

Tadeusz Graczyk¹⁾

SYSTEMY POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono ogólną klasyfikację pojazdów głębinowych oraz autorską propozycję klasyfikacji grupy pojazdów bezzałogowych, zdalnie sterowanych, uwzględniającą różnorodność ich funkcji, zadań, typów konstrukcji i wyposażenia. Przedstawiono także analizę populacji tych pojazdów.

Słowa kluczowe: technologia podwodna, pojazd głębinowy.

WSTĘP

Tematem artykułu są szczególnego rodzaju obiekty pływające, jakimi są urządzenia głębinowe. Urządzenia te zwane są dalej **pojazdami** z uwagi na ich właściwości ruchowe, sposób posługiwania się nimi, a także tłumaczenie tradycyjnej ich nazwy z języka angielskiego (a vehicle), w którym publikowana jest większość opracowań literaturowych dotyczących zagadnień z tego obszaru.

Od najdawniejszych czasów człowiek wykazuje zainteresowanie badaniem i wykorzystaniem głębin morskich. Znane jest zastosowanie rozmaitych pojazdów podwodnych już w czasach starożytnych, w okresie średniowiecza, a zwłaszcza w czasach intensywnego postępu technicznego wieków XIX i XX [2, 5, 6, 7]. Pojazdy te umożliwiały przebywanie obserwatora w wodzie na większych głębokościach i w czasie dłuższym niż pozwala na to fizjologia człowieka, bowiem ludzkie możliwości bezpośredniego przebywania w środowisku wodnym są ograniczone z uwagi na ciśnienie panujące w głębinach. Budowa kapsuł ochraniających ludzi przed wpływem ciśnienia wymaga użycia materiałów o wysokich charakterystykach wytrzymałościowych, stosowania konstrukcji grubościennych o znacznej masie, rozbudowanych systemów zabezpieczenia życia załogi. Oddalenie człowieka od swobodnej powierzchni wody, świadomość dystansu dzielącego go od bezpiecznej przestrzeni nie sprzyja poczuciu komfortu i zagraża jego bezpieczeństwu. Aby pokonać te ograniczenia obok głębinowych pojazdów załogowych zaczęto budować różnorodne pojazdy bezzałogowe, zdalnie sterowane z powierzchniowej stacji kontrolnej.

¹⁾ Wydział Techniki Morskiej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

Podejmowane są próby klasyfikacji pojazdów, uwzględniające różnorodność typów ich konstrukcji i zastosowań. Ponieważ jednak w dynamicznie zmieniającej się populacji pojazdów pojawiają się nowe obiekty, posiadające często cechy wspólne dla różnych klas, klasyfikacja taka staje się nieprecyzyjna.

Na podstawie analizy literatury przedmiotu i doświadczeń projektowych przedstawiono własną propozycję ogólnej klasyfikacji pojazdów głębinowych i uporządkowano dotyczącą ich terminologię, a także zwięźle scharakteryzowano populację tych pojazdów. Pozwala to precyzyjnie określić obszar dla dalszych rozważań dotyczących projektowania tych pojazdów.

KLASYFIKACJA OGÓLNA POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

Pojazdy głębinowe można podzielić na dwie główne kategorie: pojazdy **załogowe** i **bezzałogowe** (rys. 3) [3, 4, 8, 9, 10]:

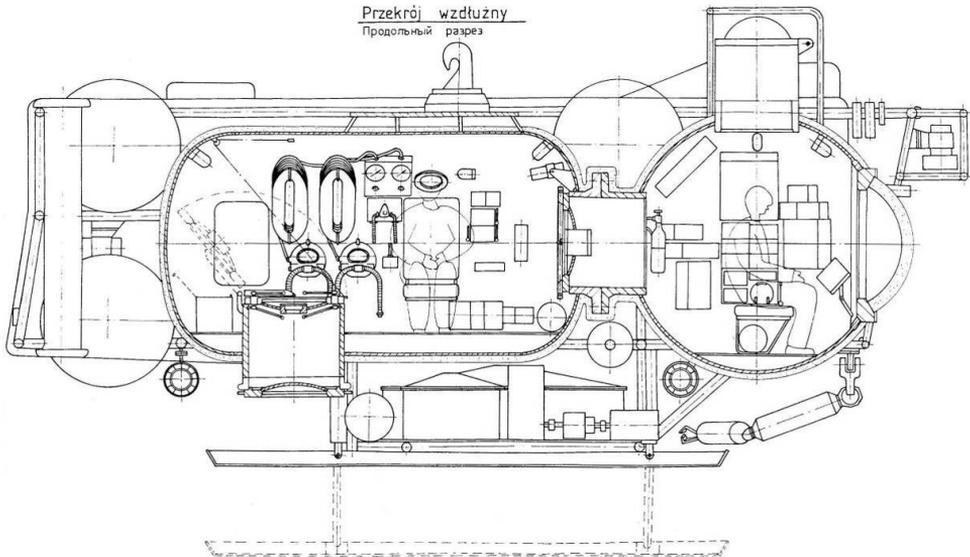
Pojazdy załogowe reprezentowane są przez trzy typy:

- pojazdy stałociśnieniowe, w których załoga chroniona jest przez kadłub wytrzymałościowy pozwalający na zachowanie wewnątrz ciśnienia atmosferycznego; dla niewielkich głębokości kadłub ma kształt cylindryczny, dla większych – kulisty, co podyktowane jest koniecznością spełnienia wymagań wytrzymałościowych;
- pojazdy zmiennociśnieniowe, hiperbaryczne, w których załoga poddawana jest ciśnieniu równoważnemu ciśnieniu słupa wody na głębokości roboczej; do tej grupy zalicza się także pojazdy „mokre” dla nurków, służące im jako środki transportu podczas przemierzania znacznych odległości pod wodą;
- pojazdy z komorą dla nurków (tzw. typu diver lock-out), będące kombinacją dwóch pozostałych typów, w których piloci znajdują się w kapsułach o ciśnieniu atmosferycznym, natomiast nurkowie w kapsułach hiperbarycznych (rys. 1); nurkowie transportowani są do miejsca pracy, gdzie opuściwszy pojazd wykonują zadania traktując go jako bazę, która podtrzymuje ich funkcje życiowe, wspomaga narzędziami oraz stanowi miejsce odpoczynku.

O sposobie pływania, ich mobilności, decyduje przeznaczenie pojazdów, co z kolei wpływa na koszt ich budowy i eksploatacji.

Pojazdy pływające swobodnie bez uwięzi są niezależne od statku-bazy, ale jednocześnie muszą przenosić źródła energii (najczęściej akumulatory ołowio- lub srebro-cynkowe) oraz systemy podtrzymania życia, co zdecydowanie powiększa masę, rozmiary i koszt pojazdu oraz komplikuje jego budowę.

Zastosowanie uwięzi uzależnia pojazd od statku-bazy, umożliwia jednakże praktycznie nieograniczony dopływ energii i mieszanek oddechowych, co zmniejsza znacznie koszty budowy i eksploatacji, a jednocześnie stwarza większe możliwości długotrwałej pracy pod wodą. Z drugiej strony fizyczne połączenie pojazdu ze statkiem-bazą ogranicza mobilność i manewrowość pojazdu, kablolina łącząca pojazd ze statkiem



Rys. 1. Pojazd głębinowy z komorą dla nurków NPG-600/300 – przekrój w płaszczyźnie symetrii przez przedział nurkowy i przedział dowodzenia (projekt: Politechnika Szczecińska) [4]

oddziałują na jego ruchy oraz stwarza zagrożenie zaplątania się w konstrukcjach podwodnych lub jej urwania.

Pojazdy bezzałogowe reprezentowane są przez dwa typy:

- bezuwężiowe – pojazdy pływające swobodnie, wykonujące zadania według wcześniej ustalonego programu, zarejestrowanego w ich urządzeniach pokładowych;
- pojazdy uwięziowe, połączone kabloliną ze stacją zasilania, sterowania i kontroli znajdującą się na statku-bazie, platformie lub nabrzeżu.

W grupie pojazdów bezuwężiowych pojazdy autonomiczne są przeznaczone dla wypełnienia określonej misji (kurs, głębokość pływania, zadania). Rozwój techniki mikroprocesorów, robotyki i sztucznej inteligencji umożliwia obecnie realizację bardzo ambitnych zadań, w których istnieje konieczność nie tylko ich wykonania według założonego programu, ale również podejmowania decyzji. Nie w pełni rozwiązane problemy transmisji sygnałów pod wodą sprawiają, że dane zbierane podczas długotrwałych misji badawczych rejestrowane i przechowywane są w pamięci komputerów pokładowych do czasu zakończenia misji lub przesyłane drogą radiową podczas zaplanowanych kolejnych wynurzeń pojazdu.

Dla pojazdów uwięziowych określenie „bezzałogowy” oznacza brak człowieka w samym pojeździe. W rzeczywistości są one sterowane przez operatora z kabiny kontrolnej na powierzchni morza, który stanowi jego „załogę”. Takie rozwiązanie stwarza komfort pracy z uwagi na brak bezpośredniego zagrożenia dla życia człowieka w miej-

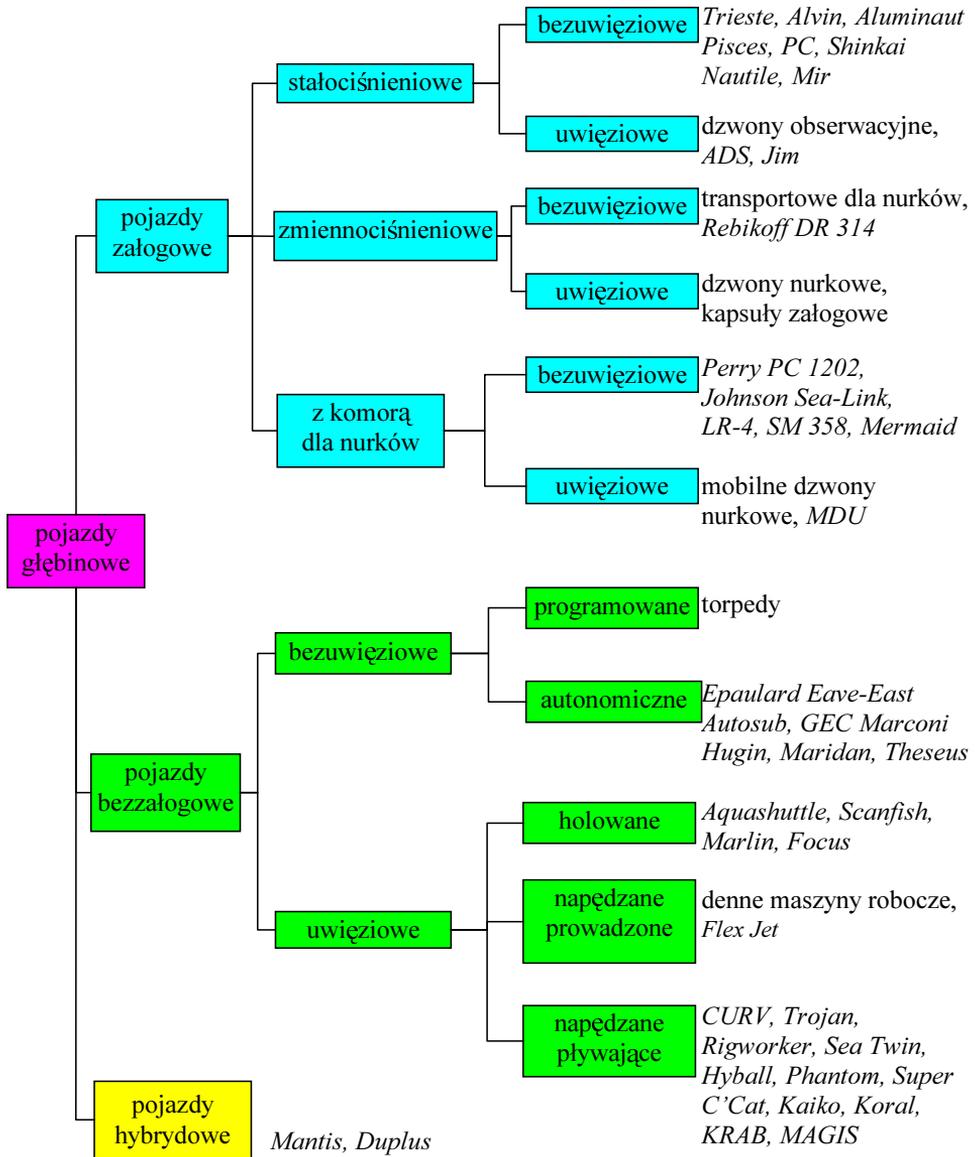
scu wykonywania prac w głębinach. Początkowo to oddalenie pojazdu od operatora utrudniało jego sterowanie, gromadzenie i przesyłanie danych uzyskanych podczas obserwacji. Obecnie dzięki technice światłowodowej, zaawansowanym systemom wizyjnym i echolokacyjnym, możliwościom telewizyjnej obserwacji i rejestracji, precyzyjnym systemom nawigacyjnym i układom automatyzacji ruchu oraz systemom roboczym wykorzystującym wielofunkcyjne manipulatory, zdalnie sterowany pojazd bezzałogowy na uwięzi stał się powszechnie wykorzystywanym narzędziem do penetracji przestrzeni wodnej i obiektów podwodnych. Dla tego typu pojazdów występują ograniczenia swobody ruchu z jednej strony, z drugiej zaś – istnieje możliwość zasilania pojazdu i przekazywania sygnałów w obie strony w sposób ciągły, co umożliwia ich długotrwałą pracę.

Pojazdy bez własnego napędu, holowane za statkiem na odpowiedniej głębokości, są wyposażone najczęściej w kamery telewizyjne lub sondujące systemy akustyczne, dysponują aparaturą do pomiaru właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych wody i służą do penetracji dużych obszarów dennych i przestrzeni wodnej.

Pojazdy napędzane obejmują dwie grupy pojazdów: pływające na uwięzi w przestrzeni trójwymiarowej (rys. 2) oraz konstrukcje poruszające się na uwięzi po obiektach podwodnych lub na dnie, co ogranicza ich swobodę, wymuszając ruch po zadanej krzywej lub powierzchni. Są to pojazdy inspekcyjne dla rurociągów, konstrukcji wspierających, różnego rodzaju duże maszyny do prac ziemnych wykonywanych na dnie. W odróżnieniu do pozostałych pojazdów te obiekty charakteryzuje ujemna pływalność (ciężar przewyższa siłę wyporu).



Rys. 2. Bezzałogowy zdalnie sterowany pojazd głębinowy MAGIS (Politechnika Szczecińska) przygotowany do inspekcji doku w Szczecińskiej Stoczni Remontowej „Gryfia” [4]



Rys. 3. Ogólna klasyfikacja pojazdów głębinowych z przedstawicielami klas [4]

Odrębna kategoria obejmuje **pojazdy hybrydowe**, łączące funkcje pojazdów załogowych i bezałogowych, które mogą być zastosowane jako pojazdy załogowe sterowane bezpośrednio przez pilota i jako pojazdy załogowe lub bezałogowe sterowane zdalnie przez operatora z powierzchni.

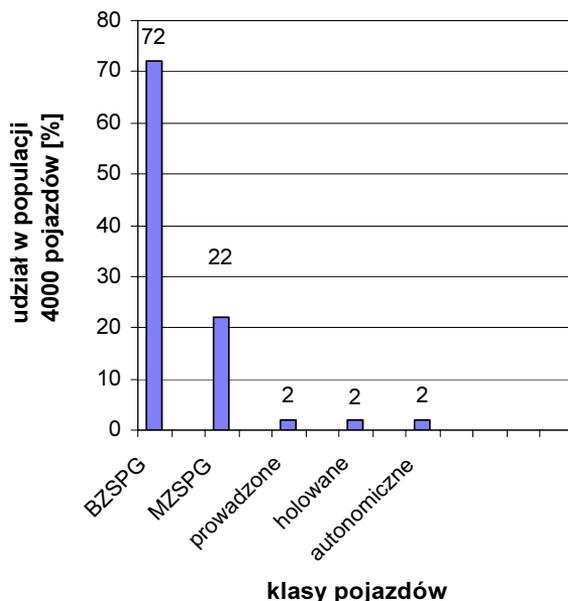
KLASYFIKACJA SZCZEGÓŁOWA BEZZAŁOGOWYCH POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

Proponuje się klasyfikację odbiegającą od klasyfikacji przyjętej przez International Marine Contractors Association (IMCA), która wyróżnia tylko pięć klas pojazdów [1].

Z uwagi na szybko zmieniający się obszar zastosowań pojazdów konieczne jest dokonanie zestawienia uwzględniającego różnorodność funkcji pojazdów, zadań, typów konstrukcji i wyposażenia. Proponuje się przypisanie bezzałogowych pojazdów prezentowanych w tabeli 1 do 11 klas funkcjonalnych, podanych w tabeli 1 [4].

Obecnie użytkowanych jest na świecie kilka tysięcy bezzałogowych zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych. Ich liczba z roku na rok rośnie, co spowodowane jest stale wzrastającym zapotrzebowaniem na pojazdy znanego typu jak i na nowe pojazdy, które znajdują zastosowanie zwłaszcza w dziedzinie obsługi wierceń i eksploatacji złóż zasobów naturalnych. Udział pojazdów poszczególnych klas w badanej populacji, klasyfikowanych według sposobu działania, przedstawia rysunek 4, a według przeznaczenia pojazdów – rysunek 5 [4].

Bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe pływające na uwięzi BZSPG stanowią 94% populacji, wliczając pojazdy miniaturowe MZSPG – o niskich kosztach budowy i eksploatacji. Ponad połowa populacji to pojazdy inspekcyjne, ponad 20% populacji stanowią pojazdy o przeznaczeniu militarnym.

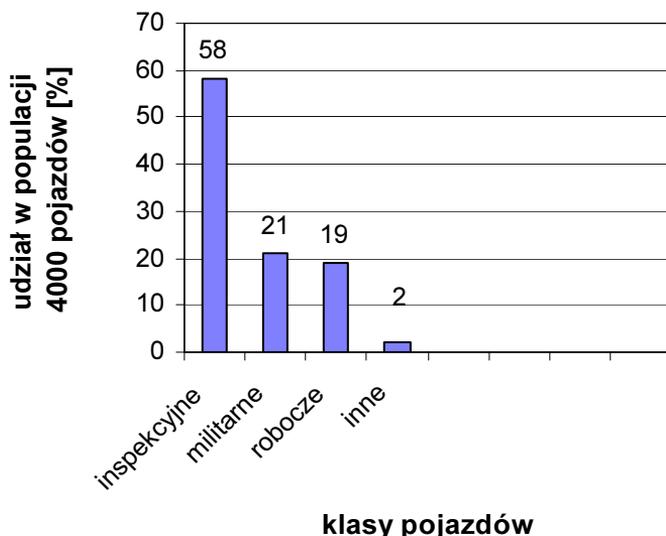


Rys. 4. Klasy bezzałogowych pojazdów głębinowych według sposobu działania – udział procentowy w populacji 4000 pojazdów

Tabela 1. Klasy funkcjonalne bezzałogowych pojazdów głębinowych

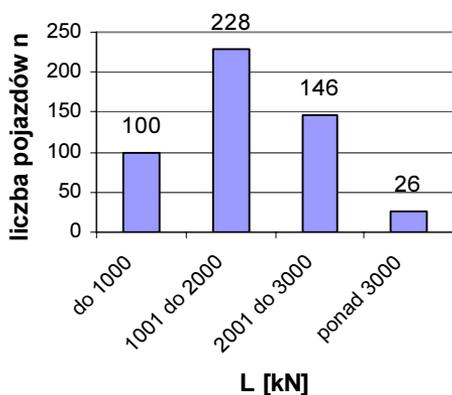
Nr	Klasa	Charakterystyka, zastosowanie	Wyposażenie	Przykłady
1	Mikropojazdy głębinowe zdalnie sterowane	Niewielkie pojazdy. Masa: <10 kg. Obserwacja telewizyjna.	Kamera video, reflektory, pędniki.	<i>Micro-ROV Albatros</i> <i>ROV Micro Rem</i>
2	Miniaturowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe	Niewielkie pojazdy. Masa: 10 – 50 kg. Obserwacja telewizyjna.	Wg klasy 1	<i>Hyball</i> , <i>TUM*</i> , <i>Phantom 300</i> , <i>Super C'Cat</i> , <i>VideoRay Scout</i>
3	Bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe (obserwacyjne/inspekcyjne)	Rozbudowana wersja pojazdów klasy 1. Masa: 50 – 100 kg. CMS opcjonalny. Inspekcja.	Wg klasy 1 oraz dodatkowe wyposażenie: aparat foto, próbnik ochrony katodowej, sonar, prosty manipulator	<i>MUNA*</i> , <i>KRAB I*</i> , <i>KRAB II*</i> , <i>Koral</i> , <i>Offshore Hyball</i> , <i>RCV 225</i> , <i>Sea Owl</i> , <i>Super Achille</i> , <i>Seaeeye Falcon</i> ,
4	Bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe do zadań lekkich	Pojazdy o rozmiarach umożliwiających przenoszenie dodatkowych sensorów i narzędzi. Masa: 100 – 500 kg. System operowania kabloliną – opcjonalny. Podstawowy przegląd, prace lekkie.	Kilka kamer, sonar skanujący, czujniki, mały manipulator	<i>Geosub</i> , <i>Hysub 25</i> , <i>MAGIS*</i> , <i>Sea Twin</i> <i>Seaeeye Cougar-XT</i>
5	Bezzałogowe pojazdy głębinowe klasy roboczej do zadań średnich lub ciężkich	Duże pojazdy o konstrukcji ramowej. Masa: 500 – 5000 kg. System operowania kabloliną – obligatoryjny. Przeglądy typowe dla przemysłu offshore, prace ciężkie, wsparcie wierceń i prac budowlanych, przegląd rurociągów, inspekcja budowy.	Pojemniki wypornościowe dla narzędzi roboczych, systemy manipulatorów ciężkich	<i>NUR*</i> , <i>David</i> , <i>Demon</i> , <i>Dolphin-3K</i> , <i>Mars</i> , <i>Rigworker</i> , <i>Trojan</i> , <i>Triton</i> , <i>Seaeeye Jaguar</i>
6	Zdalnie sterowane pojazdy głębinowe do zakopywania i obsługi kabla	Duże pojazdy swobodnie pływające albo zorientowane względem dna (jeśli na gąsienicach). Masa: 3000–16000 kg. Zakopywanie i obsługa kabli.	System wymywania wodą, manipulatory, lokalizator kabla, narzędzia tnące i chwytające.	<i>BT Trencher</i> , <i>FlexJet II</i> , <i>Gator</i> , <i>MUC 201</i> , <i>Scarab III</i> , <i>Seadog</i> , <i>Smartjet 1150</i>
7	Zdalnie sterowane pojazdy holowane	Pojazdy holowane z powierzchni, bez napędu, o manewrowości poprzecznej i pionowej. Masa: ~150 kg. Przegląd rurociągów, pomiary parametrów środowiska..	Specjalne narzędzia, np. do zakopywania kabla	<i>Aquashuttle Mk II</i> , <i>Focus 400</i> , <i>GMI Scanfish MkII</i> , <i>Marlin Mk 2</i> , <i>U-Tow</i>
8	Pługi do zakopywania kabla	Bardzo duże i ciężkie maszyny, posadzone na dnie i holowane ze statku na powierzchni. Jeśli zdalnie sterowane, to uważane za ROV. Masa: 20000–150000 kg. Kładzenie i zakopywanie kabli.	Pług i system prowadzenia do układania i zakopywania kabla	<i>APP</i> , <i>Sea Dragon</i> , <i>NTT Cable Plow</i> , <i>Tyco Sea Plow VII</i> , <i>Tyco Sea Plow VIII</i>
9	autonomiczne pojazdy głębinowe	Pojazd z własnym napędem, niektóre pojazdy połączone z powierzchnią za pośrednictwem światłowodu do przesyłu danych. Masa: 1000–1500 kg. Inspekcja stanu środowiska, marszruty oceaniczne, głębokowodne, pod lodem.	Sensory do pomiarów parametrów środowiska	<i>ARCS</i> , <i>Autosub</i> , <i>Epaulard</i> , <i>Hugin</i> , <i>Marius</i> , <i>MUST Lab</i> , <i>Ocean Voyager</i> , <i>Theseus</i>
10	Przeciwminowe pojazdy głębinowe	Pojazdy zasilane z akumulatorów, połączone przewodem elektrycznym ze statkiem. Masa: 350–3500 kg. Poszukiwanie i unicestwienie środków wybuchowych.	Czujniki magnetyczne, specjalistyczne wyposażenie do poszukiwania materiałów wybuchowych	<i>Dolphin</i> , <i>Pap Mark 5</i> , <i>Pinguin B-3</i> , <i>Pluto</i> , <i>Sea Eagle</i> ,
11	Prototypy albo pojazdy doświadczalne	Pojazdy specjalnego zastosowania oraz niesklasyfikowane w klasach 1 – 10.	Wyposażenie specjalne	<i>AITS*</i>

* Pojazd zaprojektowany lub zbudowany na Wydziale Techniki Morskiej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (Politechnika Szczecińska do 31.12.2008 r.).

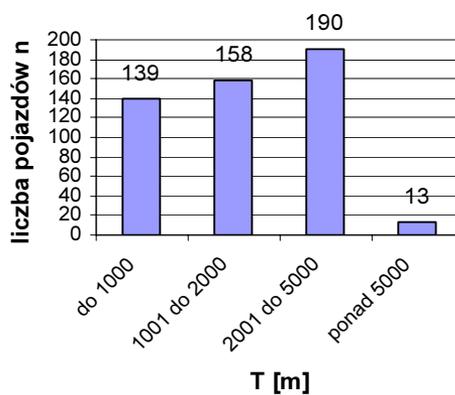


Rys. 5. Klasy bezałogowych pojazdów głębinowych według przeznaczenia – udział procentowy w populacji 4000 pojazdów

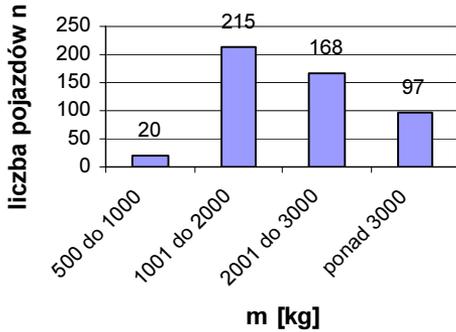
Pojazdy robocze BPGR – wysoce wyspecjalizowane, o bogatym wyposażeniu i dużym stopniu złożoności – stanowią 19% ogólnej liczby pojazdów. Populację 500 pojazdów typu BPGR charakteryzują rysunki 6 – 9, które ilustrują odpowiednio zakresy ładowności, głębokości roboczej, masy i zainstalowanej mocy pojazdów [4]



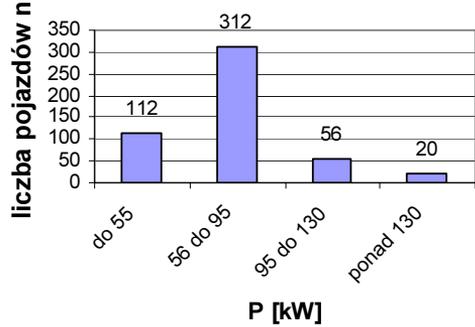
Rys. 6. Liczba pojazdów roboczych n w funkcji ich ładowności L (populacja 500 BPGR)



Rys. 7. Liczba pojazdów roboczych n w funkcji głębokości operacyjnej T (populacja 500 BPGR)



Rys. 8. Liczba pojazdów roboczych n w funkcji ich masy m (populacja 500 BPGR)



Rys. 9. Liczba pojazdów roboczych n w funkcji ich mocy P (populacja 500 BPGR)

PODSUMOWANIE

Dynamiczny rozwój technologii głębinowej, wyrażający się także poprzez budowę pojazdów głębinowych rozmaitego przeznaczenia, obejmuje obecnie nie tylko akweny morskie, gdzie aktywność gospodarcza jest najbardziej prężna, ale także wody śródlądowe, czego dowodem są aplikacje pojazdów w pracach inspekcyjnych obiektów hydrotechnicznych (tamy, jazy, śluzy, tunele, szyby kopalniane, jaskinie, baseny portowe i stoczniowe) i obiektów szczególnie niebezpiecznych (reaktory siłowni atomowych).

Pojazdy głębinowe projektowane i wytwarzane są przez wielu producentów według niejednorodnych procedur i w oparciu głównie o własne doświadczenia poszczególnych wytwórców. Procedury te w większości przypadków nie są opublikowane i pozostają tajemnicami firm, co hamuje wymianę doświadczeń.

Zespół Techniki Głębinowej Wydziału Techniki Morskiej ZUT (Politechniki Szczecińskiej do 31.12.2008 r.) prowadzi, pod kierownictwem autora, prace badawcze i konstrukcyjne dotyczące pojazdów głębinowych od ponad 20 lat. U podstaw tych prac leży potrzeba uporządkowania wiedzy dotyczącej tego obszaru techniki i zagadnień projektowych, czego wyrazem jest przedstawiona w artykule propozycja klasyfikacji systemów pojazdów głębinowych i analiza ich populacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Code of Practice for the Safe and Efficient Operation of Remotely Operated Vehicles, R 004, IMCA, Dec. 1997.
2. Forman W.: American deep submersible operations. Best Publishing Company, Flagstaff, Arizona, USA 1999.
3. Graczyk T.: Bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe – konstrukcje i zastosowania. Publikacja z cyklu „Technologie prac podwodnych”, Instytut Okrętowy Politechniki Szczecińskiej i ODOK SIMP, Szczecin 1991, s. 387.

4. Graczyk T.: Zagadnienia projektowania na przykładzie bezzałogowych pojazdów głębinowych. Rozprawy, nr 421, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008, ISSN 0551-6528, ISBN 978-83-7143-375-7, Wydanie I, s. 175.
5. Graczyk T., Matejski M., Dramski M.: Morskie badania wdrożeniowo-eksploatacyjne systemu monitoringu głębinowego. Polish Hyperbaric Research Nr 2 (27) 2009, Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej: 37–47.
6. Jane's Underwater Technology 1999–2000, Jane's Information Group Ltd., second edition, Surrey, UK 1999.
7. Miller J.W., Koblick I.G.: Living and working in the sea. Fife Corners publications, Ltd., Plymouth 1995.
8. Rowiński L.: Metodyka projektowania urządzeń zanurzalnych na etapie koncepcji przy zastosowaniu technik komputerowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej nr 484, Budownictwo Okrętowe nr 59, Gdańsk 1993.
9. Rowiński L.: Pojazdy głębinowe. Budowa i wyposażenie. Wydawnictwo Prywatne „WiB”, Gdańsk 2008.
10. Remotely operated vehicles of the Word VIII Edition. Clarkson Research Services Ltd., USA 2009.

SYSTEMS OF UNDERWATER VEHICLES

Summary

There is presented a general classification of underwater vehicles. There is also presented author's proposal of classification of remotely operated vehicles giving consideration to variety of functions, tasks, types of construction and equipment. Analysis of vehicles population is contained in the article, as well.

Keywords: underwater technology, underwater vehicle.