



PORÓWNANIE SPRAWNOŚCI ŚRUB NAPĘDOWYCH JACHTU MOTOROWEGO NA STANOWISKU DYDAKTYCZNYM

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 stanowisku laboratoryjnym. Zastosowanie takiej metody porównawczej wymagało zbudowania prostego w użytkowaniu stanowiska dydaktycznego odwzorowującego możliwe warunki działania układu napędowego jachtu motorowego, składającego się ze źródła mocy w postaci silnika elektrycznego, części pośredniczącej i pędnika zanurzonego w wodzie. Został przedstawiony algorytm, według którego wykonano badania empiryczne dla dwuskrzydłowej i trzyskrzydłowej śruby napędowej.

Słowa kluczowe: śruba napędowa, sprawność działania, badania doświadczalne

1. Wstęp

Jachty motorowe, jako jednostki pływające [1,2,3], należą do grupy małych statków pomocniczych i specjalnych. Ze względu na ich funkcjonalność należą do jednostek przewozowych transportu wodnego i przystosowane są do pełnienia ściśle określonych funkcji. Eksploatowane są na wodach śródlądowych, portowych, zalewowo-zatokowych i przybrzeżnych w zależności od rejonu pływania.

Zaprojektowane i wybudowane w polskich stoczniach produkcyjnych i remontowych łodzie motorowe i małe kutry rybackie charakteryzują się następującymi parametrami ogólnymi:

- Długości całkowite - od 7 m do 22 m,
- Moce silników głównych - od 15 kNm/s do 1766 kNm/s
- Prędkości pływania - od 6,5 węzła do 38 węzłów
- Pędniki - śruby napędowe

Do napędu większości jednostek zastosowano wysokoprężne spalinowe silniki tłokowe, sprzężone z przekładniami redukcyjno-nawrotnymi przekazującymi momenty obrotowe silnika na linie wałów śrubowych, powodujące obracanie się śrub napędowych o stałym skoku. Zastosowane śruby napędowe należą do grupy śrub B – Wageningen o następujących parametrach:

- Średnica śruby D ok. $0,8 \div 0,35m$
- Współczynnik powierzchni skrzydeł S_0/S $0,55 \div 0,85$
- Liczba skrzydeł śruby $Z = 2 \div 7$
- Skok śruby $H/D = 0,8 \div 1,4$

W fazie eksploatacji jachtów istotne jest, aby ich układy napędowe działały z możliwie dużą sprawnością w różnych warunkach morskich pływania. Sprawność ta zależy przy danym silniku napędowym głównie od sprawności ich śruby napędowej. Wobec tego muszą być prowadzone badania sprawności śrub napędowych jachtów, ale także energii zapotrzebowanej przez nie i wytwarzanej siły naporu. Pomocne w tego rodzaju badaniach są wyniki pomiarowe uzyskane podczas badań modeli fizycznych śruby napędowej jachtu, wykonanych w warunkach laboratoryjnych. Takie badania

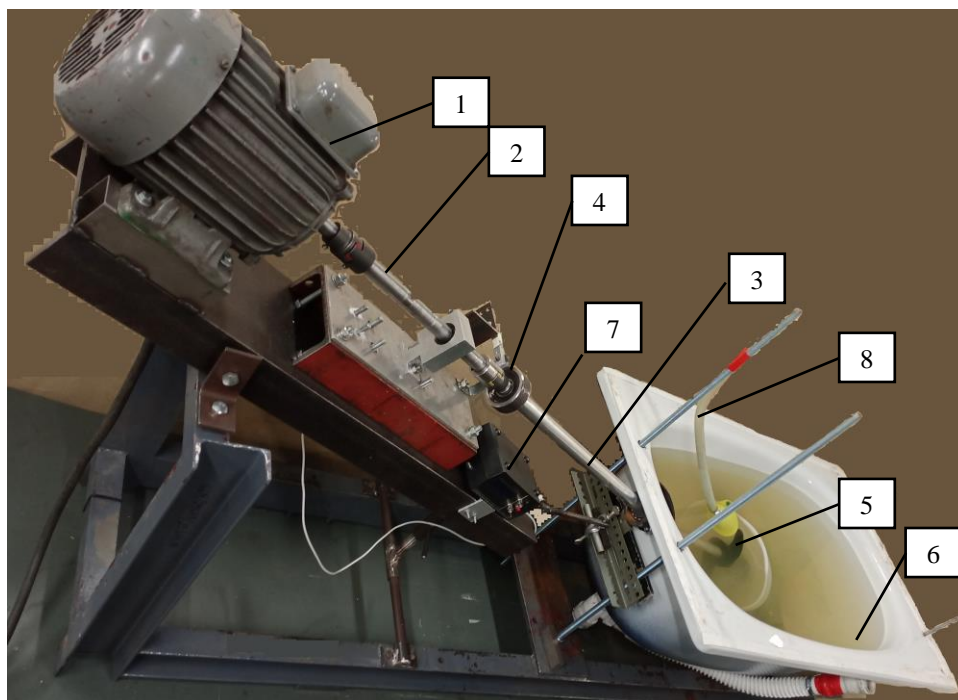
wykonano w Katedrze Siłowni Morskich i Lądowych WOiO PG na najprostszym stanowisku laboratoryjnym, a ich reprezentatywne wyniki przedstawiono w niniejszym artykule.

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, generowanej siły naporu oraz średniej wartości względnej prędkości wody przepływającej przez śrubę. Przedstawiono również wyniki weryfikacji zastosowanej metody autorskiej, dokonanej na podstawie wyznaczonego współczynnika mocy, a także uwagi i wnioski końcowe.

2. Budowa stanowiska pomiarowego

Napęd modelu fizycznego śruby stanowiska laboratoryjnego zaprezentowany został na rysunku 1. Na rysunkach 2, 3 i 4 zostały przedstawione metoda pomiaru prędkości wody względem dwuskrzydłowej i trzyskrzydłowej śruby napędowej (nazywanej dalej prędkością względną).

Badania sprawności śrub napędowych na stanowisku laboratoryjnym były wykonywane po uruchomieniu trójfazowego silnika elektrycznego SZJe o mocy 0,6kW firmy ATB Tamel S.A., przy zadanej prędkości obrotowej 700 obr/min (11,67obr/s), napędzającego śrubę napędową dwuskrzydłową firmy japońskiej HasWing o średnicy zewnętrznej 226mm lub trzyskrzydłową również firmy HasWing o średnicy zewnętrznej 236mm i na podstawie tych wyników badań, zarejestrowanych przez przyrządy kontrolno-pomiarowe została dokonana analiza porównawcza sprawności działania badanych modeli śrub.

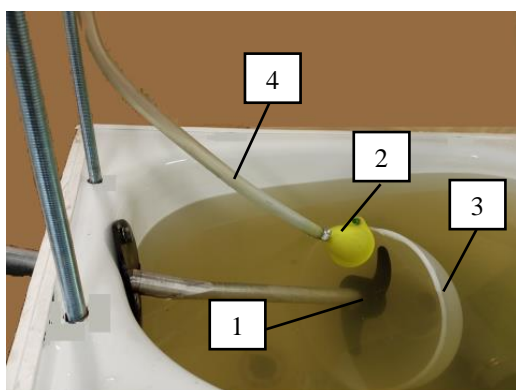


*Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego układu napędowego jachtu motorowego, gdzie:
1- trójfazowy silnik elektryczny, 2 – wał pośredni, 3- wał śrubowy, 4 – łożysko oporowe,
5 – śruba napędowa dwu lub trzyskrzydłowa, 6 – zbiornik wypełniony wodą słodką,
7 – czujnik do pomiaru siły naporu śruby napędowej;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

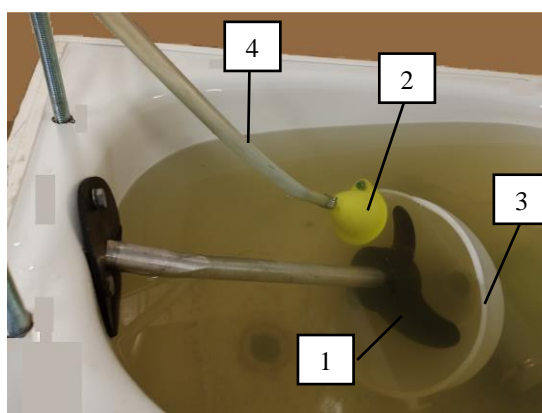
W czasie badań moment obrotowy silnika przekazywany przez łożysko oporowe (4) wymusza obracanie się śruby napędowej (5) w zbiorniku (8) wypełnionym wodą słodką. Sterowanie pracą silnika było realizowane za pomocą trójfazowego licznika energii elektrycznej OR-WE-505 firmy ORNO.

Linia wałów badanego układu napędowego składa się z wałów pośredniego (2) i śrubowego (3) połączonych łożyskiem oporowym (4). Wał pośredni ułożyskowany jest - jednym łożyskiem tocznym. Wał śrubowy ułożyskowany jest w pochwie wału jednym łożyskiem tocznym wraz z uszczelnieniem

gumowym od strony śruby napędowej. Na stożku śruby osadzona jest śruba napędowa o skoku stałym (5) (dwu lub trzyskrzydłowa).



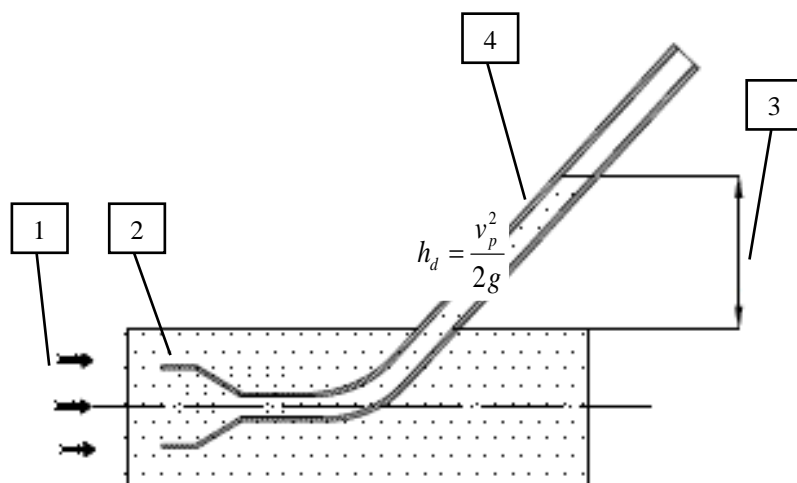
Rys. 2. Sposób pomiaru prędkości wody względem śruby dwupłatowej gdzie:
1- dwuskrzydłowa śruba napędowa, 2 - lejek pomiarowy, 3 - lejek tłumiący rozbryzg wody, 4 - rurka pomiarowa wysokości napływu wody



Rys. 3. Sposób pomiaru prędkości wody względem śruby trzypłatowej gdzie:
1- trzyskrzydłowa śruba napędowa, 2 - lejek pomiarowy, 3 - lejek tłumiący rozbryzg wody, 4 - rurka pomiarowa wysokości napływu wody

Pomiar prędkości wypływu wody ze skrzydeł śruby w kierunku lejka pomiarowego (2) został opracowany na podstawie porównania działania rurki pomiarowej (4) z rurką Pitota, która została skonstruowana i po raz pierwszy zaprezentowana w 1973 roku przez francuskiego inżyniera Henriego Pitota podczas pomiaru prędkości wody na różnych głębokościach Sekwany. Obecnie jest stosowana m.in. do pomiaru prędkości cieczy płynącej w kanałach otwartych [4].

Na stanowisku laboratoryjnym (rys.4) wstawiony jest lejek pomiarowy (2) wraz z zamocowaną rurką Pitota (4). Na zagiętym ramieniu rurki ustala się słup wody o pewnej wysokości względem zwierciadła wody w zbiorniku pomiarowym, na podstawie którego wyznacza się średnią prędkość względną.



Rys. 4. Sposób pomiaru średniej prędkości względnej gdzie 1 – przepływ wody o średniej prędkości względnej v_p [m/s], 2 – lejek pomiarowy, 3 – spiętrzenie przepływu wody, 4 – rurka pomiarowa, h_d – wysokość napływu wody podczas działania śruby napędowej [m].

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 [5,6]

$$\eta_s = \frac{T \cdot v_p}{\dot{E}_D} \quad (1)$$

gdzie:

T – siła naporu śruby [N],

\dot{E}_D – strumień energii doprowadzonej [Nm/s].

3. Metoda określania parametrów działania śrub napędowych

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. 8,2 Nm.

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 zbiorniku wypełnionym wodą),
2. Uruchomić silnik elektryczny i podczas trwania jednego impulsu elektrycznego (1 imp = 3600 Nm) odczytać;
 - średnią wartość siły naporu śruby napędowej,
 - średnią wartość wysokości napływu wody h_d .
3. Odłączyć od zasilania silnik elektryczny,
4. Przedstawić procedurę pomiarową powtórzyć czterokrotnie,
5. Wymienić śrubę dwuskrzydłową na trzyskrzydłową i przeprowadzić pomiary analogicznie jak wyżej.

Następnie obliczono na podstawie wzoru przedstawionego na rys.4 prędkość względną v_p a wszystkie wyniki badań przedstawione zostały w tab. 1 i 2.

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

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

Nr pomiaru	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 względna [m/s]
1	13,47	22,90	5,46	0,48
2	13,50	22,85	4,11	0,43
3	13,59	22,70	4,2	0,39
4	13,55	22,77	4,9	0,36
Wartość średnia	13,53	22,81	4,67	0,415

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

Nr pomiaru	Czas trwania impulsu elektrycznego τ_D [s]	Ilość energii przypadającej na 1 obrót śruby \dot{E}_D [N·m/s]	Siła naporu śruby T [N]	Średnia prędkość względna [m/s]
1	12,4	24,88	8,63	0,66
2	12,5	24,68	10,89	0,61
3	12,62	24,44	9,76	0,69
4	12,38	24,92	11,58	0,71
Wartość średnia	12,475	24,73	10,215	0,6675

Tabela 3. Porównanie sprawności modeli śrub napędowych

Nr pomiaru	Sprawność modelu śruby dwuskrzydłowej η_s [%]	Sprawność modelu śruby trzyskrzydłowej η_s [%]
1	11,44	22,89
2	7,73	26,92
3	7,2	27,55
4	7,75	33
Wartość średnia	8,53	27,59

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że działanie trzyskrzydłowej śruby napędowej jest lepsze od dwuskrzydłowej, ponieważ mimo większego zapotrzebowania energii pobieranej na jeden obrót (o ok. 8,5%) jej sprawność jest większa w przybliżeniu trzykrotnie.

4. Uwagi końcowe i wnioski

Przedstawione stanowisko laboratoryjne zostało zbudowane tylko dla celów dydaktycznych. Umożliwia ono realizację różnych ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotów dotyczących napędów statków morskich.

Zastosowanie lejka pomiarowego (rys.2,3 i 4) wywołuje spiętrzenie przepływu burzliwego wody wywołanego ruchem obrotowym skrzydeł śruby co powoduje, że prędkość względna wody na wlocie do rurki Pitota jest równa zero.

Dodatkowo zainstalowany został lejek tłumiący rozbryzg wody ze zbiornika (rys.2 i 3) co umożliwi dokładne śledzenie działania śrub napędowych.

Odrębną kwestią, nieporuszoną w artykule, jest stopień podobieństwa badanych na stanowisku laboratoryjnym śrub napędowych do tych, które są stosowane w praktyce eksploatacyjnej jachtów. Ze względu na tematykę dydaktyczną artykułu, którego celem jest nauczanie sposobu wyznaczania sprawności śrub napędowych w czasie zajęć laboratoryjnych, ograniczono się tylko do ogólnego kryterium podobieństwa, którym jest liczba skrzydeł śruby.

Literatura

- [1] Suska W.,L. Motorówki i małe kutry motorowe, Fundacja Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2010.
- [2] Zbierski, K. Dieslowe napędy jachtów, Studio M, Łódź 2012.
- [3] Kulczyk, J., Winter, J. Śródlądowy transport wodny, Monografia, Wrocław 2003.
- [4] Tesch, K., Banaszak, M. Laboratorium Mechaniki Płynów, Wydawnictwo Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2016.
- [5] Barrass, C.,B. Ship Design and Performance for Masters and Mates, Elsevier 2004.
- [6] Ghose, J.,P, Gokarn, R.,P. Basic Ship Propulsion, Allied Publishers Pvt. Limited 2004.