

Robotyka podwodna

Krzysztof Giełdziński

Naukowe Koło Studentów Automatyki, Politechnika Gdańska

Streszczenie: Artykuł poświęcony jest wybranym zagadnieniom związanym z wykorzystaniem robotów w pracach pod powierzchnią wody. Obejmuje krótki rys historyczny dotyczący eksploracji środowiska wodnego, podział robotów podwodnych oraz opis wad i zalet poszczególnych rodzajów urządzeń. Ponadto opisano przykładowe konstrukcje oraz dziedziny, w których roboty znalazły zastosowanie.

Słowa kluczowe: roboty autonomiczne, roboty zdalnie sterowane, roboty do zadań specjalnych, robotyka podwodna

1. Wprowadzenie

Człowiek od początku swojego istnienia był ciekawy świata. Zawsze szukał sposobów, by poznać nieznanne, sięgnąć dalej. Chciał odkryć miejsca, których nikt nigdy wcześniej nie widział. Największym problemem dla człowieka było poznanie świata podwodnego nie tylko tak bardzo nieprzewidywalnego, czasem niebezpiecznego, lecz także fascynującego i intrygującego. Pierwsze próby zdobycia informacji na temat tego środowiska odbywały się z wykorzystaniem możliwości fizycznych człowieka. To jednak nie wystarczało, aby zaspokoić żądze poznania. Około 450 r. p.n.e. człowiek po raz pierwszy użył dzwonu nurkowego – ciekawostką jest, że urządzenie to zostało zbudowane ze zwykłego kotła. Śmiałkiem, który tego dokonał, był macedoński nurek Scyllas. Z biegiem lat rozwój techniki i myśli inżynierskiej przyczynił się do powstawania konstrukcji pozwalających coraz dokładniej penetrować świat podwodny. Najstarsze w naszej erze udane przepłynięcie łodzią podwodną sięga 1472 r. Do najsłynniejszych konstruktorów można zaliczyć: Leonarda da Vinci (XV w.), Davida Bushnella (XVII w.) i Stefana Drzewieckiego (XIX w.). Choć łodzie podwodne mogły i mogą schodzić na dość znaczne głębokości, to ich wykorzystanie w zdobywaniu informacji o świecie podwodnym nie jest efektywne. Kluczowe dla eksploracji głębin było wynalezienie batyskafu przez szwajcarskiego badacza Auguste'a Piccarda. Pierwszy taki statek podwodny powstał w 1948 r.

Wszystkie powyżej wspomniane rozwiązania mają jednak jedną i zasadniczą wadę – potrzebują do obsługi człowieka znajdującego się wewnątrz konstrukcji. Należy zapewnić mu odpowiednie ciśnienie, temperaturę oraz przede wszystkim dostępność powietrza. Pojawił się zatem problem: jak wyeliminować człowieka z obsługi urządzeń pod wodą? Z rozwiązaniem przyszła prężnie rozwijająca się dziedzina dająca szerokie możliwości. Jest nią robotyka!

Pierwsze prototypy robotów podwodnych powstawały już w latach 60. XX w. Z biegiem lat coraz większa liczba naukowców zajmowała się problematyką robotyki podwodnej. Interesującym jest to, że w pierwszym sympozjum dotyczącym podwodnej robotyki, które odbyło się w New

Hampshire, wzięło udział 24, jedynie amerykańskich, naukowców. Już siedem lat później w takim spotkaniu uczestniczyło 320 osób reprezentujących dziewięć krajów, 100 firm i 20 uniwersytetów. Widać zatem, jak prężnie rozwijała się i rozwija, i to w jeszcze większym tempie, dziedzina, jaką jest tytułowa robotyka podwodna

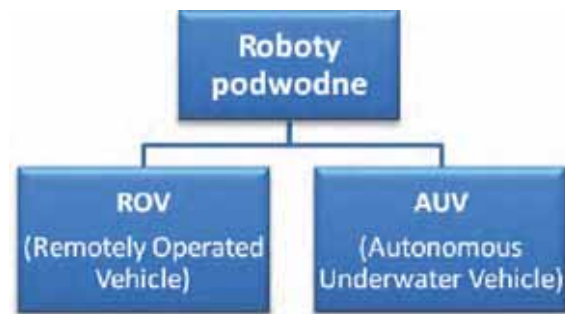
Człowiek

2. Podział robotów podwodnych

Zasadniczym kryterium klasyfikacji robotów podwodnych jest sposób ich sterowania. Dzielimy je zatem na roboty typu:

- **ROV (Remotely Operated Vehicle)** – są to bezzałogowe, zdalnie sterowane jednostki podwodne, połączone z powierzchnią za pomocą kabla lub światłowodu transmisyjnego (zwanego potocznie pepowiną).
- **AUV (Autonomous Underwater Vehicle)** – są to autonomiczne jednostki, których systemy pokładowe umożliwiają samodzielne, bez ingerencji człowieka, poruszanie się w środowisku wodnym.

Ze względu na nieprecyzyjność powyższego podziału oraz na istnienie jednostek mających cechy charakterystyczne dla obu tych definicji, powstało nowe określenie obejmujące obydwie grupy – **UUV** (ang. Unmanned Underwater Vehicle) – bezzałogowe pojazdy podwodne.



Rys. 1. Podział robotów podwodnych

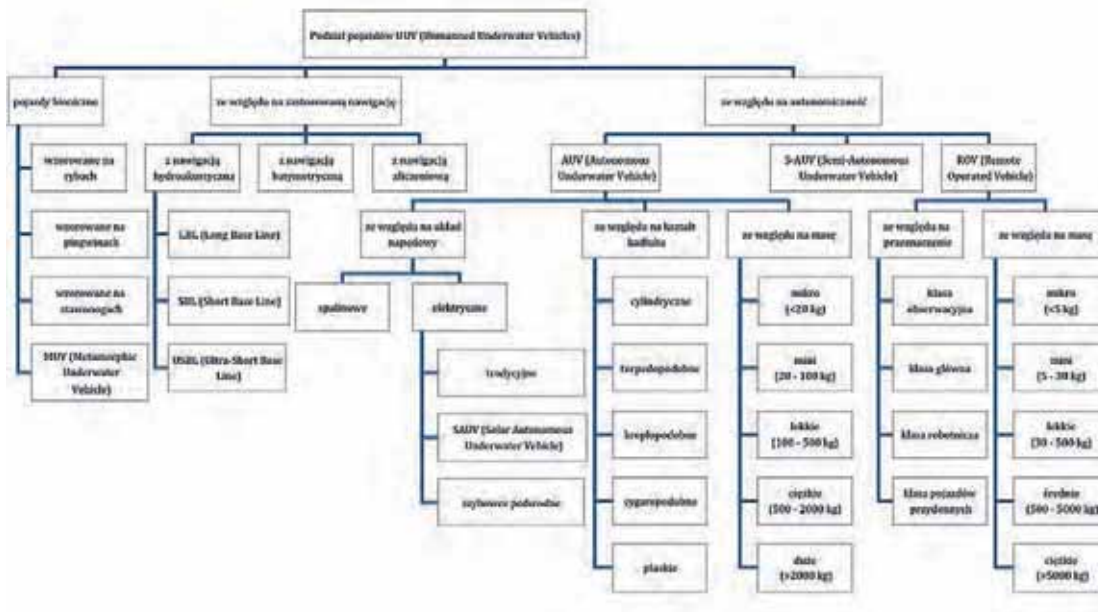
Fig. 1. Division of underwater robots

3. Roboty ROV

3.1. Zastosowanie

Roboty tego typu są stosowane w następujących dziedzinach:

- inspekcja obiektów śródlądowych, obiektów morskich, platform, głowic odwiertowych, rurociągów,
- lokalizacja i identyfikacja obiektów zatopionych,
- prowadzenie akcji ratowniczych,
- przeprowadzanie akcji militarnych i antyterrorystycznych: identyfikacja ładunków wybuchowych, dostarczanie ładunków niszczących,



Rys. 2. Podział robotów podwodnych
Fig. 2. Division of underwater robots

- monitorowanie prac podwodnych: obserwacja operacji, pomiary ich efektywności,
- asystowanie przy pracach nurkowych: transport i utrzymanie bezpieczeństwa załogi, zapewnienie niezależnego źródła światła i energii;
- badania naukowe i archeologia: rozpoznawanie geologiczne, badania i próby biologiczne, badania fizyczno-chemiczne, przeprowadzanie i przygotowywanie prac,
- instalowanie i odzyskiwanie elementów: układanie kabli i rurociągów;
- wspieranie wierceń poszukiwawczych (lokalizacja odwiertu).

3.2. Przykładowe konstrukcje

Do opisanych w punkcie 3.1 zastosowań mogą być wykorzystane opisane poniżej konstrukcje zdalnie sterowanych robotów podwodnych – ROV.

3.2.1. Seaeeye 600DT

Robot Seaeeye 600DT, produkowany przez brytyjską firmę Saab, wyposażony jest w cztery pędniki o napędzie elektrycznym o mocy 1 kW każdy. Standardowo ma on zestaw kamer i reflektorów, czujnik pomiaru głębokości, sonar oraz urządzenia do nawigacji. Jego masa to 75 kg, a ładowność 10 kg. Dzięki budowie modułowej do urządzenia można dołączyć wiele różnych narzędzi i akcesoriów, w zależności od wykonywanego zadania. Opcjonalnie 600DT może być wyposażony w chwytak, dzięki temu stanie się lekkim robotem pracującym



Rys. 3. Robot Seaeeye 600DT
Fig. 3. Seaeeye 600DT robot

3.2.2. Magnum Plus

Robot Magnum, produkowany przez firmę Oceaneering, jest przedstawicielem robotów pracujących. Urządzenie, którego masa przekracza 3 tony, napędzane jest przez 6 pędników o łącznej mocy ok. 127 kW. Robot jest wyposażony w dwa manipulatory o napędzie hydraulicznym, którego moc wynosi 70 kW. Jego duża ładowność wynosząca 136 kg pozwala na zabranie dużej ilości wyposażenia dodatkowego. ROV Magnum przeznaczony jest do wykonywania prac związanych z budowaniem rurociągów na dnie morskim, przez które transportowany jest gaz ziemny i ropa naftowa.



Rys. 4. Robot Magnum
Fig. 4. Magnum robot

3.2.3. Spider

Robot Spiker należy do klasy ciężkich robotów pracujących. Produkowany jest przez francuską firmę Nexans. Do napędu tego robota, o masie wynoszącej 15 ton, wykorzystywane są silniki hydrauliczne o łącznej mocy 400 kW. Urządzenie to przystosowane jest do pracy na dużych głębokościach, dzięki temu wykorzystywane jest do wyko-

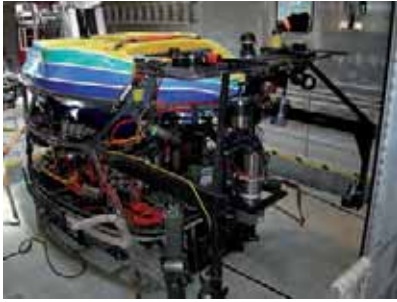


Rys. 5. Robot Spider
Fig. 5. Spide robot

nywania wykopów na dnie morskim. Umieszczone są w nich rury przeznaczone do transportu gazu ziemnego i ropy naftowej. Ze względu na dużą masę robot musi być kontrolowany przez specjalny, przystosowany do badań oceanograficznych, statek wyposażony w odpowiednie dźwigi. Sterowanie robotem ułatwia wizualizacja wykonana w środowisku LabVIEW.

3.2.4. Tiburon

Przykładem konstrukcji ROV należącym do klasy urządzeń głębinowych jest robot Tiburon – skonstruowany



Rys. 6. Robot Tiburon
Fig. 6. Tiburon robot

w Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI). Jest to urządzenie, którego masa wynosi około trzech ton. Charakteryzuje się bardzo dużą ładownością wynoszącą 490 kg, co pozwala na zabranie dodatkowego sprzętu. Jednym z ciekawszych zadań, w których ten robot brał udział, była penetracja wraku Titanica. Było to możliwe dzięki osiągnięciu przez to urządzenie znacznych głębokości.

3.2.5. Doc Ricketts

Robot Doc Ricketts jest następcą robota Tiburon, wycofanego z produkcji w 2008 roku. Podobnie jak jego poprzednik charakteryzuje się możliwością osiągnięcia znacznych głębokości (do 4 km). W odróżnieniu od robota Tibu-



Rys. 7. Robot Doc Ricketts
Fig. 7. Doc Ricketts robot

ron posiada mniejszą ładowność, wynoszącą jedynie 275 kg. Warto zaznaczyć, iż jest to robot wyposażony w niestosowane wcześniej przez MBARI funkcje. Można do nich zaliczyć m.in.: automatyczny powrót do stacji operatorskiej (auto home) i automatyczne osiągnięcie zadanej głębokości (auto depth).

3.2.6. UT-1 Ultra Trencher

Jest to największy jak dotąd robot podwodny, jaki został kiedykolwiek zbudowany. Swoimi rozmiarami dorównuje średniej wielkości domowi. Jego masa to ok. 60 ton, wysokość 5,6 m, a długość i szerokość wynosi po 7,8 m. Został wyprodukowany przez firmę Soil

Machine Dynamics z myślą o ciężkich pracach podwodnych. Koszt budowy tego robota wyniósł ok. 10 mln funtów brytyjskich (ok. 50 mln złotych). UT-1 wykorzystywany jest przede wszystkim do prac na dnie mórz i oceanów takich jak układania kabli telekomunikacyjnych oraz rur do transportu gazu i ropy. Wymienione zadania robot może wykonywać na głębokości dochodzącej do 1,5 km.



Rys. 8. Robot UT-1 Ultra Trencher
Fig. 8. UT-1 UltraTrencher robot

3.2.7. Inne konstrukcje



Rys. 9. Robot Triton T750 (Perry Slingsby Systems)

Fig. 9. Triton T750 robot (Perry Slingsby Systems)



Rys. 10. Robot LBV 200 (SeaBotix)

Fig. 10. LBV 200 robot (SeaBotix)



Rys. 11. Robot Ultra Heavy Duty (Schilling Robotics)

Fig. 11. Ultra Heavy Duty robot (Schilling Robotics)



Rys. 12. Robot SARbot (SeaBotix)
Fig. 12. SARbot robot (SeaBotix)

4. Roboty AUV

4.1. Zastosowanie

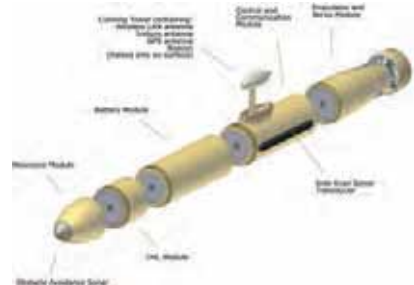
AUV to drugi typ robotów podwodnych. Są one stosowane w następujących dziedzinach:

- tworzenie map podłoża morskiego lub oceanicznego, głównie na potrzeby przemysłu wydobywczego: transport gazu ziemnego, ropy naftowej, poszukiwanie nowych złóż;
- zastosowania militarne: przeszukiwanie dna morskiego w celu znalezienia np. min, niewybuchów itp.,
- badania naukowe: badanie podwodnego środowiska oceanicznego i morskiego;
- inspekcja obiektów: tam, zbiorników wodnych, kadłubów okrętów.

4.2. Przykładowe konstrukcje

4.2.1. Gavia

Robot GAVIA produkowany przez firmę Hafmynd jest urządzeniem modułowym, przenośnym, potrafiącym zanurzyć się na głębokość ponad 1000 m.



Rys. 13. Robot Gavia

Fig. 13. Gavia robot

Specjalna, budowana na zamówienie, wersja urządzenia może podwoić ten wynik. Zastosowanie urządzenia to nie tylko podwodne misje badawcze, zadania pomiarowe i monitoring, lecz także zada-

nia wojskowe (np. poszukiwanie min) i przemysłowe (monitoring i inspekcja urządzeń pracujących pod wodą). Jego minimalna waga to 44 kg, w zależności od wyposażenia. Minimalna długość urządzenia to 1,7 m, zaś szerokość 0,2 m. Prędkość poruszania się to ponad 3 ms (6 węzłów). Promień zawracania więcej jest krótszy niż 3 m. GAVIA może pracować w przedziale temperatur od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.2.2. Odyssey IV

Jest to jeden z niewielu robotów na świecie, który potrafi „zawisnąć” w toni wodnej. Inne urządzenia do zachowania pełnej manewrowości potrzebują uruchomienia napędu – co jest równoznaczne z wprawieniem jednostki w ruch postępowy. Odyssey IV do zachowania równowagi i zerowej pływalności wykorzystuje dwie, umieszczone po obu stronach



Rys. 14. Robot Odyssey IV
Fig. 14. Odyssey IV robot

kadłuba, turbiny. Mogą one być orientowane prawie we wszystkich kierunkach. Ten wynalazek naukowców z Massachusetts Institute of Technology (MIT) waży 25 kg. Dzięki możliwości zanurzenia się na głębokość 6000 m i nietypowym metodom poruszania jest wykorzystywany do podwodnych obserwacji, inspekcji i konserwacji. Maksymalna prędkość Odyssey IV to 2 m/s.

4.2.3. Nereus

Ten ważący prawie trzy tony robot, wyprodukowany przez Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), jest obecnie jedynym na świecie robotem, potrafiącym zanurzyć się na głębokość 11 km. Jest używany głównie do celów naukowych. Do jego podstawowych zadań należy gromadzenie danych środowiskowych poprzez wykonywanie pomiarów chemicznych i zbieranie próbek dzięki dołączonemu manipulatorowi. Jednostka może też wykonywać mapy obszarów podwodnych i przeprowadzać proste badania geologiczne. Jego konstrukcja jest stale rozbudowywana o nowe moduły komunikacyjne i nawigacyjne. Prędkość maksymalna wynosi 3 ms, zaś



Rys. 15. Robot Nereus
Fig. 15. Nereus robot

energia akumulatorów litowo-jonowych – 15 kWh. Co ciekawe, Nereus może pracować w trybie ROV tzw. ROV-mode – wtedy jest sterowany zdalnie z pokładu statku. Tryb ten nie pozwala na osiągnięcie dużych głębokości ze względu na wymaganą do sterowania kablolinę.

4.2.4. Tai – robot – kun

Robot Tai – robot – kun to urządzenie opracowane na japońskim Uniwersytecie Kitakyūshū, mające przypominać naturalną rybę. Ważący ok. 7 kg robot, może pływać ok. 80 min., korzystając z wbudowanych baterii. Powierzchnia zewnętrzna robota, wykonana z tworzywa silikonowego i ręcznie pomalowana, ma swoim wyglądem nie odbiegać od wyglądu naturalnych stworzeń. Robo-ryba ma służyć naukowcom jako pomoc w badaniach przyrodniczych. Jej zadanie to przedstawianie się do innych ryb i obserwacja ich zachowań w okresie godowym.



Rys. 16. Tai-robot-kun
Fig. 16. Tai-robot-kun

4.2.5. ACM R5

Robot-wąż, stworzony przez naukowców z japońskiego Hirose-Fukushima Robotics Lab, potrafi poruszać się zarówno po lądzie, jak i w wodzie. Wykorzystuje do tego układ napędowy zapewniający falisty ruch urządzenia. Robot składa się z szeregu pojedynczych modułów. Jest wyposażony w specjalne płetwy i niewielkie koła pasywne zlokalizowane dookoła konstrukcji. Do wygenerowania siły napędowej wykonującej ruch falisty robot potrzebuje odpowiednich własności oporowych, ponieważ konstrukcja swobodnie

„sunie” w kierunku równoległym do swojej pozycji – nie może natomiast poruszać się w kierunku prostopadłym do siebie. ACM-R5 jest wyposażony w zaawansowany system kontroli. Złącza mogą działać niezależnie od siebie, ponieważ każde z nich obsługiwane jest przez osobny procesor, baterię i swoje silniki.



Rys. 17. Robot ACM R5
Fig. 17. ACM R5 robot

4.2.6. Inne konstrukcje



Rys. 18. Robot Spray glider (Bluefin Robotics)
Fig. 18. Spray glider robot (Bluefin Robotics)



Rys. 19. Robot Urashima (Nippon Marine Enterprises)
Fig. 19. Urashima robot (Nippon Marine Enterprises)



Rys. 20. Robot Solar AUV (Autonomous Undersea Systems Institute)
Fig. 20. Solar AUV robot (Autonomous Undersea Systems Institute)

5. Wady i zalety ROV oraz AUV

Roboty podwodne ROV są powszechnie stosowane, gdyż jak dotąd nie wynaleziono lepszych metod wykonywania prac podwodnych. Choć człowiek ma możliwość schodzenia na znaczne głębokości, to ze względu na niebezpieczeństwo oraz stosunkowo drogi sprzęt nurkowy zastępuje się go robotem. Pojazd ROV pozwala zmniejszyć do zera zagrożenie dla ludzi podczas wykonywania prac pod wodą. Umożliwia ponadto schodzenie na znaczne głębokości. Sterowanie robota odbywa się za pomocą kabloliny. Operator znajduje się w odpowiednio przygotowanej sterowni i nie naraża się na niebezpieczeństwo związane z wykonywanymi pracami. Kolejną korzyścią, wynikającą z połączenia przy pomocy pępowiny, jest brak elementów zasilających na pokładzie robota. Dzięki temu zmniejsza się jego ciężar, rozmiary oraz nie wpływa na ograniczenie czasu przebywania pod wodą. W miejsce układów zasilania można zamontować np. manipulator, zasobnik na narzędzia, kamerę itp. To, co jest zaletą robotów ROV może być uznane również za wadę. Połączenie robota ze sterownią za pomocą kabloliny wpływa na zdolności manewrowe. Ograniczona długość pępowiny nie pozwala robotowi zanurzyć się na większe głębokości. Robot jest sterowany przez człowieka. W związku z tym, operator ciągle musi nadzorować i kontrolować jego pracę. Nie uzyskuje się tym samym autonomiczności „podwodnego pracownika”.

Roboty AUV nie mają jednej z głównych wad urządzeń ROV – są w pełni autonomiczne. Ich największą zaletą jest brak więzi łączącej ją ze statkiem. Ewentualna komunikacja AUV odbywa się z wykorzystaniem fal akustycznych. Metoda ta jednak jest ostro krytykowana przez rzeszę ekologów i w konsekwencji rzadko stosowana. W większości przypadków urządzenia AUV wykonują powierzone im zadania w pełni autonomicznie. Ze względu na brak manipulatorów ich praca ograniczona jest jedynie do wykonywania misji badawczych, inspekcyjnych, dozorowych oraz tworzenia map dna morskiego. Pojazdy AUV poruszają się szybciej oraz charakteryzują się znacznie większą manewrowością niż roboty ROV. Brak więzi pozwala na poruszanie się w dużo większej odległości od statku badawczego. Wszystkie wymienione zalety pozwalają znacznie obniżyć koszty misji badawczych. Trwają również prace nad całkowitą eliminacją statku badawczego. W założeniu AUV miałyby samodzielnie dopłynąć w rejon działań lub być zrzucany ze śmigłowców. Problemem w tego typu rozwiązaniach jest źródło zasilania. Jest to znaczna wada robotów AUV

6. Podsumowanie

Widać, że roboty podwodne szybko wypierają człowieka z udziału w pracach pod wodą. Rola człowieka ogranicza się do sterowania robota lub tylko do umieszczenia go w wodzie. Obecnie roboty podwodne są wykorzystywane do wykonania wielu prac podwodnych. Wykonują one wiele, coraz bardziej zaawansowanych zadań. Budują i remontują platformy wiertnicze, rurociągi i inne instalacje dostarczające ropę naftową i gaz ziemny, układają podwodne kable, dzięki którym możliwa jest szybka komunikacja teleinformatyczna między kontynentami. Ratują życie marynarzy i pomagają w likwidacji skutków awarii i katastrof morskich. Pozwalają na coraz lepsze poznanie i zrozumienie morza i ukrytych w nim tajemnic. Chociaż rozwój robotyki podwodnej nie cie-

szy się taką popularnością jak badania nad robotami humanoidnymi czy sondami kosmicznymi, odgrywa ona ogromną rolę w życiu człowieka.

Bibliografia

1. Newsome S. M., Rodocker J.: *Effective technology for underwater hull and infrastructure inspection*
2. Fletcher B.: *UUV master plan: a vision for navy UUV development*
3. Honczarenko J.: *Roboty przemysłowe*
4. <http://sbec.com.au/downloads/Seaeye%20600%20DT.pdf>
5. <http://www.oceaneering.com/rovs/rov-systems/magnum-plus-rov/>
6. http://www.mbari.org/dmo/vessels_vehicles/Doc_Ricketts/Doc_Ricketts.html
7. http://www.nexans.com/eservice/Corporate-en/navigatepub_167338_540080042/Nexans_innovatinn_Spider_dredging_system_levels_th.html
8. http://www.mbari.org/dmo/vessels_vehicles/tiburon/tiburon_legacy.html
9. http://aurlab.mit.edu/vehicles/vehicle_pdfs/Odyssey_IV_spec_sheet.pdf
10. <http://news.softpedia.com/news/World-039-s-Largest-Underwater-Robot-81479.shtml>
11. <http://www.asimo.pl/>
12. <http://aurlab.mit.edu/vehicles/>
13. http://www.public.navy.mil/SPAWAR/PACIFIC/ROBOTCS/Documents/Publications/2008/hrov_oceans2008_final_41283.pdf ■

Underwater robotics

Abstract: Article is devoted to selected problems that are associated with the use of robots in action below the surface. This work includes a brief history on the exploration of the aquatic environment, the distribution of underwater robots and a description of the advantages and disadvantages of different types of robots. In addition, this article describes examples of structures and areas in which have been used.

Keywords: autonomous robots, remotely operated robots, robots for special assignments, underwater robotics

Krzysztof Giełdziński

Student trzeciego roku automatyki i robotyki na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Wiceprezes Naukowego Koła Studentów Automatyki.

e-mail: krzysztofgielczynski@gmail.com

