

A. Olejnik, P. Chrabąszcz

## WSTĘPNE BADANIA MODELU DEMOSTRACYJNEGO POJAZDU TYPU ROV

*W artykule przedstawiono koncepcję i budowę małogabarytowego bezzałogowego pojazdu podwodnego (tzw. ROV – z j. ang. Remotely Operated Vehicle) oraz wybrane wyniki badań nad opracowaną konstrukcją. Pojazd powstał w wyniku realizacji pracy dyplomowej magisterskiej realizowanej w Zakładzie Technologii Nurkowania i Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni (ZTNiPP-AMW). Opracowana konstrukcja stanowi model demonstracyjny technologii mini ROV i jest punktem wyjściowym do realizacji dalszych badań nad tego typu konstrukcjami oceanotechnicznymi.*

### WSTĘP

Pojazdy typu ROV należą do szerokiej gamy bezzałogowych konstrukcji oceanotechnicznych tzw. UUV (j. ang., Unmanned Underwater Vehicle), które znajdują wszechstronne zastosowanie w realizacji różnych przedsięwzięć na morzu [1,5,6,7,8,9]. Ze względu na złożoność ich konstrukcji i wysoką cenę ich zakupu powszechnie panuje przekonanie, że technologia ta jest niezwykle droga i często na tyle skomplikowana, iż opanowanie konstrukcji, a tym bardziej zbudowanie pojazdu ROV znacznie wykracza poza możliwości nakładów niskobudżetowych. Tymczasem w chwili obecnej można zauważyć wyraźny trend do oferowania przez producentów pojazdów niskobudżetowych o sprecyzowanych zadaniach określanych bezpośrednio przez potencjalnego użytkownika. Najczęściej są to pojazdy obserwacyjne, przeznaczone do oceny sytuacji podwodnej w bliskiej strefie działania pojazdu. Przykładowo rosyjskiej konstrukcji mini ROV o nazwie „Gnom” [1,6]. W związku z powyższym coraz więcej producentów oferuje swoim klientom rozwiązania proste i funkcjonalne, o małych gabarytach i co najważniejsze o niewielkich kosztach zakupu. Znaczny postęp w miniaturyzacji układów zasilania, sterowania oraz dostępność różnych technologii, których adaptacja do zastosowania w konstrukcji ROV nie wymaga obecnie znacznych nakładów finansowych dodatkowo wzmacnia to zjawisko. Trend ten związany jest z niezwykle użytecznością tego typu konstrukcji oceanotechnicznych, co udowodniono już niejednokrotnie również w krajowych warunkach. Na przykład przeprowadzona przez ZTNiPP-AMW identyfikacja wizyjna wraków „General von Steuben” i „Graf Zeppelin” zalegających w M. Bałtyckim na głębokościach powyżej 60 metrów była zrealizowana całkowicie z wykorzystaniem systemów bezzałogowych [4,6]. Ponadto, zastosowanie pojazdów typu ROV w podwodnych pracach poszukiwawczych przyczyniło się do całkowitej zmiany metodyki realizacji tych prac i wpłynęło znacznie na wzrost standardu ich realizacji [5,7,8]. Bazując na powyższych przesłankach w ZTNiPP-AMW podjęto próbę opracowania koncepcji takiego pojazdu, jednocześnie wychodząc z założenia, iż ma to być konstrukcja opracowana i zbudowana oraz wstępnie przebadana w ramach pracy dyplomowej absolwenta studiów drugiego stopnia na kierunku budowa i eksploatacja maszyn. W ten sposób student otrzymał zadanie do pracy magisterskiej, której celem było opracowanie i zbudowanie modelu demonstracyjnego zdalnie sterowanego bezzałogowego pojazdu podwodnego z układem przeniesienia napędu wykorzystującym sprzęgło magnetyczne oraz opracowanie metodyki badań modelowych konstrukcji i ich wykonanie w basenie wodnym komory dekompresyjnej i basenach nurkowych [3].

## 1. KONCEPCJA POJAZDU

Proces opracowywania nowej konstrukcji ROV jest złożony i czasochłonny, zazwyczaj opracowaniem nowego rozwiązania zajmuje się cały zespół pracowników, z tego powodu w ramach realizacji zadania, proces ten uproszczono narzucając dylomantowi podstawowe wymagania, którym konstrukcja ma sprostać (Tabela nr 1) [3].

Tabela 1

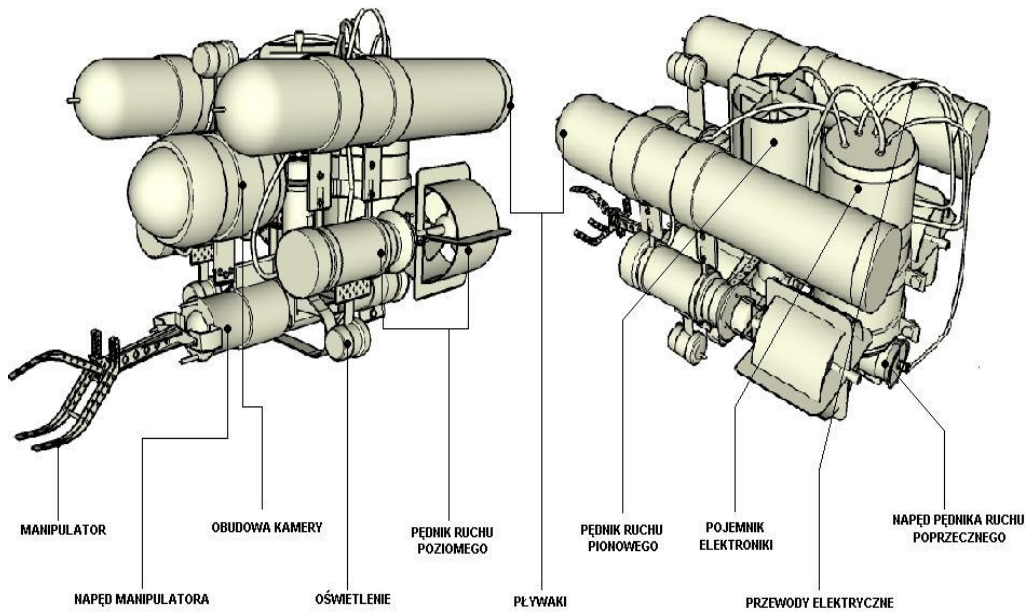
Narzucone warunki taktyczno-techniczne [3]

Lp	Parametry techniczne	Wartość	Jednostka
1	Głębokość operacyjna	0 – 16	m
2	Masa	8 – 20	kg
3	Długość	0,3 – 0,5	m
4	Szerokość	0,2 – 0,5	m
5	Wysokość	0,2 – 0,5	m
6	Napięcie zasilania	12 – 24	V
7	Długość kabloliny	20 – 30	m
8	Prędkość	0,1 – 0,25	m/s
Inne parametry			
9	Przeniesienie napędu	sprzęgło magnetyczne	
10	Sterowanie	modelarski sterownik RC	
11	System wizyjny	jednokamerowy, kamera z przetwornikiem CCD	
12	Zastosowanie	pojazd obserwacyjny, przegląd podwodnej części kadłuba jednostki pływającej	

Powyższe wymagania zostały opracowane w oparciu o dostępną literaturę przedmiotu oraz doświadczenia ZTNiPP-AMW w eksploatacji pojazdu ROV typu Super Achille, a także na drodze konsultacji z innymi krajowymi użytkownikami pojazdów tego typu oraz ze względu na zastosowanie również w uzgodnieniu z Polskim Rejestrem Statków [3].

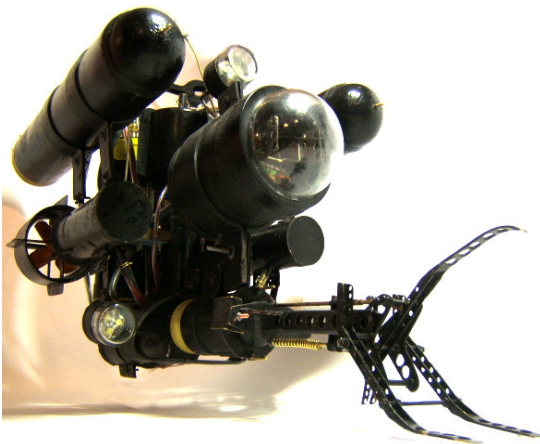
Początkowo planowano umieścić pędnik pionowy, kamerę, i elektronikę pojazdu w jednym pojemniku ciśnieniowym, jednak ze względu ograniczonych możliwości technologicznych, nie była to koncepcja możliwa do realizacji. Z tego powodu do realizacji wybrano koncepcję, która cechuje się rozmieszczeniem poszczególnych układów wykonawczych pojazdu w oddzielnych pojemnikach ciśnieniowych (Rys. 1). Centralnym elementem pojazdu jest pędnik pionowy względem, którego usytuowane są pozostałe elementy, takie jak pędniki ruchu poziomego, pływaki, obudowa kamery z trzema punktami świetlnymi, manipulator oraz pozostałe pędniki pojazdu. Ich rozmieszczenie zapewnia cztery stopnie swobody dla opracowanej konstrukcji. W układzie przeniesienia napędu każdego pędnika zastosowano sprzęgła magnetyczne, co zapewnia wysoką odporność układu napędowego na uszkodzenia powstałe na skutek zalania wodą. Zastosowano silniki modelarskie HRS550 o reglowej impulsowo prędkości obrotowej, dobierając ich moc na podstawie oszacowania oporów ruchu przy założonej prędkości urządzenia. A uwzględniając straty przesyłowe i sprawność silnika, określono moc zapotrzebowaną ze źródła zasilania, którym jest akumulator 12V. Postępując analogicznie dobrano średnicę śrub napędowych, które wykonano z żywicy epoksydowej. Na drodze określenia bilansu energetycznego oszacowano minimalne pola przekrojów zastosowanych przewodów z uwzględnieniem narzuconej długości kabloliny sterującej za pomocą, której przesyłane są do części podwodnej

pojazdu sygnały sterujące a na powierzchnię przekazywany jest obraz z zamontowanej na jego pokładzie kamery TV.



Rys. 1. Przyjęta do realizacji koncepcja pojazdu mini ROV [3]

W każdym z pojemników ciśnieniowych, w celach diagnostycznych zastosowano czujniki zalania wodą. Obliczenia konstrukcyjne dla poszczególnych pojemników ciśnieniowych wykonano według standardowych procedur dla naczyń ciśnieniowych z uwzględnieniem zastosowanego materiału. Generalnie cały pojazd zaplanowano wykonać z metali kolorowych i polimerów. Sterowanie oparto o standardowy sterownik modelarski typu RC. Rezultatem powyższego projektu było zbudowanie od podstaw prototypu pojazdu mini ROV, który nazwano „Gammarus” (Rys. 2). Pojazd charakteryzuje się niewielką masą około 11 kg oraz wymiarami głównymi mieszczącymi się w sześcianie o boku 0,5 m.



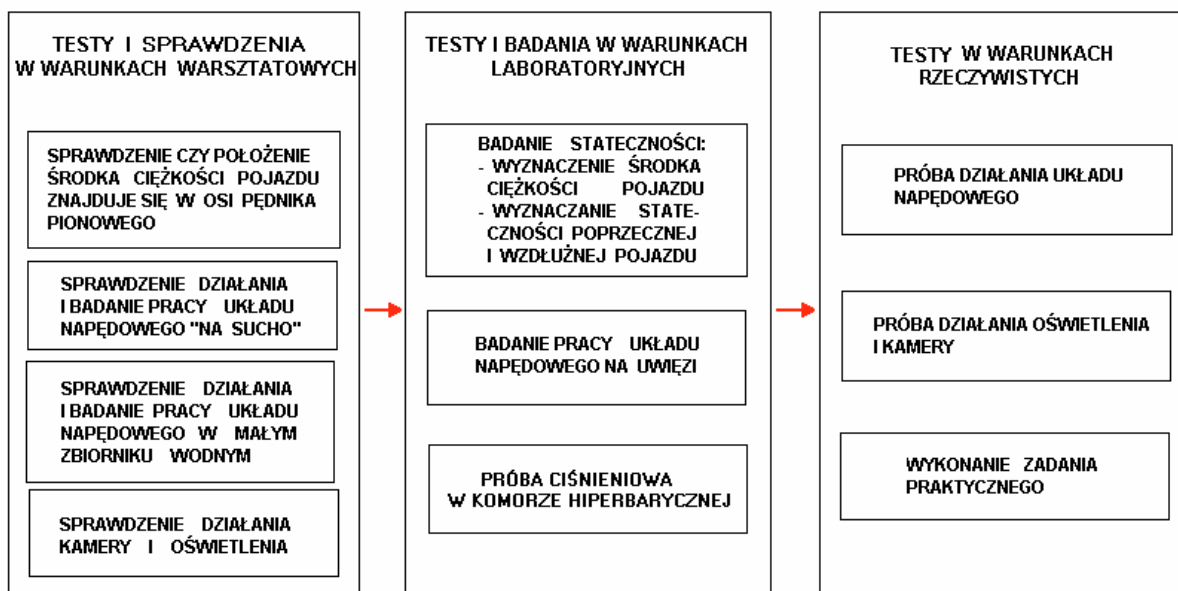
Rys. 2. Opracowana i zbudowana konstrukcja pojazdu mini ROV „Gammarus”



Rys. 3. Mini ROV „Gammarus” w położeniu podwodnym.

## 2. BADANIA MODELOWE PROTOTYPU ZDALNIE STEROWANEGO POJAZDU PODWODNEGO TYPU MINI ROV „GAMMARUS”

Opracowaną konstrukcję poddano badaniom w celu określenia zgodności z narzuconymi warunkami taktyczno-technicznymi oraz w celu wyznaczenia nieznanymi parametrów urządzenia takich jak na przykład jego wysokość metacentryczna. Badania prowadzono z wykorzystaniem bazy laboratoryjnej Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego AMW a dokładnie w Zakładzie Technologii Nurkowania i Prac Podwodnych oraz Zakładzie Niezatapalności i Obrony Przeciwpożarowej. Część badań przeprowadzono w basenach nurkowych Ośrodka Szkolenia Nurków i Płetwonurków Wojska Polskiego w Gdyni. Ostatnim etapem badań było wykonanie zadania praktycznego na akwenu śródlądowym, zadanie polegało na inspekcji napędu jachtu motorowego zacumowanego do przystani w Ośrodku Szkolno-Wypoczynkowym AMW „Cyranka” w Czernicy. Pierwsze badania i testy opracowanej konstrukcji realizowano już na stanowisku montażowym. Całość zrealizowanych czynności badawczych i ich zakres przedstawiono na kolejnym rysunku.



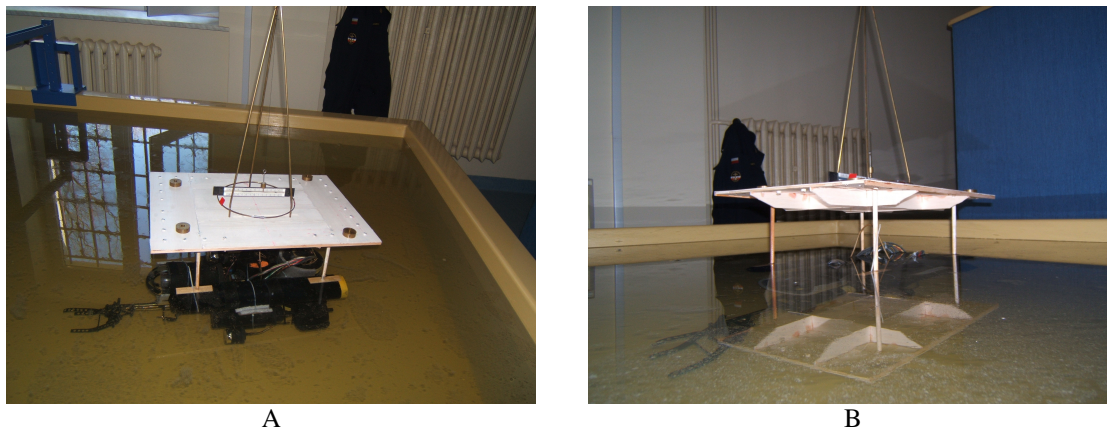
Rys. 4. Zakres przeprowadzonych czynności badawczych [3]

### 2.1. TESTY I SPRAWDZENIA KONSTRUKCJI W WARUNKACH WARSZTATOWYCH

Testy i sprawdzenia konstrukcji pojazdu „Gammarus” w warunkach warsztatowych realizowano na stanowisku montażowym. Ich celem było sprawdzenie funkcjonowania poszczególnych układów wykonawczych pojazdu, kontrola poprawności montażu i szczelności konstrukcji. Czynności te wykonywano w małym zbiorniku wodnym. Dodatkowo podczas tych badań sprawdzono czy środek ciężkości pojazdu znajduje się w osi jego pędnika pionowego.

## 2.2. TESTY I BADANIA W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Kolejny etapem badań były testy i badania w warunkach laboratoryjnych. Podczas badań określano parametry stateczności konstrukcji, badano układ napędowy oraz sprawdzano wytrzymałość konstrukcji podczas pracy w zadanym zakresie głębokości operacyjnych.



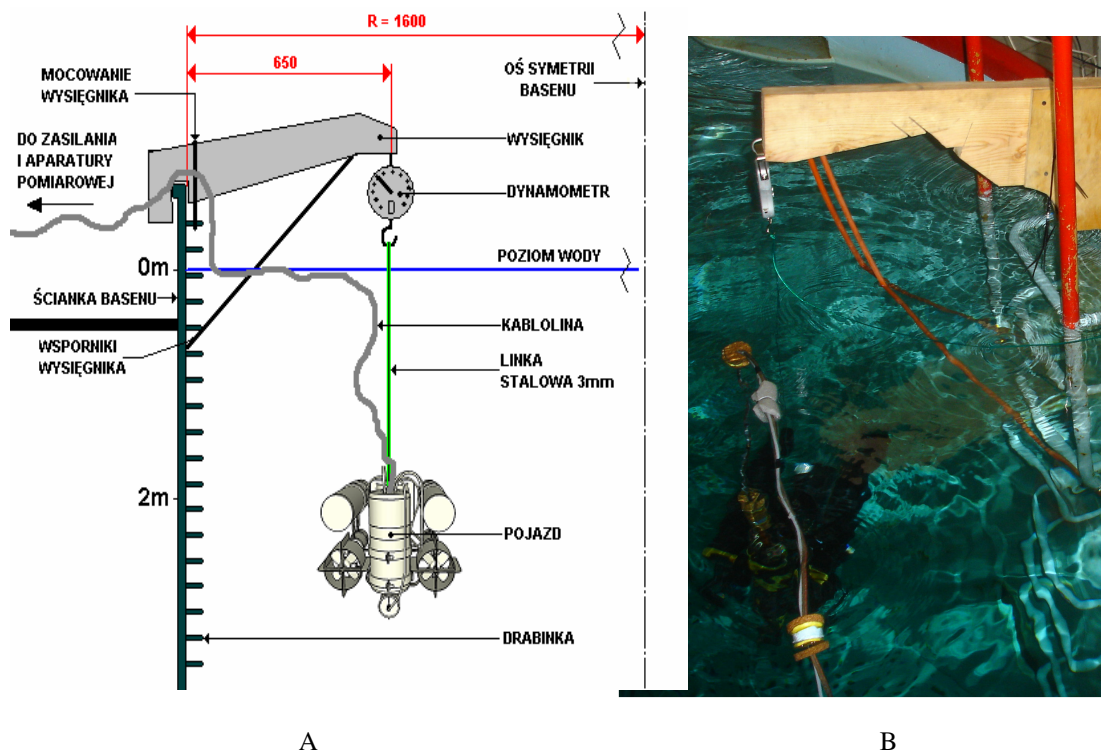
Rys. 5. Badania stateczności pojazdu „Gammarus”

A – badanie stateczności wzdłużnej, B – pojazd z platformą z zamontowanym wyposażeniem pomiarowym

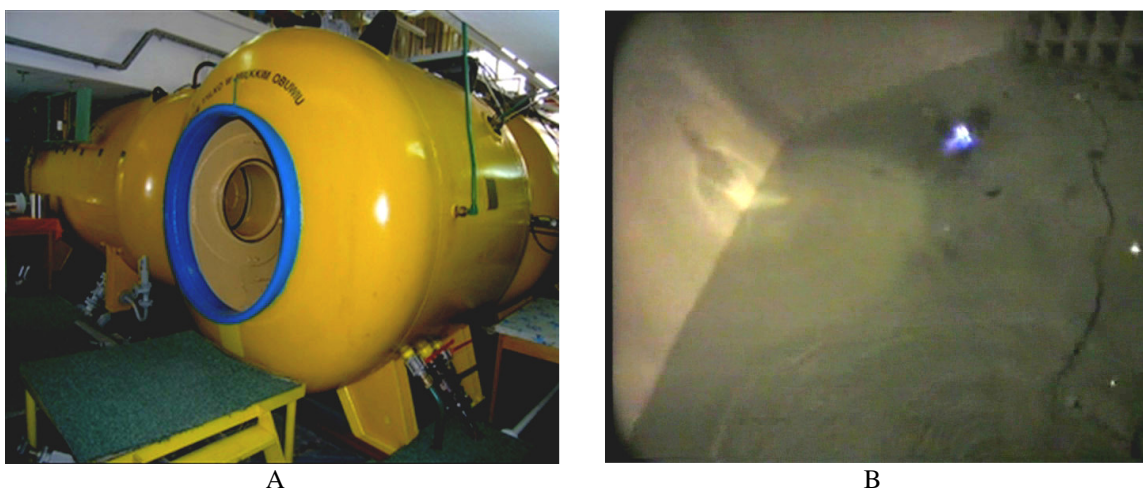
Badania stateczności prowadzono w płytkowodnym basenie stanowiącym wyposażenie laboratoryjne Zakładu Niezatapalności i Obrony Przeciwpożarowej. Badania polegały na wykonaniu prób przechyłów zanurzonego urządzenia z zastosowaniem specjalnie do tego celu opracowanej platformy pomiarowej umożliwiającej zmianę położenia mas kontrolnych i pomiar kąta przechyłu (Rys. 5). Próby przeprowadzono zgodnie z wytycznymi PRS dotyczącymi realizacji tego typu pomiarów dla jednostek pływających i zanurzalnych [3]. W rezultacie prób określono wysokość środka ciężkości, ponadto na podstawie próby przechyłów wyznaczono wysokość metacentryczną pojazdu. W oparciu o wyznaczone parametry wykonano wykres ramion prostujących pojazdu.

Kolejnym etapem badań laboratoryjnych były próby układu napędowego na uwięzi. Wykonano je w basenach nurkowych Ośrodka Szkolenia Nurków i Płetwonurków WP w Gdyni. Podczas badań zastosowano specjalnie do tego celu opracowane stanowisko pomiarowe (Rys. 8).





Rys. 8. Badania układu napędowego na uwięzi w basenie nurkowym  
 A – schemat wykorzystanego stanowiska pomiarowego, B – „Gammarus” podczas prób



Rys. 9. Badania komorowe pojazdu „Gammarus”  
 A – Doświadczalny Głębokowodny Kompleks Nurkowy DGKN-120, B – pojazd „Gammarus” w basenie wodnym DGKN-120 podczas prób komorowych

Podczas prób mierzono siłę naporu pędnika przy określonej mocy dostarczonej do układu. W rezultacie tych badań sprawdzono poprawność działania układu przeniesienia napędu, ponadto, określono empiryczne rozkłady  $T=f(N)$  i poddano je analizie statystycznej.

Ostatnim etapem testów i badań laboratoryjnych była próba ciśnieniowa w komorze hiperbarycznej. Pojazd umieszczono w basenie wodnym kompleksu nurkowego DGKN-120 stanowiącego wyposażenie laboratoryjne Zakładu Technologii Nurkowania i Prac Podwodnych AMW, następnie podniesiono ciśnienie do ciśnienia

odpowiadającego głębokości 16 metrów i testowano funkcje użytkowe pojazdu (Rys. 9).

### 2.3. TESTY W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

Po pozytywnym zakończeniu wszystkich testów i badań w warunkach laboratoryjnych przystąpiono do wykonania testu w warunkach rzeczywistych. Test polegał na wykonaniu zadania praktycznego w wyniku, którego należało dokonać wizyjnej inspekcji napędu jachtu motorowego zacumowanego do przystani w Ośrodku Szkolno-Wypoczynkowym AMW „Cyranka” w Czernicy (Rys. 10). Podczas testu oceniano system wizyjny i oświetleniowy pojazdu jego zdolności manewrowania w obrębie kadłuba jednostki pływającej oraz ergonomię układu sterowania i poprawność działania układu rejestracji danych wizyjnych.

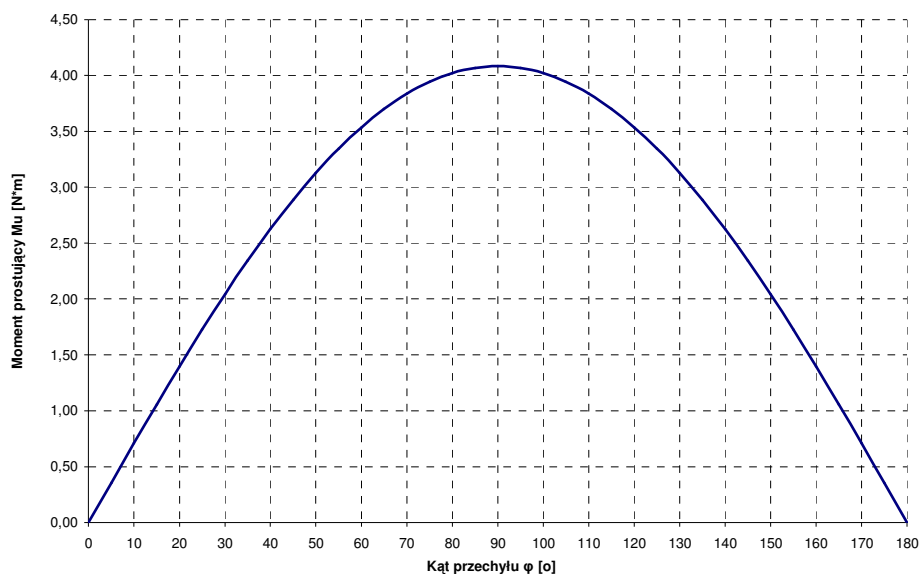


Rys. 10. Wykonanie zadania praktycznego - przegląd stanu technicznego śruby napędowej jachtu motorowego.

A – podejście pojazdem do badanego obiektu; B – spodzina badanego silnika ze śrubą napędową

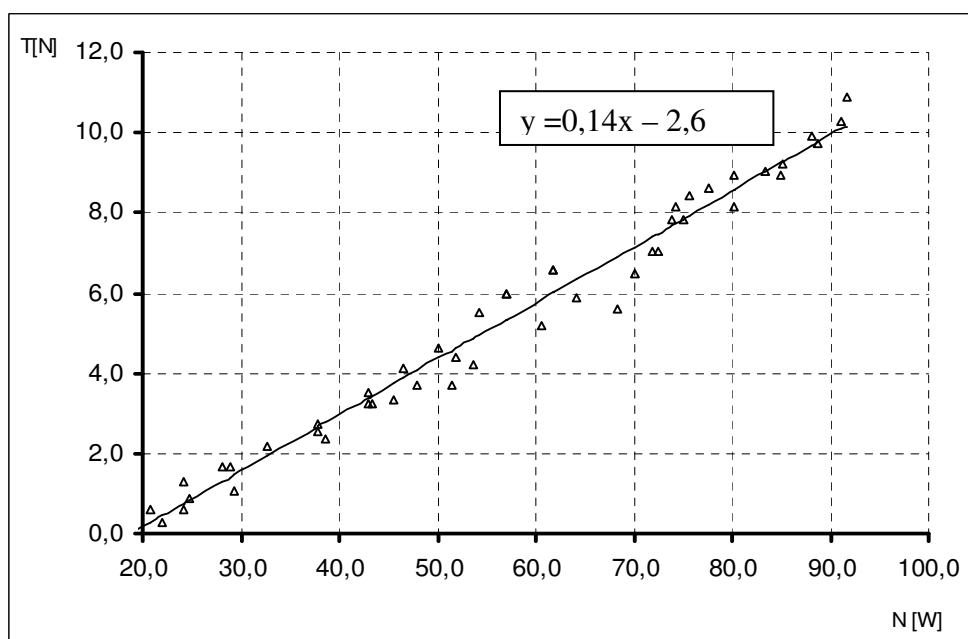
### 3. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych czynności badawczych stwierdzono, że opracowany i zbudowany w ramach pracy dyplomowej mini ROV „Gammarus” spełnia wymagania zawarte w Tabeli nr 1. Dodatkowo określono nieznane parametry konstrukcji na przykład w postaci wysokości metacentrycznej pojazdu (0,040 m) na podstawie, której wyznaczono wykres momentów prostujących (Rys. 11).



Rys. 11. Wykres momentów prostujących  $M_u=f(\varphi)$  dla pojazdu „Gammarus” [3]

Badania układu na uwięzi pozwoliły na stwierdzenie, że zaprojektowany układ napędowy spełnia przewidzianą dla niego funkcję celu oraz że w zadanych warunkach prób cechuje się liniową charakterystyką (Rys. 12).



Rys. 12. Empiryczny rozkład  $T = f(N)$  oraz jego aproksymanta dla prób na uwięzi realizowanych na głębokości 2 m [3]

Badania komorowe przy ciśnieniu odpowiadającym głębokości 16 metrów pozwoliły na stwierdzenie, że opracowana konstrukcja cechuje się szczelnością w zadanym zakresie głębokości operacyjnych. Podczas wykonywania zadania praktycznego w



akwenu śródlądowym oceniono pozytywnie przydatność opracowanej konstrukcji jako pojazdu obserwacyjnego przeznaczonego do inspekcji podwodnej części kadłuba jednostek pływających. Opracowana konstrukcja cechuje się niskim kosztem budowy, co osiągnięto na drodze zastosowania powszechnie dostępnych rozwiązań, na przykład cały układ sterowania oparty jest o modelarską aparaturę zdalnego sterowania, a układ wizyjny o kamerę internetową. Do budowy pojemników ciśnieniowych zastosowano łatwo dostępne i tanie materiały, takie jak na przykład polichlorek winylu (PCW). Oczywiście zbudowany pojazd nie jest w pełni wartościowym pojazdem ROV i nie może mieć zastosowania w działaniach komercyjnych i przemysłowych, choćby ze względu na brak odpowiednich certyfikatów bezpieczeństwa. Pojazd także nie posiada standardowego wyposażenia pokładowego, dla pojazdów UUV, echosondy i sonaru. ROV „Gammarus” jest modelem demonstracyjnym technologii, który może posłużyć do zadań dydaktycznych, np. na szkoleniu operatorów pojazdów ROV. Ponadto może być wykorzystany do prowadzenia dalszych prac nad konstrukcją małogabarytowych zdalnie sterowanych pojazdów obserwacyjnych.

#### 4. LITERATURA

1. Bell Ch., Bayliss M., Warburton R. „Handbook for ROV pilot / technicians”, Oilfield Publications Inc 2006.
2. Chrabąszcz P. „Badania modelowe miniaturowego zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego”, Polish Hyperbaric Research nr 1(14) 2006; ISSN 1734-7009; str. 25-30, rys.4, tab.0.
3. Chrabąszcz P. „Badania modelowe prototypu zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego” praca dyplomowa magisterska pod kierunkiem A.Olejnik, AMW Gdynia 2007 rok,
4. Grabiec D., Olejnik A. „Poszukiwanie i identyfikacja obiektów podwodnych” w: „Wraki Bałtyku – Poradnik dla nurków”, Praca zbiorowa pod redakcją St. Poleszaka, Wydawnictwo Książki Nurkowe, str. 81-105. Gdynia 2005.
5. Last G., Williams P. „An introduction to ROV operations”, Oilfield Publications Inc 2006.
6. Olejnik A. „Metodyka poszukiwania zatopionych obiektów w warunkach morskich i śródlądowych z zastosowaniem pojazdów bezzałogowych” Polish Hyperbaric Research, nr 3(14) 2006; ISSN 1734-7009; str. 25-30, rys.4, tab.0.
7. Olejnik A. Poleszak. S. „Wybrane aspekty wspomaganie prac podwodnych zdalnie sterowanych pojazdem ROV” DMW, V Konferencja Morska, cz1, Aspekty bezpieczeństwa nawodnego i podwodnego, oraz lotów nad morzem, str. 93-103; Gdynia 2002.
8. Praca zbiorowa pod redakcją Johna F. Brahtza, „Oceanotechnika” Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1974.
9. Siudut L., Kłos R. „Wpływ środków zabezpieczenia technicznego, na bezpieczeństwo prac podwodnych” str. 25-33. III Konferencja Morska, cz2, Gdynia 2000

*Recenzent: dr hab. inż. Ryszard Kłos Akademia Marynarki Wojennej*

*Autorzy: dr inż. Adam Olejnik, inż. Przemysław Chrabąszcz Akademia Marynarki Wojennej*