

METODA BADANIA STATECZNOŚCI POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH TYPU ROV

Patryk Zając, Marek Dawdziuk, Adam Olejnik

Katedra Technologii Prac Podwodnych, Akademia Marynarki Wojennej

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań wykonanych w ramach pracy dyplomowej inżynierskiej realizowanej w Katedrze Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Celem pracy było opracowanie metody i stanowiska do badania stateczności pojazdów głębinowych typu ROV. W materiale przedstawiono podstawy teoretyczne metody oraz wyniki wykonanych eksperymentów.

Słowa kluczowe: inżynieria mechaniczna, technologia prac podwodnych, bezzałogowe pojazdy głębinowe.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 74 Issue 1 pp. 23 – 34

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0002

Strony: 12, rysunki: 6, tabele: 2

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 08.09.2020 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.01.2021 r.



WSTĘP

Ostatnie dziesięciolecie to okres burzliwego rozwoju technologii podwodnych w kierunku wykorzystania urządzeń bezzałogowych, bardzo często znacząco zrobotyzowanych [1,2,3]. Głównie urządzenia te osadzone są w redukcyjnym modelu rozwoju technik głębinowej, czyli nurcie rozwojowym polegającym na eliminacji czynnika ludzkiego z podwodnego miejsca pracy [4].

Jest to z resztą trend wyłaniający się obecnie z każdego obszaru współczesnej techniki. Co raz więcej zadań dotychczas wykonywanych przez człowieka jest realizowanych przez urządzenia zdalnie sterowane lub pracujące w trybie półautonomicznym albo autonomicznym. Biorąc pod uwagę uwarunkowania pracy w środowisku podwodnym rozwój takich technologii wykorzystywanych do pracy pod wodą jest oczywisty i jasno widoczny w rozwoju techniki głębinowej [4].

Możemy dziś spotkać szereg urządzeń stosowanych w aplikacjach podwodnych, które zostały opracowane z wykorzystaniem różnych koncepcji konstrukcji i rozwiązań, gdzie najbardziej awangardowe podejście do konstruowania tych urządzeń reprezentowane jest przez podejście związane z naśladowaniem organizmów żywych, czyli tzw. pojazdy biomimetyczne [5]. Pomimo tego największym zasięgiem zastosowania i wykorzystania w środowisku podwodnym mogą poszczycić się, jednak protoplaści tego trendu rozwojowego w technice głębinowej, czyli bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe (z j. ang. ROV – remotely operated vehicle) – Rys. 1. Niezależnie od stopnia ich zrobotyzowania zawsze stanowią one platformę do zamontowania różnego rodzaju specjalistycznego osprzętu i urządzeń peryferyjnych, co wynika wprost z funkcji celu jaką dane rozwiązanie ma realizować i jest pochodną wymagań oraz potrzeb jego końcowego użytkownika.



ROV Falcon



ROV Tiger



ROV Lynx



ROV Cugar Compact

Rys. 1. Typowi przedstawiciele konstrukcji pojazdów głębinowych typu ROV – pojazdy produkcji firmy Saab Seaeye Ltd. z Wielkiej Brytanii [9].

Podwodna platforma montażowa jest w tym przypadku niczym innym jak zdalnie sterowanym statkiem głębinowym i aby poprawnie funkcjonować w środowisku dla którego została skonstruowana musi cechować się odpowiednimi zdolnościami morskimi. Jedną z podstawowych zdolności, którą musi się charakteryzować, jest właściwość jednostki głębinowej do przeciwstawiania się działaniu momentów wymuszających przechył oraz powrót do położenia początkowego po ustaniu ich działania, czyli stateczność. Najprościej można powiedzieć, że jest to zdolność do utrzymywania osi pionowej urządzenia zgodnie z kierunkiem pionowym. Zdolność ta musi być zachowana niezależnie od położenia jednostki w wodzie: na powierzchni oraz w toni wodnej.

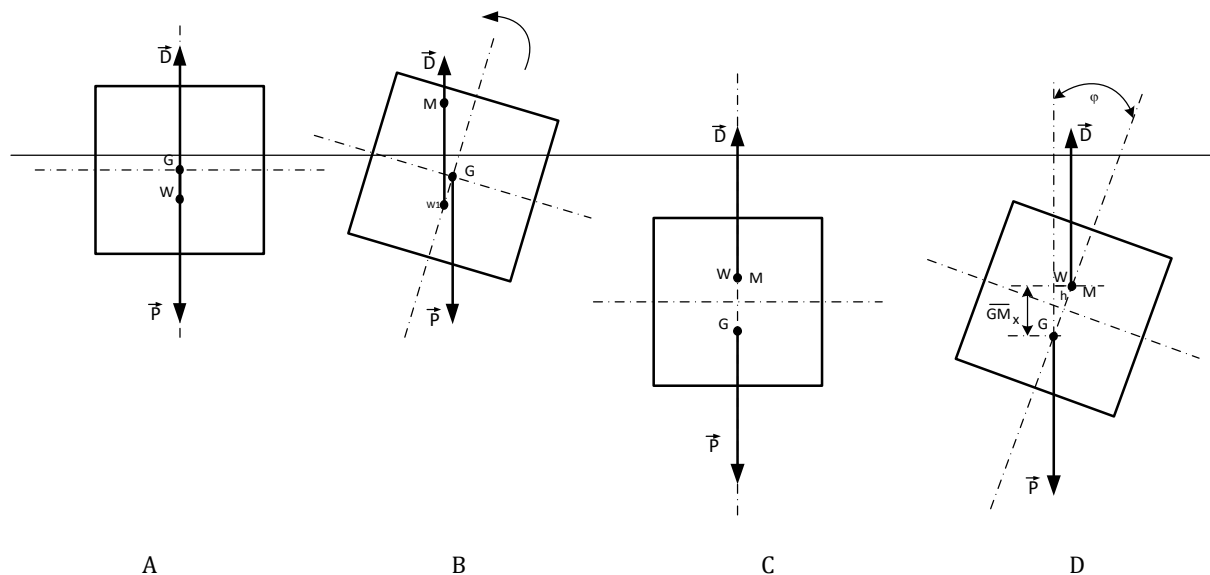
W przypadku jednostek typu ROV najczęściej zdolność tę uzyskuje się poprzez odpowiednie rozmieszczenie ciężarów i elementów wypornościowych w obrysie konstrukcji urządzenia. Zachowanie się pojazdu pod wpływem momentów wymuszających przechył jest uzależnione od sposobu ich działania – przy statycznym działaniu momentu mówimy o stateczności statycznej, a przy dynamicznym o stateczności dynamicznej. Stateczność statyczna zachodzi wówczas, kiedy moment przechylający narasta bardzo wolno od zera do wartości maksymalnej. Natomiast stateczność dynamiczna zachodzi gdy moment przechylający zmienia się gwałtownie.

Zazwyczaj jednak używając terminu „stateczność” mamy na myśli jedynie stateczność statyczną, ponieważ to ona jest najważniejszym miernikiem zachowania się jednostki pod wpływem momentów przechylających. Dla załogowej jednostki pływającej po powierzchni zdolność ta jest o tyle istotna, że ma bezpośredni wpływ na sposób prowadzenia obrony przeciwwawaryjnej okrętu. W tym przypadku generalną zasadą w stanach awaryjnych jest utrzymywanie jednostki na równej stopce, a następnie walka o jej niezatapialność. Co wynika z prostego założenia, że walka o niezatapialność jednostki utrzymującej swoją oś pionową zgodnie z kierunkiem pionowym jest po prostu łatwiejsza i, co nie mniej ważne, bezpieczniejsza dla załogi.

Natomiast dla bezzałogowych jednostek głębinowych, a szczególnie zdalnie sterowanych, brak tej zdolności powoduje katastrofalne skutki dla skuteczności sterowania taką jednostką – pojazd ROV staje się po prostu nieprzewidywalny. Zmiany nastaw sterujących na pędniki poziome wymuszające zmiany kierunku płynięcia będą nieadekwatne do oczekiwań sterującego. Bardzo często producenci pojazdów ROV nie udostępniają ich dokumentacji statecznościowej, koncentrując się przede wszystkim na danych dotyczących ich prawidłowego wywarzenia, czyli pływalności. Z powyższych powodów w ramach pracy dyplomowej inżynierskiej realizowanej na I stopniu studiów na kierunku mechatronika w specjalności prace podwodne w Katedrze Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni został wygenerowany temat pracy o brzmieniu: „Metoda badania stateczności pojazdów głębinowych typu ROV” [6]. Praca była realizowana przez pchor. Patryka Zajacę z grupy szkolnej 175U, jej promotorem był dr hab. inż. Adam Olejnik a konsultantem mgr inż. Marek Dawidziuk. Celem powyższej pracy było opracowanie stanowiska pomiarowego do badania stateczności pojazdów głębinowych typu ROV oraz jego weryfikacja z wykorzystaniem wybranej konstrukcji pojazdu. Praca została obroniona w styczniu 2021 roku.

STATECZNOŚĆ POJAZDU GŁĘBINOWEGO

Jednostka zanurzona w wodzie zawsze będzie starała się przyjąć takie położenie, w którym wszystkie działające na nią siły i momenty będą się wzajemnie znosić, co oznacza, że znajduje się w równowadze wówczas, kiedy jej ciężar (\vec{P}) i wyporność (\vec{D}) są sobie równe ale o przeciwnych zwrotach (Rys. 2A). Po wychyleniu jednostki od osi pionowej nie zmienia się ani jej wyporność ani jej ciężar, zmianie nie ulega też położenie środka ciężkości. Natomiast na skutek zmiany kształtu części zanurzonej zmienia się położenie środka wyporu (W_1) – Rys. 2B. Dla różnych kątów przechyłu środek ten będzie się znajdował w różnych punktach, poruszając się po krzywej. W przypadku małych kątów przechyłu jego położenie będzie oscylowało w miejscu, które jest środkiem tej krzywej i nazywa się metacentrum (M). Po przechyleniu jednostki kierunku działania siły wyporu i siły ciężkości ciągle działają w kierunku prostopadłym do płaszczyzny wody, tak więc zmiana położenia środka wyporu i kierunku działania sił powoduje generowanie momentu pary sił \vec{P} i \vec{D} . Jeśli metacentrum znajduje się powyżej położenia środka ciężkości to ten moment pary sił jest momentem prostującym, a równowaga jednostki jest stała. Podczas zanurzania środek wyporu i metacentrum przemieszczają się, aż do zajęcia wspólnego miejsca dla pełnego zanurzenia. Zmienia się też wzajemne położenie środka wyporu i środka ciężkości – środek ciężkości znajduje się poniżej środka wyporu (Rys. 2C), co wynika wprost z diametralnej zmiany kształtu części podwodnej po zanurzeniu.



Rys. 2. Stateczność poprzeczna jednostki pływającej.

Działanie pary sił \vec{P} i \vec{D} , jak wspomniano wcześniej generuje powstawanie momentu prostującego, którego wartość określa iloczyn wartości liczbowej jednej z sił i długość ramienia prostującego. Można to zapisać następująco:

$$M_p = \vec{P} \cdot h \quad (1)$$

Gdzie h jest wartością liczbową (długością) ramienia prostującego, którą można obliczyć z zależności:

$$h = \overline{GM} \cdot \sin\varphi \quad (2)$$

Wówczas równanie (1) można zapisać w postaci:

$$M_p = \vec{P} \cdot h = \vec{P} \cdot \overline{GM} \cdot \sin\varphi \quad (3)$$

Z czego wynika, że dla małych kątów przechyłu wartość momentu prostującego jest przede wszystkim zależna od wartości siły (\vec{P}) i odległości pomiędzy położeniem środka ciężkości i metacentrum, czyli wysokości metacentrycznej (\overline{GM}):

$$M_p = f(\vec{P}, \overline{GM}) \text{ dla małych } \varphi \quad (4)$$

Opisane powyżej zagadnienia to podstawowa teoria stateczności poprzecznej jednostek pływających opisana szeroko w literaturze przedmiotu, na przykład w [7,8,9,10]. Teoria ta jest także podstawą opracowanej w ramach pracy dyplomowej metody badania stateczności pojazdu głębinowego typu ROV. Z zależności (4) wynika wprost, że określenie wartości momentu prostującego wymaga znajomości ciężaru pojazdu (\vec{P}) oraz wartości długości ramienia prostującego, dla małych kątów przechyłu uzależnionego przede wszystkim od wartości wysokości metacentrycznej (\overline{GM}). A to oznacza, że podstawowy problem badawczy polega tu na wyznaczeniu położenia środka ciężkości i środka wyporu. Ponieważ wysokość metacentryczną definiuje odległość pomiędzy położeniem środka ciężkości i metacentrum, które dla jednostki głębinowej w położeniu podwodnym znajduje się w tym samym miejscu co środek wyporu.

Do określania współrzędnych środka ciężkości można zastosować metodę momentów statycznych oraz pomiary kątów przechyłu powstających po dodaniu dodatkowej masy w określonym miejscu konstrukcji pojazdu. Natomiast współrzędne środka wyporu można określić w drodze pomiarów kątów przechyłu powstających na skutek przesuwania masy.

METODA BADANIA STATECZNOŚCI POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH TYPU ROV

W proponowanej metodzie badania stateczności jej określanie polega głównie na wyznaczeniu wartości wysokości metacentrycznej konstrukcji pojazdu. Wynika to wprost z zależności (4), gdzie parametr związany z ciężarem pojazdu (\vec{P}) zazwyczaj jest znany i podany przez producenta. Natomiast wielkością nieznaną pozostaje wartość wysokości metacentrycznej pojazdu (\overline{GM}). Z relacji trygonometrycznych można wyprowadzić zależność na obliczanie tej wielkości

(względem osi Z – Rys. 3):

$$\overline{GM} = \frac{Z_G - Z_W}{\sin \alpha} \quad (5)$$

gdzie:

\overline{GM} - wysokość metacentryczna,
 Z_G - współrzędna Z środka ciężkości pojazdu,
 Z_W - współrzędna Z środka wyporu pojazdu,
 α - kąt przechyłu boczego.

Z zależności (5) wprost wynika, że do określenia wartości wysokości metacentrycznej niezbędne jest określenie położenia współrzędnych X środka wyporu i środka ciężkości.

W niniejszym materiale zaproponowano rozwiązanie tego problemu w drodze eksperymentu.

W pierwszej kolejności należy wykonać eksperyment w wyniku, którego określi się współrzędne położenia środka ciężkości. Eksperyment polega na umieszczeniu pojazdu w powietrzu na zawieszaniu umożliwiającym wykonanie przechyłów względem jego osi horyzontalnych do układu odniesienia. Po dokonaniu pomiaru kątów przechył względem osi eksperyment się powtarza dociążając pojazd odpowiednio zdefiniowanym balastem usytuowanym w ściśle wyznaczonych miejscach konstrukcji. Następnie współrzędne środka ciężkości określa się na podstawie znanej masy pojazdu, masy balastów oraz znanych współrzędnych dołożonego balastu, korzystając z zależności:

$$X_{G0} = tg \alpha_0 (H - Z_{G0})$$

$$Y_{G0} = tg \beta_0 (H - Z_{G0}) \quad (6)$$

$$Z_{G0} = H + \frac{O[X_0 + tg \alpha_1 (Z_0 - H)]}{M_0(tg \alpha_0 - tg \alpha_1)}$$

gdzie:

$X_{G0}; Y_{G0}; Z_{G0}$ - współrzędne środka ciężkości w pierwotnym położeniu,
 M_0 - masa pojazdu bez dodatkowego balastu,
 O - masa dodatkowego balastu,
 H - wysokość pojazdu,
 X_0 - współrzędna X balastu,
 α_0 - kąt przechyłu boczego bez dodatkowego balastu,
 α_1 - kąt przechyłu boczego z dodatkowym balastem,
 β_0 - kąt przechyłu wzdłużnego bez dodatkowego balastu.

Drugim krokiem w proponowanej metodzie, jest eksperymentalne wyznaczenie współrzędnej środka wyporu X. W tym celu pojazd umieszcza się w basenie testowym. Poszukiwane dane oblicza się na podstawie pomiaru kąta przechyłów wywołanych zmianą położenia masy elementu konstrukcyjnego pojazdu, w omawianym przypadku zastosowano zmiany położenia masy wynikające z wychylenia manipulatora pojazdu. Współrzędną środka wyporu liczono z zależności:

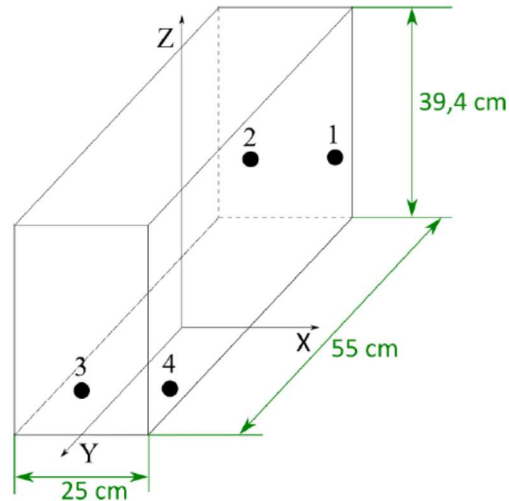
$$X_{WP} = \frac{B_{rov}(tg \alpha * X_{G2} - tg \alpha' X_{G0}) + B_u(tg \alpha' * X_{BU1} - tg \alpha * X_{BU2})}{B_p(tg \alpha - tg \alpha')} \quad (7)$$

gdzie:

X_{WP} - współrzędna X środka wyporu,
 B_{rov} - sumaryczna wyporność pojazdu i manipulatora,
 α - początkowy kąt przechyłu pojazdu w wodzie,
 α' - kąt przechyłu pojazdu wywołany zmianą położenia manipulatora,
 X_{G2} - współrzędna środka ciężkości pojazdu po dołożeniu dodatkowej masy,
 X_{G0} - współrzędna środka ciężkości pojazdu w położeniu pierwotnym,
 B_u - wypór manipulatora pojazdu,
 X_{BU1} - współrzędna środka ciężkości manipulatora w położeniu pierwotnym,
 X_{BU2} - współrzędna środka ciężkości manipulatora po zmianie położenia manipulatora,
 B_p - wypór pojazdu bez manipulatora.

EKSPERYMENTALNE WYZNACZENIE WYSOKOŚCI METACENTRYCZNEJ

Eksperymenty wykonano w laboratorium Katedry Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Do badań wykorzystano pojazd typu ROV Seabotix LBV 200 z manipulatorem cechujący się następującymi wymiarami: wysokość 39,4 [cm], szerokość: 25 [cm] i długość 55,0 [cm] o masie całkowitej 17,52 [kg]. Podczas określania współrzędnych środka ciężkości w ściśle określonych miejscach (Rys. 3) (Tab. 1) umieszczano atestowane odważniki laboratoryjne o masie 2 [kg] każdy.



Rys. 3 Punkty rozmieszczenia dodatkowej masy podczas określania współrzędnych środka ciężkości.

Tab. 1

Współrzędne punktów przyłożenia dodatkowej masy.

Lp.	Odważnik	Współrzędne położenia dodatkowej masy		
		X	Y	Z
		[cm]		
1	Lewa rufa (1)	8,4	-21,4	13,4
2	Prawa rufa (2)	-5,4	-21,4	13,4
3	Prawy dziób (3)	-8,6	15,1	1,6
4	Lewy dziób (4)	5,1	15,1	1,6

W wyniku przeprowadzenia pomiarów uzyskano wielkości liniowe odwzorowujące wartości kątowe przechyłów, które uwzględniając gabaryty pojazdu i zależności trygonometryczne przeliczono na wartości kątowe przechyłów. Następnie wyniki te wykorzystano do obliczenia współrzędnych środka ciężkości: $X_{G0} = -0,36$ [cm], $Y_{G0} = 3,38$ [cm], $Z_{G0} = 19,4$ [cm].

Określanie położenia środka wyporu rozpoczęto od zanurzenia pojazdu w basenie testowym (Rys. 4). Eksperyment polegał na pomiarach pośrednich kątów przechyłu przy zmianie położenia manipulatora pojazdu (Tab. 2). Przykładowo podczas pomiarów zaobserwowano, że zmiana położenia manipulatora o masie 0,6 [kg] powoduje przechył o ponad 4° .



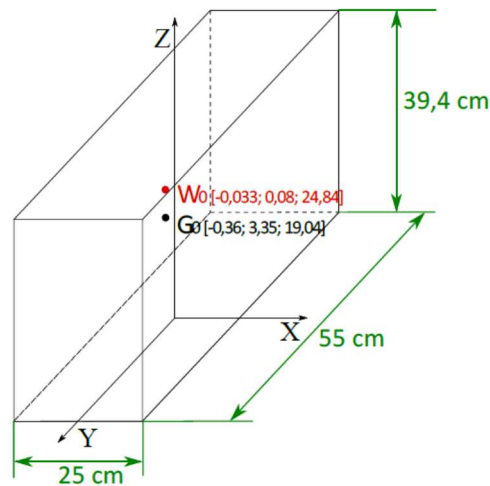
Rys. 4 Pojazd ROV Seabotix LBV 200 podczas eksperymentu w basenie testowym.

Tab. 2

Współrzędne manipulatora podczas eksperymentu.

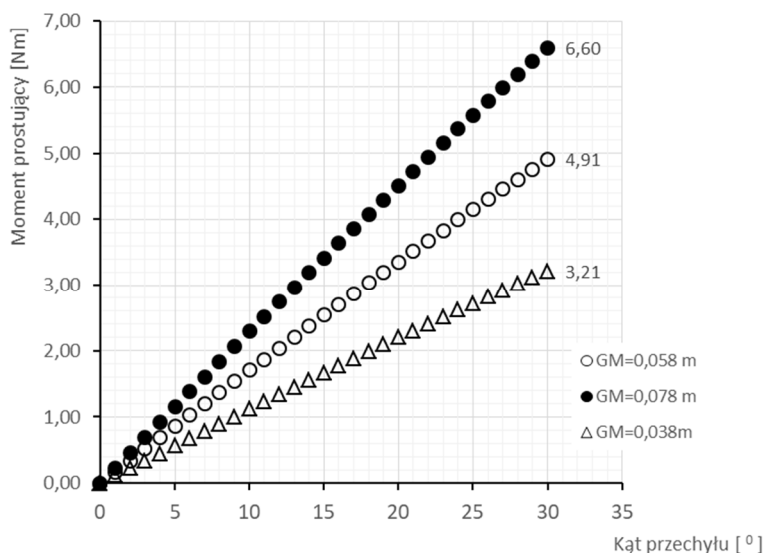
Położenie pierwotne			Po zmianie położenia		
X	Y	Z	X	Y	Z
[cm]			[cm]		
-9,2	2,8	3,7	9,2	2,8	3,7

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano współrzędne środka wyporu: $X_{WP} = -0,033$ [cm], $Y_{WP} = 0,08$ [cm], $Z_{WP} = 24,84$ [cm]. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określono współrzędne środka ciężkości oraz współrzędne środka wyporu badanej konstrukcji (Rys. 5).



Rys. 5 Wyznaczone na podstawie eksperymentów współrzędne środka ciężkości (G) i środka wyporu (W) badanej konstrukcji.

Następnie na podstawie określonych współrzędnych środka ciężkości i środka wyporu pojazdu obliczono wartość wysokości metacentrycznej dla badanej konstrukcji ($\bar{GM}=5,8$ [cm]). Ujawniona wartość wysokości metacentrycznej oraz znana masa pojazdu pozwala na obliczenie teoretycznej wartości momentu prostującego generowanego dla małych kątów przechyłu $\alpha \in (0 \div 30)^\circ$ (Rys. 6).



Rys. 6 Teoretyczne wartości momentu prostującego dla pojazdu o wysokości metacentrycznej równej 3,8 [cm] oraz 5,8 [cm] i 7,8 [cm] dla kątów przechyłu od 0° do 30°.

Na rysunku powyżej przedstawiono wartości momentu prostującego obliczone dla kątów przechyłów od 00 do 300 stopni i dla wyznaczonej podczas eksperymentu wysokości metacentrycznej wynoszącej 5,8 [cm] oraz teoretyczne wartości momentów prostujących dla hipotetycznych wartości wysokości metacentrycznej w granicach ± 2 [cm] od wartości eksperymentalnej. Wyraźnie widać wpływ wartości wysokości metacentrycznej na stateczność pojazdu. W przypadku zmian w zakresie $\pm 30\%$ wartości wyznaczonej eksperymentalnie wartość momentu zmienia się ok. $\pm 35\%$. Pokazuje to jak ważne z punktu widzenia eksploatatora pojazdu jest prawidłowe rozmieszczenie dodatkowych mas i elementów wypornościowych, co będzie miało znaczenie dla zdolności manewrowych pojazdu podczas pływania.

WNIOSKI

W artykule przedstawiono eksperymentalną metodę badania stateczności pojazdów głębinowych typu ROV wykorzystującą metodę momentów statycznych. W proponowanej metodzie badanie stateczności pojazdu polega głównie na określaniu za pomocą pomiarów pośrednich wartości wysokości metacentrycznej pojazdu, która zazwyczaj nie jest wielkością ujawnianą przez producenta. Podczas eksperymentów wykorzystano pojazd ROV Seabotix LBV 200, fabrycznie wyposażony w manipulator.

W ramach badań opracowano stanowisko pomiarowe, za pomocą którego można dokonać badania stateczności dowolnej konstrukcji, aczkolwiek autorzy zdają sobie sprawę z faktu, że może to wymagać niewielkich modyfikacji wynikających z różnorodnych gabarytów potencjalnie badanych konstrukcji. Jak widać z otrzymanych wyników wzajemne położenie środka wyporu i środka ciężkości ma istotne znaczenie dla zachowania stateczności pojazdu. Jak wynika z Rys. 6 wzrost wartości wysokości metacentrycznej zaledwie o 2 [cm] powoduje wzrost wartości momentu prostującego o 1,69 [Nm], co oznacza, że wzrost wartości wysokości metacentrycznej przekłada się wprost na poprawę stateczności konstrukcji.

Podczas eksperymentów pominięto wpływ kabloliny za pomocą której do pojazdu przekazywane są sygnały sterujące podczas pływania w toni wodnej. W czasie normalnej eksploatacji jej wpływu nie można jednak pomijać. Generalnie kablolina niezależnie od konstrukcji pojazdu powinna mieć jak najbardziej neutralny wpływ na jego zachowanie. Jednym z przykładów negatywnego oddziaływania kabloliny na ruch pojazdu jest brak stabilnej trajektorii podczas pływania poziomego. Taki przypadek zachodzi jeśli pojazd będzie wyposażony w kablolinę o ujemnej pływalności, która ma tendencje do opadania na dno. Problemy tego rodzaju rozwiązuje eksploatator poprzez zastosowanie pływaków wypornościowych dla kabloliny lub innych rozwiązań konstrukcyjnych. W toku badania stateczności pojazdu można je zatem pominąć.

Przeprowadzone w toku pracy eksperymenty potwierdziły, że możliwe jest opracowanie metody wyznaczania wartości wysokości metacentrycznej pojazdu, i następnie w oparciu o ujawnione przez producenta dane konstrukcyjne zbadanie stateczności jego konstrukcji.

LITERATURA

1. Anderson I.A.; Vincent J.F.V.; Montgomery J.C.: Ocean Innovation Biomimetics Beneath the Waves; Taylor&Francis Group LLC CRC Press, ISBN 978-1-4398-3762-7,
2. Crist D.R.; Wernli Sr R.L.: The ROV Manual, Elsevier 2014; ISBN 978-0-08-098288-5
3. Dawidziuk M., Olejnik A.: Ogólna budowa i klasyfikacja manipulatorów pojazdów podwodnych; Polish Hyperbaric Research PolHypRes 2018 Vol. 63 Issue 2 pp. 21 – 32; DOI: 10.24478/phr-2018-0009; ISSN 1734-7009; e-ISSN 2084-0535
4. Miller D., Jordan J.: Współczesne okręty podwodne; Espadon 1993; ISBN 83-85489-04-5
5. Moore St., Bohm H., Jensen V.: Underwater Robotics; MATE 2010; ISBN 978-0-9841737-0-9
6. Olejnik A., Siermontowski P.: Czy nurka zastąpi robot podwodny?; Polish Hyperbaric Research PolHypRes 2016 Vol. 54, Issue 1 pp. 7 – 18; DOI: 10.1515/phr-2016-0001; ISSN 1734-7009; e-ISSN 2084-0535,
7. Olejnik A.: Tendencje rozwojowe bezzałogowej techniki morskiej; Polish Hyperbaric Research PolHypRes 2016 Vol. 55 Issue 2 pp. 7 – 28; DOI: 10.1515/phr-2016-0008; ISSN 1734-7009; e-ISSN 2084-0535

8. Olejnik A.: Uogólniony amnistryczny model rozwoju techniki głębinowej; Polish Hyperbaric Research PolHypRes 2019 Vol. 68 Issue 3 pp. 59 – 70; DOI: 10.2478/phr-2019-0015; ISSN 1734-7009; e-ISSN 2084-0535,
9. Praca zbiorowa: Saab Seaeye Ltd. Underwater vehicles; <http://www.saabseaeye.com/solutions/underwater-vehicles> - dostęp 03.2021 rok
10. Rowiński L.: Technika głębinowa: Pojazdy głębinowe budowa i wyposażenie; WIB 2008; ISBN 978-83-928007-0-5
11. Zając P.: Metoda badania stateczności pojazdów głębinowych typu ROV; praca dyplomowa inżynierska pod kierunkiem Olejnik A., Wydział Mechaniczno-Elektryczny AMW w Gdyni 2021, str. 51

inż. Patryk Zając

Katedra Technologii Prac Podwodnych
Akademia Marynarki Wojennej
81-127 Gdynia
ul. Śmidowicza 69
e-mail: 20821@edu.amw.gdynia.pl

Adam Olejnik: ORCID: 0000-0003-1199-5835
Marek Dawidziuk: ORCID: 0000-0002-4086-9742