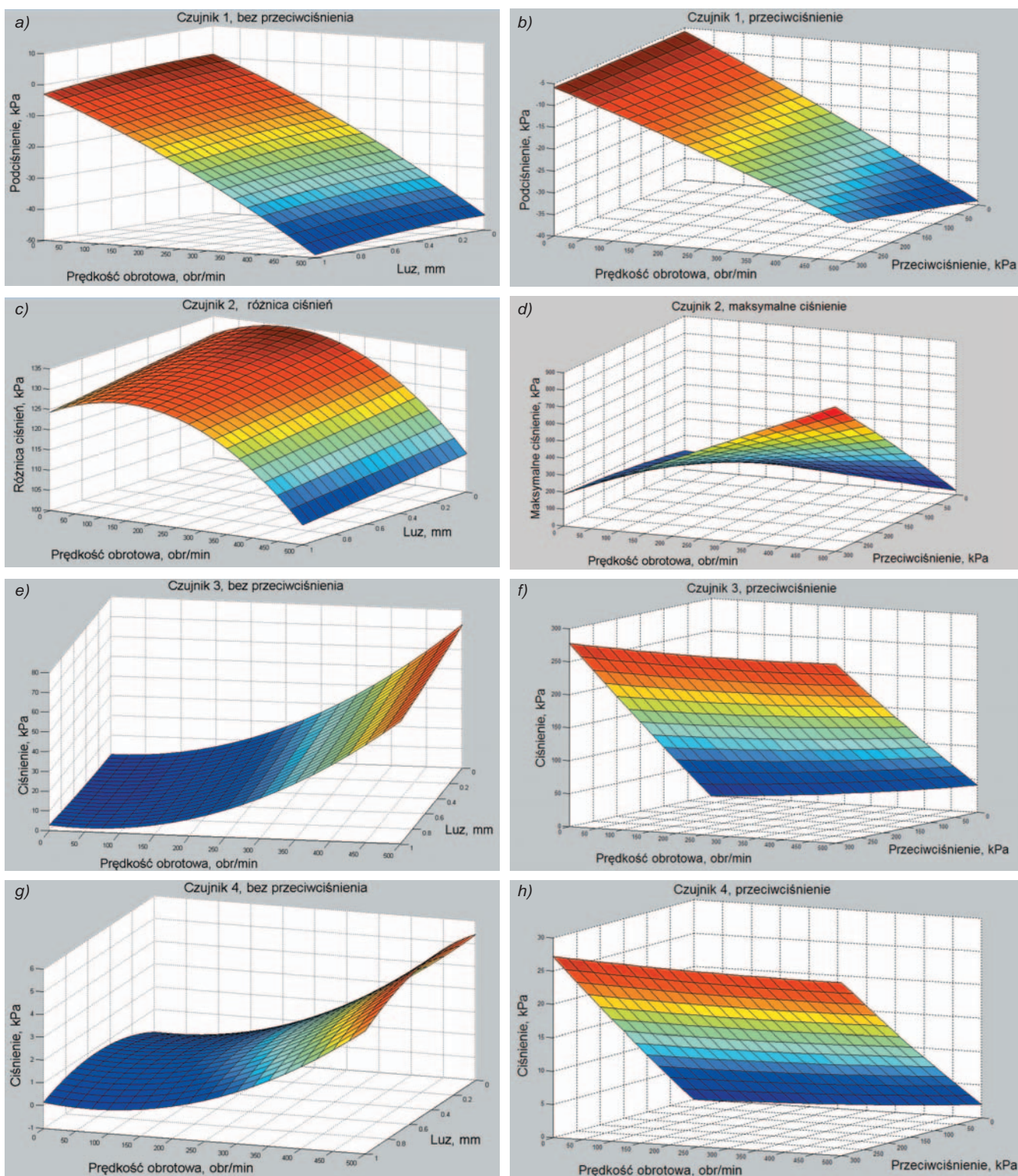
### Analiza wyników badań

Wykorzystując naukowe podstawy badań eksperymentalnych [5÷8] oraz uzyskane wyniki pomiarów, wyznaczono funkcjonalne zależności między prędkością obrotową  $n$ , luzem  $L$  a podciśnieniem  $p_1$  (na króćcu dolotowym), ciśnieniem  $p_2$  w części roboczej pompy oraz ciśnieniami  $p_4$  i  $p_5$  na wyjściu z pompy. Zależności te wyznaczono dla obu wariantów eksploatacyjnych.

Kryterium trafności przyjętych ostatecznie zależności funkcjonalnych potwierdziła analiza wariancji i regresji, która umożliwiła również wnioskowanie o równomierności pracy pompy w poszczególnych punktach pomiaru ciśnienia. W każdym z przypadków kwadrat współczynnika korelacji (współczynnika determinacji) był bliski jedności, co świadczy o dobrym dopasowaniu krzywych regresji do danych doświadczalnych. Obliczone wartości statystyk  $t$  dla wszystkich współczynników funkcji regresji znacznie przekraczały wartości krytyczne  $t_{0,05}$  przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ , podobnie jak wartość funkcjonu  $F_{0,05}$ . Było to podstawą odrzucenia hipotez zerowych o nieistotności przyjętych zależności funkcjonalnych.

Na rys. 4 przedstawiono wybrane charakterystyki pracy pompy w poszczególnych punktach umiejscowienia czujników ciśnienia, wyznaczone na podstawie przyjętych zależności funkcjonalnych.

Analiza jakościowa i ilościowa prezentowanych wykresów pozwala na wnioskowanie o istotności wpływu badanych parametrów –  $n$ ,  $L$  i  $p_p$  – na wartość mierzonych ciśnień  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_4$  i  $p_5$ , przy czym zdecydowanie większy jest wpływ prędkości obrotowej  $n$  niż luzu  $L$ . Pompa ma bardzo dobre parametry eksploatacyjne przy niewielkich prędkościach obrotowych  $n = (150 \div 300)$  obr/min i znaczących luzach  $L = (0,4 \div 0,5)$  mm. Jak zresztą wykazała analiza wariancji, stosowanie dużych prędkości obrotowych zwiększa nierównomierność pracy pompy. Podstawową cechą pompy jest jednak to, że może ona pracować przy zwiększonych luzach (zbliżonych do 1 mm) między tłokiem a korpusem, a jednocześnie wykazywać stały wydatek. Pompa nadaje się zatem do pracy w warunkach dużego zanieczyszczenia czynnika roboczego (paliwa, oleju oraz mieszanin tych płynów z ciałami stałymi). Potwierdza to przyjęte założenia projektowe, przewidujące docelowo zastosowanie tego typu pompy w przemyśle okrętowym, górnictwie, gospodarce komunalnej itp.



Rys. 4. Wybrane charakterystyki pracy pompy MP-05 (otrzymane na podstawie pomiarów ciśnień w części ssącej, roboczej i tłocznej w zależności od jej parametrów pracy i wymiarów charakterystycznych) przedstawiające: a) zmianę podciśnienia ssania mierzonego na króćcu dolotowym pompy w zależności od prędkości obrotowej i luzu, b) zmianę podciśnienia ssania mierzonego na króćcu dolotowym pompy w zależności od prędkości obrotowej i przeciwi ciśnienia, c) zmianę różnicy ciśnień w części roboczej pompy w zależności od prędkości obrotowej i luzu, d) zmianę ciśnienia maksymalnego mierzonego w części roboczej pompy w zależności od prędkości obrotowej i przeciwi ciśnienia, e) zmianę ciśnienia tłoczenia mierzonego na króćcu wylotowym pompy w zależności od prędkości obrotowej i luzu, f) zmianę ciśnienia tłoczenia mierzonego na króćcu wylotowym pompy w zależności od prędkości obrotowej i przeciwi ciśnienia, g) zmianę ciśnienia tłoczenia mierzonego za przepływomierzem w zależności od prędkości obrotowej i luzu, h) zmianę ciśnienia tłoczenia mierzonego za przepływomierzem w zależności od prędkości obrotowej i przeciwi ciśnienia

#### LITERATURA

1. Crowe C.T., Roberson J.A. „Engineering Fluid Mechanics”. Boston (USA): Houghton Mifflin Company, 1975.
2. Drodzowski J., Komorowski A. „Exploitation reliability characteristics of ship impeller pumps”. *Polish Maritime Research*. Vol. 3 (1999): pp. 23÷28.
3. Stępniewski M. „Pompy”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1994.
4. Kuźniewski B. Urządzenie do przetwarzania energii. Patent Polski nr 130112.
5. Prosnak W. „Przegląd równań występujących w klasycznej mechanice płynów”. Sopot: IO PAN, 2004.
6. Puzyrewski R., Sawicki J. „Podstawy mechaniki płynów i hydrauliki”. Warszawa: PWN, 1998.
7. Tesch K. „Mechanika płynów”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2014.
8. Brandt S. „Metody statystyczne i obliczeniowe analizy danych”. Warszawa: PWN, 1999.