GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Journal of Polish CIMEEAC

Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology
Institute of Ocean Engineering and Ship Technology
Department of Marine Power Plants

MODERNIZACJA DYDAKTYCZNEGO STANOWISKA LABORATORYJNEGO UMOŻLIWIAJĄCEGO ANALIZĘ PORÓWNAWCZĄ SPRAWNOŚCI ŚRUB NAPĘDOWYCH JACHTU MOTOROWEGO

Piotr Bzura

Politechnika Gdańska,
Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa,
Katedra Siłowni Morskich i Lądowych
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel.: +48 58 3472763
e-mail: pbzura@pg.edu.pl

Streszczenie: *w artykule przedstawiono autorską metodę wyznaczania sprawności działania różnych śrub napędowych jachtu motorowego na podstawie wyników badań wykonanych na zmodernizowanym stanowisku laboratoryjnym. Modernizacja stanowiska składającego się ze źródła mocy w postaci silnika elektrycznego, części pośredniczącej i pędnika polegała na dodaniu przetwornika częstotliwości umożliwiającego starowanie silnikiem elektrycznym, czujnika do pomiaru prędkości wody względem pędnika i zanurzenia pędnika (śruby napędowej) w kanale przepływowym. Na podstawie analizy przeprowadzonych badań został przedstawiony algorytm, według którego porównano dwie różne śruby napędowe.*

Słowa kluczowe: śruba napędowa, sprawność działania, badania doświadczalne

1. Wstęp

W poprzednim artykule [1] opracowana została metoda wyznaczania sprawności działania śruby napędowej jachtu motorowego na podstawie badań na stanowisku laboratoryjnym. Stanowisko laboratoryjne zostało w dużym stopniu przerobione, tak że możliwa jest pełniejszą analizę działania śrub napędowych.

Zmodernizowany model fizyczny śruby napędowej jachtu motorowego umożliwiający pomiary w warunkach laboratoryjnych wykonany został w Zakładzie Siłowni Okrętowych WIMiO PG.

Kolejne punkty artykułu zawierają: opis laboratoryjnego stanowiska dydaktycznego, autorską propozycję określania działania śruby napędowej z uwzględnieniem sprawności modeli fizycznych tych śrub, ilości energii pobieranej na jeden obrót przez dany model śruby przy zadanej prędkości obrotowej silnika elektrycznego, generowanej siły naporu oraz średniej wartości względnej prędkości wody przepływającej przez śrubę.

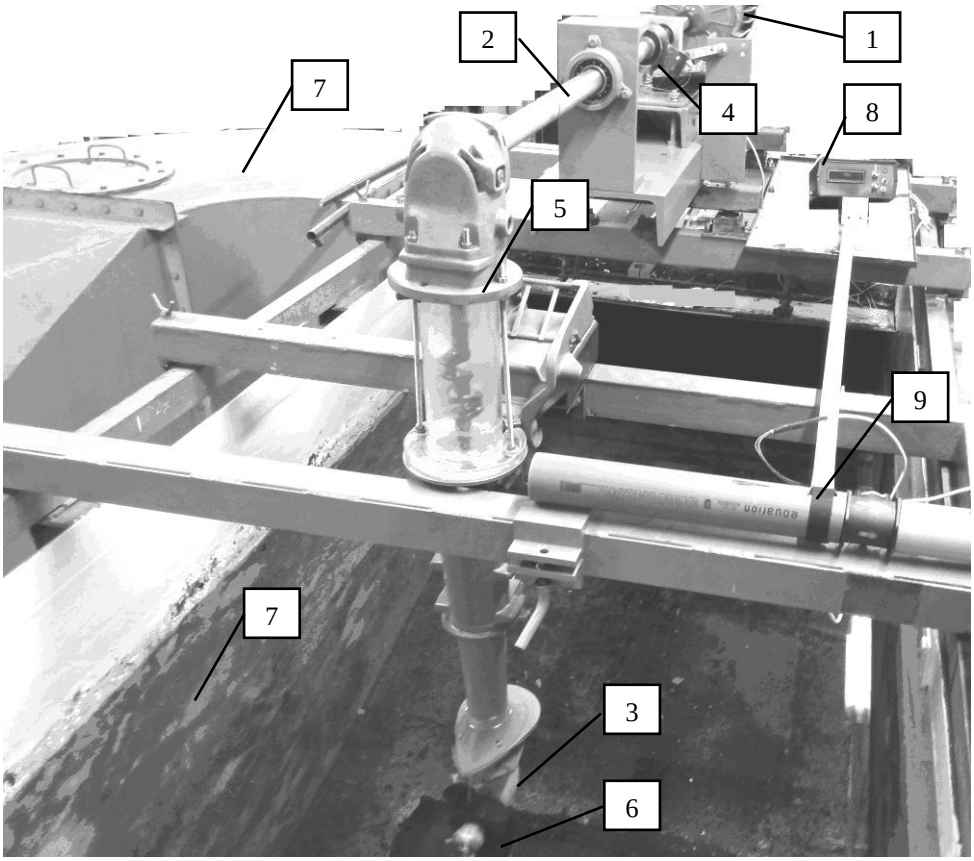
Przedstawiono również wyniki weryfikacji zastosowanej metody autorskiej przedstawionej w artykule [1] a także uwagi i wnioski końcowe.

2. Budowa stanowiska pomiarowego

Napęd modelu fizycznego śruby zaprezentowany został na rysunku 1. Na rysunkach 2, 3 i 4 zostały przedstawione metody realizacji celu pracy, tzn. porównania działania śrub napędowych.

Badania sprawności śrub napędowych na stanowisku laboratoryjnym były wykonywane po uruchomieniu trójfazowego silnika elektrycznego SZJe firmy ATB Tamel S.A., którego prędkość obrotowa była regulowana za pomocą przetwornika częstotliwości MD200 firmy Inovance S.A. Przekazywany od silnika do pędników moment obrotowy był zmniejszany przez przekładnię mechaniczną typu Z o przełożeniu ok. 2/3. Pędnikami były dwie śruby napędowe, firmy HasWing S.A., dwuskrzydłowa o średnicy zewnętrznej 226mm i trzyskrzydłowa o średnicy zewnętrznej 236mm. Prędkość wody względem śruby napędowej była wyznaczana na podstawie natężenia przepływu wody za pomocą przepływomierza 6/4 cala firmy Cosmogate S.A. Na podstawie wyników badań, zarejestrowanych przez przyrządy kontrolno-pomiarowe została dokonana analiza porównawcza sprawności działania badanych modeli śrub.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego układu napędowego jachtu motorowego, gdzie: 1- trójfazowy silnik elektryczny, 2 – wał pośredni, 3– wał śrubowy, 4 – łożysko oporowe, 5- przekładnia mechaniczna typu Z, 6 –śruba napędowa dwu lub trzyskrzydłowa, 7 – kanał przepływowy z wodą słodką, 8 – czujnik do pomiaru siły naporu śruby napędowej; 9 – czujnik do pomiaru prędkości względnej wody

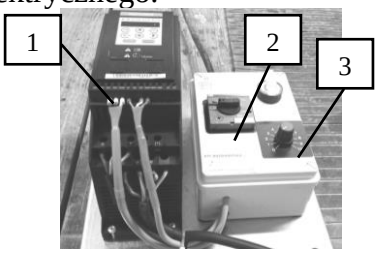
Stanowisko pomiarowe jest wyposażone w trójfazowy silnik elektryczny (1), zasilany energią elektryczną. W czasie badań moment obrotowy silnika przekazywany przez łożysko oporowe (4) i przekładnię mechaniczną typu Z (5) powoduje obracanie się śruby napędowej (6) w kanale (9) wypełnionym wodą słodką. Sterowanie pracą silnika jest realizowane za pomocą trójfazowego licznika energii elektrycznej OR-WE-505 firmy ORNO S.A. i przetwornik częstotliwości MD200.

Linia wałów badanego układu napędowego składa się z wałów pośrednich (2) połączonych łożyskiem oporowym (4) i przez przekładnię (5) z wałem śrubowym (3). Wał pośredni ułożyskowany jednym łożyskiem

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

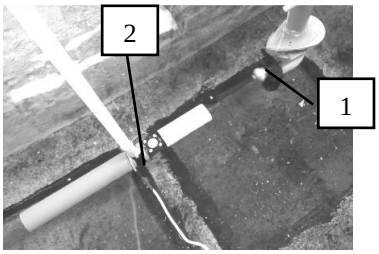
tocznym. Na stożku śruby osadzona jest śruba napędowa o skoku stałym (6) (dwu lub trzyskrzydłowa).

W czasie badań moment obrotowy silnika przekazywany przez linię wałów wymusza obracanie się śruby napędowej (6) w kanale przepływowym (9) wypełnionym wodą słodką. Za pomocą przetwornika częstotliwości (rysunek 2) było możliwe ustawianie różnych prędkości obrotowych silnika elektrycznego.



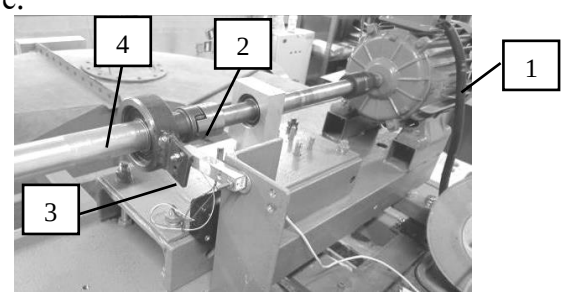
Rys. 2. Przetwornik częstotliwości gdzie:
1– przetwornik częstotliwości MD200, 2 – włącznik, 3 – potencjometr

Pomiar prędkości przepływu wody względem śruby napędowej był mierzony za pomocą czujnika przedstawionego na rysunku 3.



Rys. 3. Sposób pomiaru prędkości wody względem śruby gdzie:
1– śruba napędowy, 2 – czujnik do pomiaru prędkości względnej wody

Jako siłę naporu śruby została zmierzona (rys.4) siła osiowa działające na łożysko oporowe.



Rys. 4. Sposób pomiaru części siły naporu śruby gdzie:
1– silnik elektryczny, 2 – łożysko oporowe, 3 – czujnik siły naporu, 4 – wału pośrednie

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Działanie śruby napędowej wg autora można określić na podstawie sprawności modelu fizycznego śruby napędowej wyrażonej, jako stosunek mocy rozwijanej do mocy doprowadzonej na jej stożek, niezbędnej do wykonania pracy [1,2,3]

$$\eta_S = \frac{T \cdot v_p}{\dot{E}_D} \tag{1}$$

gdzie:

T – siła naporu śruby [N],

v_p – prędkość wody względem śruby [m/s],

$\dot{E}_D$ – strumień energii doprowadzonej na jeden obrót śruby [Nm/s].

3. Metoda określania parametrów działania śrub napędowych

Pomiary umożliwiające wyznaczenie sprawności śruby były wykonywane po uruchomieniu trójfazowego silnika elektrycznego SZJe o mocy nominalnej N_n = 0,6kW i n_n=700 obr/min, firmy ATB Tamel S.A napędzającego śrubę napędową dwuskrzydłową lub trzyskrzydłową

Przekładnia mechaniczna Z posiada przełożenia ok. 2:3.

Zbadano dwa modele fizyczne śrub napędowych:

1. Model fizyczny z dwuskrzydłową śrubą napędową,
2. Model fizyczny z trzyskrzydłową śrubą napędową.

Ponieważ prezentowana metoda dotyczy porównania dwóch różnych pędników zasilanych w ten sam sposób w obu modelach fizycznych pominięto straty na linii wałów i zastosowano równość momentu obrotowego zapotrzebowanego przez śrubę napędową i momentu obrotowego silnika wynoszącego ok.8,2Nm.

Badania zostały wykonane wg procedury zgodnie, z którą należało:

1. Przygotować układ napędowy z dwuskrzydłową śrubą napędową (zamocować śrubę dwuskrzydłową na końcu wału śrubowego znajdującego się w kanale wypełnionym wodą),
2. Ustawić przetwornik częstotliwości na częstotliwość f_1,
3. Uruchomić silnik elektryczny i odczytać:
   - średnią wartość siły naporu śruby napędowej,
   - średnią wartość prędkości wody względem śrubę,
   - czas trwania jednego impulsu elektrycznego przypadającego na jeden obrót śruby.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4. Ustawić przetwornik częstotliwości na częstotliwość f_2,
5. Wykonać wszystkie pomiary wg punktu 3,
6. Ustawić przetwornik częstotliwości na częstotliwość f_3,
7. Wykonać wszystkie pomiary wg punktu 3,
8. Ustawić przetwornik częstotliwości na częstotliwość f_4,
9. Wykonać wszystkie pomiary wg punktu 3,
10. Odłączyć od zasilania silnik elektryczny,
11. Przedstawioną procedurę pomiarową powtórzyć trzykrotnie,
12. Wymienić śrubę dwuskrzydłową na trzyskrzydłową i przeprowadzić pomiary analogicznie jak wyżej.

W tabeli 3 porównano sprawności działania śrub napędowych na podstawie wzoru (1).

Tab.1. Wyniki badań układu napędowego z dwuskrzydłową śrubą napędową

Średnia prędkość obrotowa silnika [obr/min]	Czas trwania impulsu elektrycznego τ_D[s]	Ilość energii przypadającej na jeden obrót śruby $\dot{E}_D$ [N·m/s]	Siła naporu śruby T [N]	Średnia prędkość wody względem śruby [m/s]
106,67	25,5	5,29	5,8	0,11
120	22,5	8,00	7,3	0,12
133,33	21,5	7,53	10,1	0,13
153,33	20,5	6,87	11	0,15

Tab. 2. Wyniki badań układu napędowego z trzyskrzydłową śrubą napędową

Średnia prędkość obrotowa silnika [obr/min]	Czas trwania impulsu elektrycznego τ_D[s]	Ilość energii przypadającej na jeden obrót śruby $\dot{E}_D$ [N·m/s]	Siła naporu śruby T [N]	Średnia prędkość wody względem śruby [m/s]
106,67	25	5,40	15,1	0,15
120	22	8,18	17,1	0,17
133,33	21	7,71	20,3	0,18
153,33	20	7,04	22	0,2

Tabela 3. Porównanie sprawności modeli śrub napędowych

Średnia prędkość obrotowa śruby [obr/min]	Sprawność modelu śruby trzyskrzydłowej η_s[%]	Sprawność modelu śruby dwuskrzydłowej η_s[%]
160	0,42	0,12
180	0,36	0,11
200	0,47	0,17
230	0,62	0,24

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że działanie trzyskrzydłowej śruby napędowej jest lepsze od dwuskrzydłowej, ponieważ mimo większego zapotrzebowania energii pobieranej na jeden obrót jej sprawność jest większa w przybliżeniu trzykrotnie.

4. Uwagi końcowe i wnioski

Przedstawione stanowisko laboratoryjne zostało zbudowane tylko dla celów dydaktycznych. Umożliwia ono realizację również innych pomiarów, np. można sporządzić wykres Danckwardta lub charakterystykę układu napędowego jachtu motorowego dla założonej stałej wartości współczynnika strumienia nadążającego.

W porównaniu do poprzedniego artykułu [1] stopień podobieństwa badanych na stanowisku laboratoryjnym śrub napędowych do tych, które są stosowane w praktyce eksploatacyjnej jachtów jest dokładniejszy, ponieważ wykorzystano kanał przepływowy i zbudowany został pośredni układ napędowy z możliwością obracania śruby napędowej.

Literatura

[1] Bzura P. Porównanie sprawności śrub napędowych jachtu motorowego na stanowisku dydaktycznym. Journal of Polish Cimeeac, vol15, No1

[2] Barrass, C.,B. Ship Design and Performance for Masters and Mates, Elsevier 2004.

[3] Ghose, J.,P, Gokarn, R.,P. Basic Ship Propulsion, Allied Publishers Pvt. Limited 2004.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl