

## **OGÓLNA BUDOWA I KLASYFIKACJA MANIPULATORÓW POJAZDÓW PODWODNYCH**

Marek Dawidziuk, Adam Olejnik

Akademia Marynarki Wojennej, Zakład Technologii Prac Podwodnych w Gdyni

### **STRESZCZENIE**

W materiale przedstawiono ogólną budowę manipulatora pojazdu podwodnego, z omówieniem stosowanych w ich konstrukcjach materiałów. Scharakteryzowano rodzaje układów napędowych manipulatora, z wyróżnieniem ich wad i zalet. Przedstawiono funkcje jakie spełnia manipulator w odniesieniu do wykonywanych czynności. Omówiono pojęcie stopni swobody manipulatora z podaniem wzoru na ich obliczenie. Przedstawiono podstawowe typy efektorów końcowych. Podano też zarys klasyfikacji manipulatorów w funkcji realizowanych przez nie zadań.

**Słowa kluczowe:** inżynieria morska, pojazdy podwodne, technologia prac podwodnych, manipulatory pojazdów podwodnych.

---

### ARTICLE INFO

---

PolHypRes 2018 Vol. 63 Issue 2 pp. 21 - 32

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2018-0009

Strony: 12, rysunki: 6, tabele: 0

page **www of the periodical:** [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

**Typ artykułu:** przeglądowy

**Termin nadesłania:** 08.03.2018 r.

**Termin zatwierdzenia do druku:** 01.06.2018 r.

**Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



## WSTĘP

Historia zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych tzw. ROV (z ang. - remotely operated vehicle) rozpoczyna się w drugiej połowie XX wieku. Jedną z pierwszych konstrukcji był pojazd francuskiego inżyniera Dimitra Rebikoffa, specjalizującego się w fotografii podwodnej. W 1952 r. zbudował on pierwszy podwodny skuter „Torpille” (z fr. torpeda), który następnie posłużył do zbudowania pierwszego pojazdu ROV o nazwie „Poodle” (z fr. pudel). Pojazd ten powstał w celu realizacji badań podwodnych zatopionych wraków zalegających na głębokościach niedostępnych dla nurków [1]. Nie posiadał on żadnej zdolności manipulacyjnej, umożliwiał tylko zdalną obserwację sytuacji podwodnej za pomocą zamontowanej na nim kamery TV.

Już rok później w 1953 r. amerykański wynalazca William E. Denny zademonstrował prototypowy zdalnie sterowany pojazd podwodny – Archie (Rys. 1.a) i jego bliźniaczą konstrukcją - Buster [12.a]. Pojazdy te zostały wyposażone w pierwsze manipulatory, które rozszerzały możliwości pojazdów podwodnych o funkcje manipulacyjne. Celem projektu było stworzenie zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych do celów eksploracji ładunku wraków statków znajdujących na większych głębokościach, niedostępnych dla nurków.

Przełom lat 50 i 60-tych był początkiem dynamicznego rozwoju pojazdów podwodnych. Powstało wiele prototypów i patentów. Już wtedy dostrzeżono, iż wyposażenie pojazdów podwodnych w manipulatory nadaje im cechy użytkowe, które w głównej mierze mogły decydować o opłacalności projektów, ich wdrażaniu w życie, oraz ich przyszłego rozwijania.

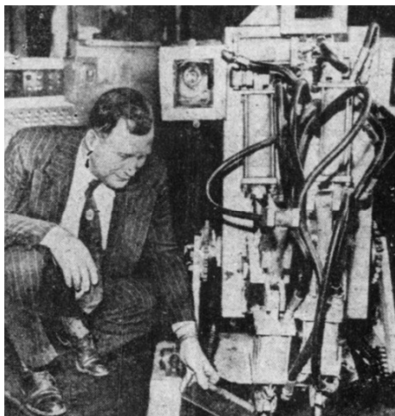
Jednym z motorów napędowym rozwoju pojazdów podwodnych wyposażonych w manipulator w latach 60-tych był eksperymentalny projekt odzyskiwania torped dla US Navy. Przedstawiony na rysunku 1.b. prototyp pojazdu Solaris służył do odławiania ćwiczebnych torped. Ponadto, dedykowany był do podejmowania z dna pocisków rakietowych, elementów instalacji podwodnych jak również do zakładania ładunków wybuchowych w celu niszczenia obiektów podwodnych [12.b].

Pierwszymi użytecznymi pojazdami podwodnymi stosowanymi w US Navy zaopatrzonymi w kleszcze były pojazdy CURV-I i Monster (TONGS). Występowały one pod wspólnym kryptonimem XN-3 [1]. Wykorzystywane były do zabezpieczenia realizacji rozwojowych programów torpedowych i rakietowych w celu odzyskiwania testowego sprzętu. Posiadały one odrzucany chwytak, który po uchwyceniu obiektu za pomocą boi z liną lub samej liny odzyskowej umożliwiał wydobycie obiektu z dna.

Przemysł związany z poszukiwaniem i wydobyciem nowych złóż ropy naftowej i gazu stał się kolejnym środowiskiem inwestującym w rozwój technologii pojazdów podwodnych wyposażonych w manipulatory podwodne. Shell Oil Company dostrzegło potrzebę inwestowania w nową technologię wraz z koniecznością realizacji prac na głębokościach niedostępnych dla nurków. Na ich zlecenie Huges Aircraft Company skonstruowało podwodny pojazd wyposażony w 4 manipulatory MOBOT (z ang. mobile robot), który został zaprezentowany w 1963 r. [2] (Rys. 2.a).

Druga połowa lat 70-tych XX wieku była okresem dynamicznego rozwoju manipulatorów pojazdów głębinowych. Pojawiły się manipulatory wyspecjalizowane do wykonania określonych zadań. W zależności od stopnia skomplikowania konstrukcji i udźwigu przeznaczone były do prostych zadań chwytania i przytrzymania, jak i bardziej skomplikowanych operacji manipulowania obiektami. W komercyjnym pojeździe głębinowym Saab Scania's ORCA 1 (Rys. 2.b) z 1977 r. zastosowano aż 3 manipulatory [3]. Główny najbardziej zaawansowany przeznaczony był do manipulacji obiektami i operowania narzędziami. Dwa pozostałe pełniły funkcję chwytaków jako asysta pracy głównego manipulatora, oraz odpowiadały za unieruchomienie pojazdu podczas pracy względem obiektów hydrotechnicznych. Należy zwrócić uwagę na fakt, że już wtedy proponowano użycie zaawansowanych manipulatorów do prac podwodnych, które swoją konstrukcją zbliżone były do dzisiejszych rozwiązań technicznych.

W początkowej fazie rozwoju pojazdów głębinowych manipulatory często stanowiły ich podstawowe wyposażenie. Według amerykańskiej agencji rządowej NOAA (z ang. Narodowa Służba Oceaniczna i Meteorologiczna) z przebadanej grupy 104 wynalezionych do końca lat 70-tych XX wieku pojazdów głębinowych, aż 33 % z nich było wyposażonych w co najmniej jeden manipulator [3]. Obecnie istnieje wiele rozwiązań manipulatorów montowanych na pojazdach głębinowych, które w zależności od realizowanych funkcji celu cechują się większym lub mniejszym stopniem skomplikowania konstrukcji.

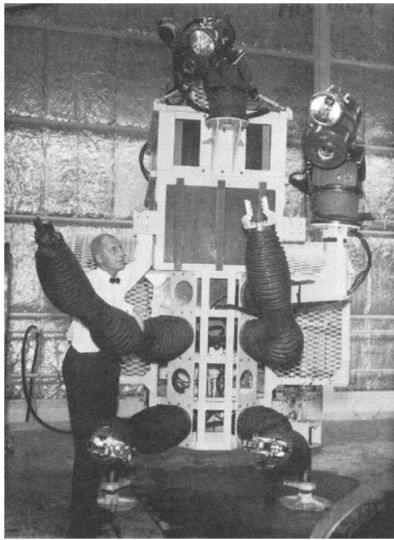


A

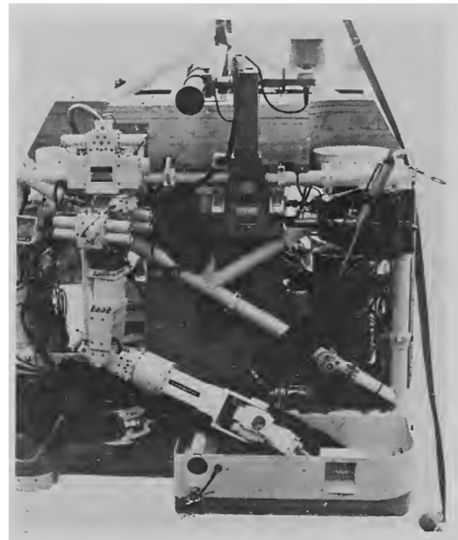


B

Rys. 1 Prototypy manipulacyjnych zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych. A - Archie [4], B - Solaris [12.b].



A



B

Rys. 2 Zdalnie sterowane pojazdy podwodne. A – pojazd prototypowy MOBOT [12.c], B – pojazd komercyjny ORCA 1 [3].

## OGÓLNA BUDOWA MANIPULATORA POJAZDU PODWODNEGO

Manipulator pojazdu podwodnego jest zdalnym mechanicznym ramieniem roboczym pojazdu. Zgodnie z terminologią podaną przez Zdanowicza [5] można zakwalifikować go do grupy robotów przemysłowych klasy teleoperator. Morawiecki i Knapczyk [6] pojęcia manipulator używają w odniesieniu do wyposażenia robota podwodnego, którym jest pojazd podwodny wyposażony w tego typu urządzenie. W odniesieniu do realizowanej czynności można wyróżnić następujące funkcje manipulatora pojazdu ROV:

- wysięgnikowa – realizowana przez ramię manipulatora celem umiejscowienia w przestrzeni roboczej urządzenia jego elementu wykonawczego;
- manipulacyjna – wykonywana przez człon roboczy – efektor;
- sensoryczna – realizowana przez urządzenia pomiarowe. Najczęściej są to pomiary oporów ruchu członów ramienia manipulatora lub pomiar siły nacisku szczęk chwytaka. Pomiary oporów członów ramienia najczęściej wykorzystywane są do symulowania oporów w urządzeniu sterującym, przekazując operatorowi informację o warunkach pracy za pomocą oddziaływania siłowego elementów urządzenia kontrolnego na dłoń operatora.

Proste konstrukcje manipulatorów wykorzystywane głównie do chwytania obiektów zbudowane są z chwytaka zamontowanego na wysięgniku (Rys. 3.a). Zaawansowane konstrukcje składają się ze sztywnych członów połączonych szeregowo ze sobą przegubami umożliwiającymi ich względny ruch (Rys. 3.b). Pierwszy człon trwale połączony z pojazdem ROV jest jednocześnie podstawą manipulatora. Ostatni pełni rolę elementu wykonawczego – efektora końcowego zwanego dalej efekтором. Konstrukcja takiego manipulatora opowiada konstrukcji robota przemysłowego o otwartym łańcuchu kinematycznym, w którym efektor jest swobodny a poszczególne człony połączone są tylko z jednym członem poprzedzającym.

### STOPNIE SWOBODY

Zespół połączonych ze sobą dwóch członów tworzy parę kinematyczną manipulatora o określonej liczbie stopni swobody DOF (z ang. degrees of freedom). Manipulatory podwodne wykorzystują pary kinematyczne o 1 DOF, które umożliwiają zmianę tylko jednego z sześciu parametrów opisujących położenie w trójwymiarowej przestrzeni opisanej układem kartezjańskim (3 opisują położenie, a 3 – orientację względem osi układu). W zdecydowanej większości konstrukcji spotykamy układy kinematyczne zbudowane wyłącznie w oparciu o pary obrotowe, umożliwiające wzajemną zmianę orientacji sąsiednich członów. Na rysunku 4 przedstawiono manipulator o siedmiu punktach swobody zbudowany w oparciu o obrotowe pary kinematyczne z wyjątkiem efektora. Występują manipulatory wyposażone w pojedynczą parę przesuwną. Są to manipulatory: G500 firmy TitanRob [12.i], oraz M2R oferowany przez Profound Technology [12.j].

Pojedynczy stopień swobody w odniesieniu do manipulatorów podwodnych określany jest jako pojedyncza funkcja manipulatora [7,8]. Terminy te są często używane zamiennie, czego przykładem jest rynek komercyjny.

Możliwości manipulacyjne mechanizmu manipulatora określają dwa parametry: ruchliwość i manewrowość. Wg. Wojnarowskiego [9] ruchliwość manipulatora jest to liczba stopni swobody jego łańcucha kinematycznego względem podstawy, natomiast manewrowość jest liczbą stopni swobody mechanizmu manipulatora – robota z unieruchomioną podstawą oraz jego ostatnim ogniwnem - efekтором. Zdanowicz [5] określa ją także jako liczbę niezależnych napędów, które zapewniają określony ruch mechanizmu.

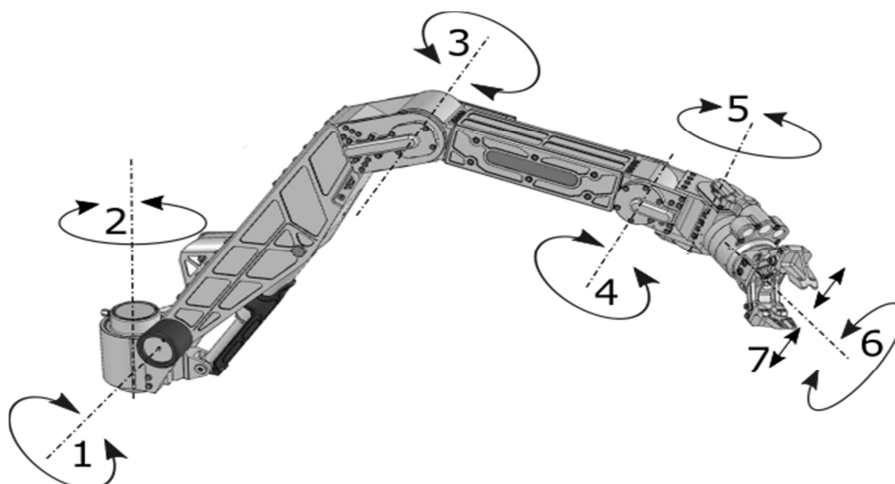


A



B

Rys. 3 Manipulatory pojazdów podwodnych. A – GripStick produkcji Saab SeaEye o jednej funkcji [12.e], B – 7-mio funkcyjny M700 produkcji TitanRob [12.f].



Rys. 4 Manipulator o siedmiu stopniach swobody. Na podstawie [12.d].

Liczbę stopni swobody manipulatora można obliczyć za pomocą zależności [5]:

$$w = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 = 6n - \sum_{i=1}^5 ip_i \quad (1)$$

gdzie:

$n$  – liczba członów ruchomych manipulatora,

$p_5, p_4, \dots, p_1$  – liczba par kinematycznych, z których każda odbiera odpowiednio pięć do jednego stopnia swobody (ograniczeń ruchu).

Przyjmując, że w manipulatorach pojazdów podwodnych występują tylko pary kinematyczne o 1 DOF, powyższy wzór możemy sprowadzić do postaci:

$$w = n \quad (2)$$

Wynika stąd, że ilość stopni swobody manipulatorów ROV jest równa liczbie członów kinematycznych. Jednakże, w literaturze specjalistycznej zajmującej się zagadnieniami robotyki [5, 6] liczbę stopni swobody manipulatora określa się jako sumę członów ramienia manipulatora bez uwzględnienia ruchliwości efektora. Natomiast większość producentów manipulatorów pojazdów ROV w swoich broszurach informacyjnych przedstawiają ją jako sumę ilości stopni swobody ramienia manipulatora z ilością stopni swobody efektora włącznie, co potwierdzają Christ i Wernli [7]. Moore [8] przyznaje, że producenci różnie podają liczbę stopni swobody: z uwzględnieniem ruchliwości efektora lub bez.

#### MATERIAŁY DO BUDOWY MANIPULATORÓW

Do budowy manipulatorów pojazdów głębinowych wykorzystuje się tworzywa, które zostały zdominowane głównie przez kilka rodzajów materiałów konstrukcyjnych. Są to materiały odporne na korozję ze strony czynników atmosferycznych i środowiska wodnego. Do podstawowych materiałów należą:

- stal nierdzewna – zazwyczaj mieszanina stopów żelaza z domieszką chromu i niklu. Jest to materiał o dużej wytrzymałości mechanicznej i wysokim ciężarze właściwym;

- anodyzowane aluminium – stop aluminium poddany specjalnemu procesowi elektrochemicznemu polegającym na wytworzeniu na powierzchni aluminium warstwy tlenku aluminium o większej twardości i odporności na korozję. Charakteryzuje się niższym ciężarem właściwym od stali nierdzewnej, oraz mniejszą wytrzymałością mechaniczną;
- tytan – materiały wykonane ze stopów tytanu charakteryzują się wysoką wytrzymałością mechaniczną. Wagowo zajmują pozycję pomiędzy stopami z aluminium a stalą nierdzewną. Posiadają najlepszy współczynnik wytrzymałości do masy w klasie manipulatorów roboczych. Wadą stopów tytanu jest ich cena;
- polimery – mają głównie zastosowanie w manipulatorach do lekkiej pracy, dedykowanych do mini i kompaktowej klasy pojazdów głębinowych. Najczęściej używane są:
  - ✓ polietylen wysokiej gęstości jest materiałem odpornym na działanie wody, roztworów soli, niektórych kwasów, alkoholi i benzyny. Jest materiałem łatwo obrabialnym, podatnym na zgrzewanie o ciężarze mniejszym od wody;
  - ✓ polioksymatylen z grupy termoplastycznych polimerów odznacza się dobrą sztywnością i wytrzymałością przy niskiej masie własnej. Charakteryzuje się naturalną smarownością.

#### ŹRÓDŁA NAPĘDU

We współczesnych manipulatorach pojazdów podwodnych wykorzystuje się dwa rodzaje źródeł napędu: hydrauliczny i elektryczny. Zastosowanie odpowiedniego napędu manipulatora wynika z jego przeznaczenia i fizycznej konstrukcji. Brane są pod uwagę takie właściwości jak obciążalność napędu, parametry kinetyczne manipulatora, liczba punktów swobody oraz dokładność pozycjonowania.

Napęd hydrauliczny ma zastosowanie w manipulatorach przeznaczonych do najcięższych prac. Cechuje go duża obciążalność i sztywność, jednocześnie jest mało wrażliwy na zmiany obciążenia. Sztywność konstrukcji wykonawczych zespołów napędowych umożliwia ich wykorzystanie w roli elementów nośnych konstrukcji urządzenia. Eksploatacja napędu hydraulicznego wymaga dużej dbałości o stan elementów napędowych, czystość czynnika roboczego oraz stan połączeń przewodów hydraulicznych. Manipulatory z napędem hydraulicznym oprócz elementów wykonawczych przetwarzających energię czynnika roboczego na energię mechaniczną, wymagają zastosowania urządzeń pomocniczych do wytworzenia ciśnienia czynnika roboczego, dystrybucji, oraz kierowania natężeniem i ciśnieniem jego przepływu. Dodatkowe wyposażenie zwiększa rozmiar i masę całego urządzenia. Jak wykazuje badanie rynku, obecnie prawie 70% oferowanych w sprzedaży manipulatorów posiada napęd hydrauliczny.

Napęd elektryczny ma zastosowanie przede wszystkim w małych manipulatorach o niewielkiej liczbie stopni swobody. Charakteryzuje się niezmiennymi parametrami pracy w szczególności zależnymi od temperatury.

Napęd ten umożliwia osiągnięcie wysokiej dokładności przemieszczania członów manipulacyjnych oraz zastosowanie prostych i tanich układów sterujących.

Brak czynnika roboczego i ewentualnych wycieków nie powoduje zagrożenia zanieczyszczenia środowiska, jednakże w manipulatorach elektrycznych przystosowanych do pracy na większych głębokościach stosuje się wypełniania olejami pustych przestrzeni, celem zwiększenia ich odporności na ciśnienie zewnętrzne. Małe wymiary elementów sterujących oraz zwarta konstrukcja elementów napędowych umożliwia ich umiejscowienie w ramie manipulatora zmniejszając tym samym kubaturę całego urządzenia. Niekorzystnie na zastosowanie manipulatorów z napędem elektrycznym wpływa konieczność zachowania wysokiego stopnia izolowania elementów elektrycznych oraz ich wrażliwość na długotrwałe przeciążenia mogące doprowadzić do uszkodzenia przekładni i silników elektrycznych.

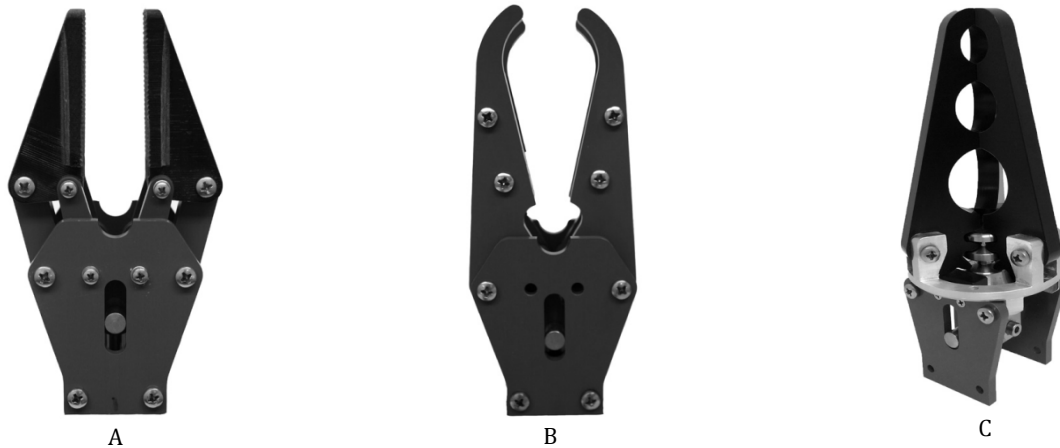
Oddzielną grupę manipulatorów stanowią manipulatory serwo-hydrauliczne. Głównym napędem członów kinematycznych jest w tym przypadku napęd hydrauliczny, natomiast elementy elektryczne służą do pomiarów wzajemnego położenia członów manipulatora i oddziałujących na nie sił zewnętrznych.

#### EFEKTORY KOŃCOWE MANIPULATORÓW PODWODNYCH

Efektor końcowy jest urządzeniem umieszczonym na ostatnim członie ramienia. Jest on główną częścią manipulatora, która odpowiada za interakcję ze środowiskiem pracy. Ramię manipulatora odpowiada za umieszczenie efektora w przestrzeni roboczej urządzenia, zadaniem efektora jest oddziaływanie na otoczenie. Możliwości i funkcje efektora zależą od przeznaczenia manipulatora i rodzaju wykonywanej pracy. Czasami muszą to być specjalnie zaprojektowane urządzenia, lecz większość prac można wykonać przy pomocy standardowych konstrukcji, wśród których można wyróżnić następujące typy efektorów:

- chwytaki: najbardziej pospolite i użyteczne efekторы przeznaczone do manipulowania obiektami. Ich zadaniem jest uchwycenie obiektu i wykonanie na nim zadanych operacji, takich jak: zmiana położenia, orientacji czy stanu fizycznego. Ponadto, chwytaki służą do operowania narzędziami specjalnie skonstruowanymi na potrzeby pojazdów podwodnych. Zasady budowy uchwytów takich narzędzi przedstawiono w dokumencie standaryzującym EN ISO 13628-8:2006 [10]. Chwytaki składają się z zespołu napędowego, przeniesienia napędu i końcówek chwytanych. W konstrukcjach przeznaczonych do cięższych prac stosuje się chwytaki równoległe oraz szczękowe. W prostych konstrukcjach stosuje się także chwytaki trójszczękowe (trójzab). Na rysunku 5 przedstawiono różne wersje chwytaków. W niektórych źródłach [8] można znaleźć podział chwytaków na precyzyjne i siłowe. Klasyfikacja ta wynika z przeznaczenia manipulatora. Manipulatory robocze o udźwigu dochodzącym do 5 kN dysponujące chwytakami o sile ścisku rzędu  $4 \div 6,4$  kN idealnie nadają się do podejmowania ciężkich obiektów. Nie nadają się one do delikatnych i precyzyjnych zadań. Z praktyki wynika, że pod wodą manipulator nie nadaje się do operowania przedmiotami o ciężarze mniejszym niż 10% jego nominalnego udźwigu [6]. Stąd w dużych

pojazdach podwodnych ROV stosuje się zespół 2-óch manipulatorów o różnych chwytakach: precyzyjnym (manipulacyjnym) i siłowym do ciężkich prac;



Rys. 5 Efektory chwytające [12.g]: A – równoległy, B – szczękowy, C – trójzębny.



Rys. 6 Efektory przecinające [12.h]: A – tłokowy wykorzystujący ostrze tnące, B – obrotowy (dyskowy).

- przecinaki mechaniczne: efektory zaopatrzone w hartowane ostrza przeznaczone do przecinania kabli, lin i rur (Rys. 6.a). Są to urządzenia o napędzie hydraulicznym, w którym element tnący jest wprawiany w ruch posuwisty. Innym rodzajem przecinaka jest przecinak obrotowy (Rys. 6.b), w którym elementem przecinającym jest obrotowa tarcza szlifierska;
- przystawki obrotowe: efektory które umożliwiają wykonanie operacji wymagających zastosowania momentu obrotowego. Efektor zazwyczaj wykorzystuje moment obrotowy generowany przez „nadgarstek” manipulatora. Urządzenia te wykorzystywane są do skręcania śrub, wykonywania nawierceń, czyszczenia elementów z wykorzystaniem szczotek obrotowych oraz regulacji zaworami. Norma EN ISO 13628-8:2006 [10] przedstawia klasyfikację zakończeń oraz wymagania projektowe takich efektory w zależności od przenoszonego momentu obrotowego.

## KLASYFIKACJA MANIPULATORÓW PODWODNYCH

- 1) Porównanie manipulatorów pojazdów podwodnych i ich jednoznaczne przypisanie do identyfikującej ich grupy jest problematyczne. Podziału manipulatorów można dokonać poprzez sklasyfikowanie ich pod względem rodzaju wykonywanej pracy, stopnia złożoności wyznaczonej przez ilość stopni swobody czy zastosowanego rodzaju napędu. Podziału takiego można dokonać także rozpatrując klasyfikację docelowego nosiciela, czyli samego pojazdu podwodnego, którego klasyfikacja także nie jest prostą czynnością [11].
- 2) Klasyfikacja manipulatorów pod względem wykonywanej pracy może polegać na określeniu ich zadania. Czynnikiem decydującym o przeznaczeniu danego manipulatora jest bardzo wiele. Zaliczyć do nich można: rodzaj zastosowanego efektora, ilość stopni swobody, długości ramienia, udźwig, przestrzeń roboczą czy głębokość operacyjną. Rozpatrując wykonywane zadania można wyróżnić następujące grupy manipulatorów:
  - manipulacyjne – wykonujące wszelkiego rodzaju prace wymagające oddziaływania na obiekt głównie z zastosowaniem efektory chwytających równoległych oraz szczękowych (Rys. 5). Zazwyczaj są to manipulatory najbardziej skomplikowane o dużej liczbie stopni swobody z zaawansowanym sterowaniem,
  - utrzymujące – przeznaczone do przytrzymania obiektu celem względnego unieruchomienia pojazdu i wykonania operacji przy wykorzystaniu dodatkowego manipulatora. Efektory takich manipulatorów mogą mieć postać chwytaków lub przysawek podciśnieniowych,

- chwytaki – manipulatory podejmujące duże i ciężkie przedmioty. Zadania te realizowane przez manipulatory o niewielkiej liczbie stopni swobody o dużej sile chwytającej efektor, Często pełnią one także zadania utrzymania pojazdu w stabilnej pozycji,
- pomocnicze – manipulatory do operowania dodatkowym osprzętem takim jak dodatkowa kamera czy oświetlenie. Są to zazwyczaj konstrukcje lekkie o niewielkiej liczbie stopni swobody,
- specjalne – manipulatory o specjalnych efektorach wyspecjalizowane w ściśle określonych zadaniach. Do grupy tej można zaliczyć manipulatory wyposażone w efekторы czyszczące czy płuczące.

Klasyfikacja manipulatorów pod względem ilości stopni swobody jest najprostszym do zrealizowania podziałem, wynikającym ściśle z konstrukcji manipulatora. Wyróżniamy grupy o następującej liczbie ilości stopni swobody:

- od 1 do 2: proste manipulatory występujące w małych i średnich pojazdach ROV. Pojedyncza ruchliwość odpowiada za otwieranie i zamykanie szczęk efektora. Druga najczęściej odpowiada za obrót efektora wokół osi wzdłużnej. Manipulatory te występują najczęściej w tanich pojazdach, zbudowane w oparciu o napędy elektryczne. Niski udział procentowy w dostępności tych manipulatorów tłumaczy fakt, iż część producentów pojazdów ROV jako wyposażenie oferuje proste manipulatory własnej produkcji, bez podawania ich istotnych parametrów,
- od 3 do 5 – manipulatory przeznaczone do wykonywania lekkich i średnich prac podwodnych, stosowane jako wyposażenie średnich i dużych pojazdów ROV. Charakteryzują się one najkorzystniejszym stosunkiem możliwości manipulacyjnych względem ich ceny,
- od 6 – manipulatory o najbardziej zaawansowanych technicznie konstrukcjach. Operatywność takich urządzeń pozwala na manipulację obiektami w przestrzeni w pełnych 6-ciu punktach swobody obiektu, a także na omijanie przeszkód. Praktycznie w pojazdach podwodnych nie stosuje się manipulatorów o większej ilości punktów swobody niż 7, ze względu na znaczne skomplikowanie konstrukcji, oraz problemy ze sterowaniem nie przynoszące wymiernej korzyści.

## PODSUMOWANIE

W materiale przedstawiono ogólną budowę manipulatora pojazdu podwodnego ROV. Zwrócono uwagę na funkcje jakie spełnia manipulator w odniesieniu do wykonywanych czynności. Omówiono pojęcie stopni swobody manipulatora. Wykorzystując wzór wyznaczający ilość stopni swobody łańcucha kinematycznego, określono wzór na ilość stopni swobody manipulatorów pojazdów podwodnych, gdzie istotnym założeniem jest użycie w ich konstrukcji członów kinematycznych o 1 DOF.

Przedstawiono najpopularniejsze materiały konstrukcyjne stosowane w budowie manipulatorów. Opisano stosowane rodzaje źródeł napędu z wyszczególnieniem ich zalet i wad.

Ponadto, omówiono pojęcie efektora końcowego manipulatora pojazdu ROV. Wyróżniono i scharakteryzowano jego 3 podstawowe typy o różnym przeznaczeniu. Podano też zarys klasyfikacji manipulatorów w funkcji realizowanych przez nie zadania, oraz ruchliwości tj. w zależności od liczby stopni swobody ramienia manipulatora. Z przeprowadzonych analiz wynika że nie spotyka się manipulatorów podwodnych z zastosowaniem więcej niż 7 stopni swobody. Liczba ta jest wystarczająca do zapewnienia optymalnej ruchliwości ramienia manipulatora. Ograniczeniem stosowania większej ilości stopni swobody, jest problem sterowania takim manipulatorem, co będzie kolejny etapem analizy przedstawionym w oddzielnym materiale.

## BIBLIOGRAFIA

1. Olejnik A. Rozwój techniki zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych. Polish Hyperbaric Research 2009; 3(28): 7-21, ISSN 1734-7009;
2. Meccano Magazine, Meccano Ltd. 1963; 2(48), 49;
3. Praca zbiorowa pod red. R. F. Busby. Remotely Operated Vehicles. U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration - Office of Ocean Engineering, Washington D.C. 1979;
4. The Ogden Standard-Examiner, Ogden Utah 17.05.1953; 2;
5. Zdanowicz R. Podstawy Robotyki. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012: 29-83, ISBN 978-83-7335-922-2;
6. Praca zbiorowa pod red. Morawiecki A, Knapczyk J. Podstawy Robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów. Wyd. 3 zm. i roz., WNT, Warszawa 1999: 412-439, ISBN 83-204-2331-7;
7. Christ R. D, Wernli Sr R. L. The ROV Manual. A User Guide for Remotely Operated Vehicles. Second edition 2014: 503-558, ISBN 978-0-08-098288-5;
8. Moore S. W, Bohm H, Jensen V. Underwater Robotics. Science, Design & Fabrication. MATE Center 2010: 529-572, ISBN 978-0-9841737-0-9;
9. Wojnarowski J, Nowak A. Mechanika manipulatorów – Robotów w opisie motorów. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007; 13-14, ISBN 978-83-7335-363-3;
10. European Standard. Petroleum and natural gas industries – Design and operation of subsea production systems. Part 8: Remotely Operated Vehicle (ROV) interfaces on subsea production systems. EN ISO 13628-8:2006;
11. Jakus B, Olejnik A. Analiza układów napędowych bezzałogowych pojazdów głębinowych w kierunku zidentyfikowania sposobu przeniesienia napędu. Polish Hyperbaric Research 2017; 3(60), DOI 10.1515/phr-2017-00010;
12. Źródła internetowe:
  - a. <http://cyberneticzoo.com/category/underwater-robotics/> – access in 06.2018;
  - b. <http://cyberneticzoo.com/underwater-robotics/1960-solaris-mechanical-crab-jack-green-american/> – access in 06.2018;
  - c. <http://cyberneticzoo.com/teleoperators/1964-unimo-universal-underwater-mobot-hughes-aircraft-american/> – access in 06.2018;
  - d. [http://vistechologies.com/?page\\_id=661](http://vistechologies.com/?page_id=661) – access in 06.2018;
  - e. <http://www.saabseaeye.com/solutions/underwater-vehicles/falcon> – access in 06.2018;
  - f. [http://www.titanrob.com/wp-content/uploads/2016/02/TRBT\\_SP003\\_M700-Specs\\_rev01.pdf](http://www.titanrob.com/wp-content/uploads/2016/02/TRBT_SP003_M700-Specs_rev01.pdf) – access in 06.2018;
  - g. [http://www.videoray.com/homepage/new/options/rotating-manipulator.html#!NewManip\\_Pro4](http://www.videoray.com/homepage/new/options/rotating-manipulator.html#!NewManip_Pro4) – access in 06.2018;
  - h. <http://hydro-lek.com/tooling.php> - access in 06.2018;
  - i. [http://www.titanrob.com/wp-content/uploads/2016/02/TRBT\\_SP002\\_G500-Specs\\_rev00.pdf](http://www.titanrob.com/wp-content/uploads/2016/02/TRBT_SP002_G500-Specs_rev00.pdf) – access in 06.2018;
  - j. <http://www.profoundtechnology.net/manipulators/manipulator-m2r/> – access in 06.2018.

**mgr inż. Marek Dawidziuk**  
Zakład Technologii Prac Podwodnych  
Akademia Marynarki Wojennej  
81-127 Gdynia, ul. Śmidowicza 69  
tel. 48 261 262 746  
e-mail: m.dawidziuk@amw.gdynia.pl