

Prof. dr hab. inż. Zygmunt KITOWSKI
Dr inż. Bogdan ŻAK
Akademia Marynarki Wojennej

EFEKTYWNOŚĆ PRZEMYSŁOWYCH PRAC PODWODNYCH Z WYKORZYSTANIEM ROBOTÓW

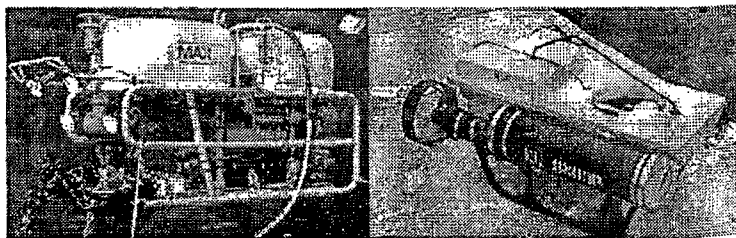
W pracy przedstawiono wyniki analizy efektywności wykonywania prac z wykorzystaniem robotów podwodnych o różnych konfiguracjach i przy różnym sterowaniu ich manipulatorami. Przedstawiono również obecne trendy rozwojowe robotów podwodnych.

EFFICIENCY OF INDUSTRIAL UNDERWATER WORKS USING ROBOTS

The paper presents results of analysis the efficiency of works using underwater robots dependly on theirs configurations and system control of manipulators. There are also presented the current trends in underwater robots development.

1. WPROWADZENIE

Od kilkudziesięciu lat obserwuje się wzrost zainteresowania zasobami mórz i oceanów, ze szczególnym nasileniem od chwili wykrycia złóż ropy naftowej na niewielkich głębokościach akwenów przybrzeżnych. W początkowym okresie rozwoju technicznych środków penetracji głębin morskich do badań były wykorzystywane załogowe pojazdy podwodne. Niektóre z nich wyposażono w manipulatory, początkowo stosunkowo proste, wykorzystywane do pobierania próbek gruntu lub podnoszenia z dna zatopionych przedmiotów. Od lat siedemdziesiątych nastąpił rozwój bezzałogowych pojazdów podwodnych dysponujących obecnie wszystkimi charakterystycznymi cechami robota, a więc możliwością przemieszczania się i manipulacji, zdolnością technicznej obserwacji otoczenia, a także niekiedy samodzielnego wypracowywania decyzji w sytuacjach typowych, powtarzalnych.



Rys.1 Widok współczesnego robota podwodnego

Przez robot podwodny będzie się rozumiało bezzałogowy obiekt całkowicie zanurzony w wodzie, posiadający sześć stopni swobody i połączony z bazą nawodną przewodem lub za pomocą hydroakustycznego kanału łączności. Widok współczesnego robota podwodnego przedstawia rys.1.

Zapoczątkowany w 1975 roku gwałtowny rozwój robotów podwodnych utrzymuje się do chwili obecnej z uwagi na zastosowanie ich w dynamicznie rozwijającym się przemyśle wydobywczym, jako urządzeń inspekcyjnych, wspierających prace podwodne itp.

W ostatnich latach roboty podwodne osiągnęły duży stopień zróżnicowania budowy i zastosowań. Koncepcja pojazdu wielozadaniowego zdolnego wykonywać różnorodne prace została zdominowana przez dwie inne koncepcje [4], [5]:

1. pojazdu wyspecjalizowanego wykonującego ściśle określone zadania np: obserwacji, inspekcji, naprawy itp.,
2. pojazdu o budowie modułowej, zawierającego moduł napędowy i dołączalne w zależności od wykonywanych zadań wymienne zestawy urządzeń i narzędzi - GEMINI.

Od 1985 r. datuje się rozwój szczególnego rodzaju pojazdów LC ROV (low cost remotely operated vehicle - tani ROV) - o niewielkich gabarytach, ciężarze od kilku do kilkudziesięciu kilogramów i uproszczonych funkcjach. Pojazdy te należą do miniaturowych obiektów, sterowanych zdalnie przez operatora przy pomocy kabloliny z różnorodnych obiektów powierzchniowych, z nabrzeża, łodzi, statku, platformy, śmigłowca a także z pojazdu załogowego lub okrętu podwodnego. Z uwagi na możliwość łatwego transportu, nieskomplikowaną obsługę i nieograniczony czas działania wykorzystywane są one do wielu różnorodnych celów: naukowo-badawczych, militarnych, użytkowych itp. Ich gabaryty z reguły nie przekraczają jednego metra, a masa kilkudziesięciu a nawet kilkunastu kilogramów.

3. STRUKTURA SYSTEMU I WYPOSAŻENIE ROBOTÓW PODWODNYCH

System bezzałogowego zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego przedstawiono na rys.3.

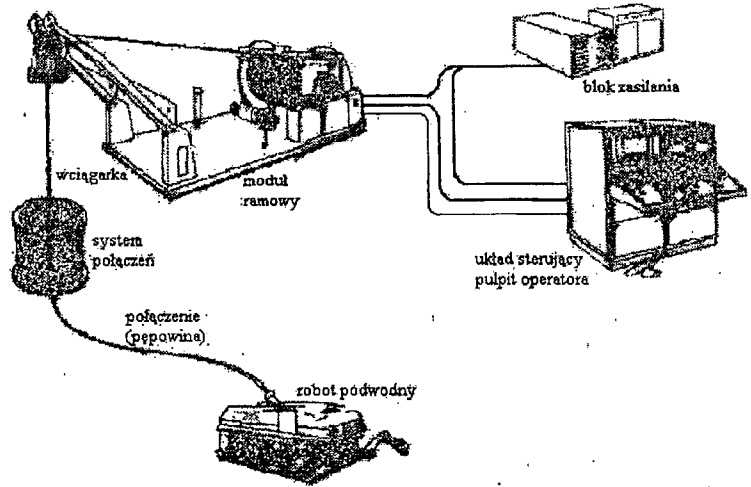
W rozpatrywanych pojazdach podwodnych występują bardzo ciekawe rozwiązania układów napędowych pozwalających na utrzymywanie się pojazdu w zadanym punkcie lub na poruszanie się w nakazanym kierunku z zachowaniem pożądanego położenia i prędkości, najczęściej z czterema stopniami swobody. Prędkości ruchu wahają się w granicach 1 - 3.5m/s.

Rzeczywisty rozwój bezzałogowych pojazdów podwodnych (rys.3) doprowadził do wykształcenia w latach siedemdziesiątych typowego obiektu przystosowanego do obserwacji i wykonywania prac pod wodą wyposażonego w kamerę TV, urządzenia obserwacji hydroakustycznej i manipulator. Taki robot podwodny mógł dokonywać penetracji dna poszukując zaginionego przedmiotu (hydrolokator), przeprowadzić inspekcję rurociągu (kamerą TV z transmisją na statek-bazę) lub pobierać próbki dna za pomocą manipulatora, czy wykonywać proste prace (założenie haka, przecięcie liny, założenie ładunku wybuchowego itp.).

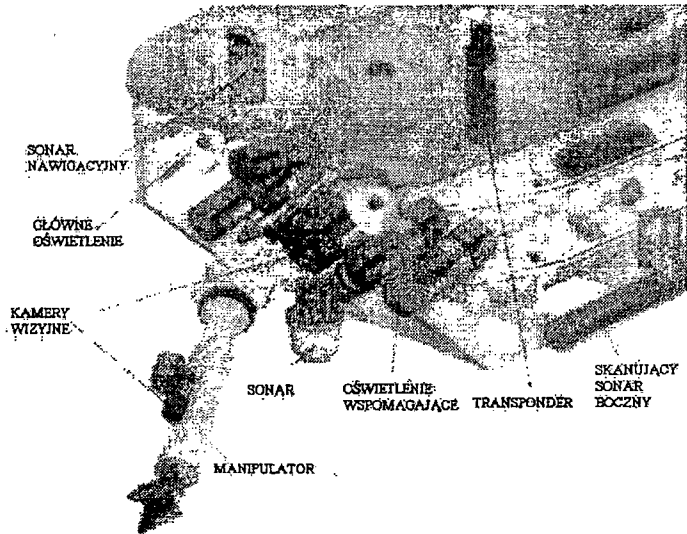
Podstawowe swoje zadania roboty podwodne wykonują przy pomocy manipulatorów, które w zależności od przeznaczenia stosowane są różnorodne konstrukcje:

- do unieruchamiania robota na podwodnej konstrukcji - są to proste manipulatory trój- i czterofunkcyjne, wyposażone w szczęki lub przyłgi ssawne;

- manipulatory robocze 5-co, 6-co, 7-mio funkcyjne - służą do wykonywania różnorodnych prac, takich jak: odzyskiwanie obiektów, obsługa zaworów, usuwanie niewielkich rumowisk, lokowanie kamer i oświetlenia oraz prac z zastosowaniem narzędzi hydraulicznych.



Rys.2 Elementy składowe systemu robota



Rys.3 Wyposażenie robota podwodnego

W układzie sterowania robotem podwodnym wyposażonym w manipulator funkcje regulatora w torze sprzężenia zwrotnego spełnia najczęściej operator obserwujący obiekt pracy na monitorze na pokładowym pulpicie sterowania. Wielowymiarowość układów sterowania obiektem, nawet nie posiadającym manipulatora, utrudniała wyszkolenie operatorów i obniżała efektywność pracy. Np. tylko obserwacja telewizyjna przedmiotu wymagała dość precyzyjnego pozycjonowania przestrzennego robota i równoczesnego sterowania reflektorami oraz kamerą TV. Bezpośrednie operowanie manipulatorem było w tych warunkach mało skuteczne.

Można oszacować że w świecie zbudowano kilkaset różnorodnych obiektów oceanotechnicznych, którym można byłoby nadać nazwę pojazdów podwodnych, licząc jedynie jednostki prototypowe. Niewielką część spośród nich ocenia się jako pierwszorzowy robotów drugiego pokolenia, robota sterowanego przez nadrzędny program (superwizor), ulokowany poza obiektem sterowania np. na statku bazie. Ostateczną doskonałą formą takiego obiektu mógłby być robot realizujący bez ingerencji człowieka szereg typowych zadań, np. przejście do zadanego punktu w warunkach zakłóceń i ograniczeń trajektorii, pozycjonowanie w zadanym punkcie, pobieranie próbek dna według określonego sposobu, poszukiwanie przedmiotu o zapamiętanych charakterystykach geometrycznych, wykonywanie prostych operacji z wykorzystaniem manipulatora (wykonywanie otworu, założenie ładunku, przecięcie liny itp.), kartografowanie dna itp. Operator wprowadzałby do układu sterowania jedynie rozkazy nadrzędne, jak współrzędne punktów docelowych, opcje wykonywanych prac, rozkazy o zaprzestaniu czynności itp.

Podejście robota do obiektu, na którym wykonuje prace podwodne można wyobrazić sobie jako dwie następujące operacje - przejście długie (od okrętu-bazy w pobliże obiektu) i ruch lokalny zakończony pozycjonowaniem. Przez ruch lokalny robota będzie się rozumiało ograniczony ruch tego obiektu realizowany z niewielkimi prędkościami postępowymi i kątowymi. Szczególnym przypadkiem takiego ruchu jest pozycjonowanie dynamiczne polegające na utrzymaniu obiektu w pobliżu wybranego punktu przestrzeni wodnej. Pozycjonowanie dynamiczne może być ostatnim etapem pewnego złożonego zadania składającego się z kilku standardowych ruchów. Przejście od okrętu zabezpieczenia do celu może być wykonywane w różny sposób w zależności od przeznaczenia i konstrukcji robota podwodnego.

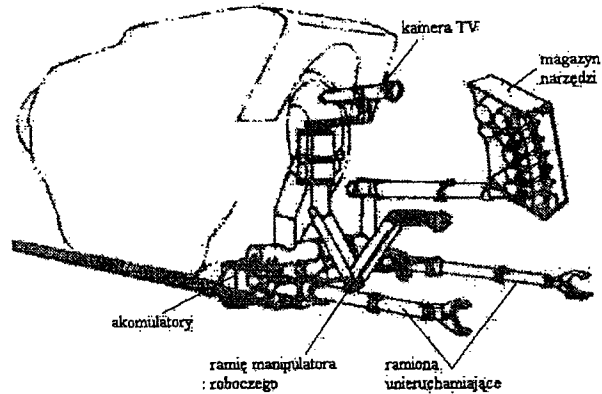
Po przejściu robota w pobliże celu np. na odległość „widzenia” kamery TV rozpocząć się może etap kilkumetrowego ruchu zwanego ruchem lokalnym. Ostatnią fazą takiego ruchu może być pozycjonowanie dynamiczne. Ruch taki charakteryzuje się mniejszą prędkością (postępową i kątową) powodując zanik sterowności za pomocą sterów, co w konsekwencji wywołuje konieczność posługiwania się układem przestrzennie rozmieszczonych pędników.

4. MANIPULATORY ROBOTÓW PODWODNYCH

Manipulatory przeznaczone są one głównie do wykonywania rozmaitych prac podwodnych z zastosowaniem chwytaka i wymiennych narzędzi. Manipulatory takie umieszcza się najczęściej w dziobowej części obiektu, a obok rozmieszcza reflektory, kamerę TV lub hydrolokator do obserwacji dna i toni wodnej oraz magazyn narzędzi (rys.4). Spotyka się także manipulatory o zupełnie innym przeznaczeniu, np.:

- ramiona do przytrzymywania robota w pobliżu wraku czy konstrukcji hydrotechnicznej dla wykonania pracy innym manipulatorem (rys.4),
- ramiona zakończone przysawkami dla unieruchomienia robota przy pracy w pobliżu płaskich ścian,

- manipulatory chwytaki o niewielkiej liczbie stopni swobody do podnoszenia dużych, ciężkich przedmiotów,
- manipulatory do zamocowania ruchomego chwytaka na wybranym zatopionym obiekcie (rys.4),
- manipulatory do operowania kamerą TV, fotograficzną, sonarem czy reflektorem.



Rys.4 Rozmieszczenie manipulatorów

Manipulatory przeznaczone do wykonywania prac podwodnych, takich jak podnoszenie przedmiotów, cięcie lin, czyszczenie powierzchni, łączenie przewodów hydraulicznych i kabli, wiercenie itp. mają najczęściej 4-5 stopni swobody, co przy odpowiedniej manewrowości robota pozwala na dowolną lokację i orientację narzędzia w przestrzeni roboczej. Nieco rzadziej spotyka się droższe manipulatory o 6-7 stopniach swobody pozwalające na wykonanie zadania przy unieruchomionym robocie (przy 7 stopniach swobody także na ominięcie ewentualnej przeszkody w przestrzeni roboczej).

Mniejsza liczba stopni swobody niektórych często stosowanych manipulatorów wymaga zastosowania odpowiedniego układu napędowego, o złożonej często konfiguracji, zdolnego do zapewnienia robotowi właściwości dynamicznego pozycjonowania w przestrzeni wodnej. Układ napędowy takiego robota to najczęściej kilka pędników w postaci śrub napędowych w dyszach nieruchomych lub obrotowych rozmieszczonych w różnych punktach kadłuba.

Przeciętna długość całkowita łańcucha kinematycznego współczesnych manipulatorów podwodnych waha się w granicach 1.0 -2.0 m. Najdłuższy ze zbudowanych manipulatorów zastosowany na DSRV ma 2.6 m długości przy udźwigu 230N. Długość manipulatora oraz udźwig robotów podwodnych ograniczone są także względami stateczności obiektu, której zapewnienie jest stosunkowo łatwe przy statycznym osadzeniu pojazdu na dnie, a następuje wiele problemów przy operowaniu manipulatorem w czasie pozycjonowania dynamicznego w toni wodnej. Wspomniane charakterystyki manipulatora są wówczas uzależnione także od mocy i konfiguracji układu napędowego. Długość i proporcje ramion z kolei ściśle zależą od pożądanej przestrzeni roboczej, ta zaś od kształtu dziobowej części pojazdu, w której zazwyczaj rozmieszczone są manipulatory, reflektory i kamery TV do obserwacji tej przestrzeni. Właściwy

dobór wymiarów ramion, kształtu przestrzeni roboczej i lokalizacji reflektorów oraz kamery mają niejednokrotnie decydujący wpływ na efektywność operacji podwodnych.

W manipulatorach podwodnych stosuje się dwa rodzaje siłowników do napędu ramion - najczęściej hydrauliczne i niekiedy elektryczne. Napęd hydrauliczny pod wodą, w porównaniu do napędu elektrycznego, kilka zalet, a najważniejszą jest duża odporność na agresywne działanie środowiska morskiego. Manipulatory o tym napędzie mają poza tym dobre właściwości dynamiczne (kiedy korzystnemu stosunkowi momentów napędzających i bezwładności), są odporne na przeciążenia i zmiany obciążeń oraz łatwe w sterowaniu.

Większość manipulatorów robotów podwodnych funkcjonuje w otwartych układach sterowania ze sprzężeniem zwrotnym poprzez operatora znajdującego się na pojeździe podwodnym lub statku-bazie, z którego za pomocą kamery TV obserwuje się przedmiot pracy i podejmuje decyzje o kolejnych operacjach. Ze względu na sposób realizacji zamierzeń operatora różnią się manipulatory:

- sterowane przyciskami,
- kopiujące zadawaną pozycję typu master/slave,
- kopiujące zadawaną pozycję ze sprzężeniem zwrotnym od przykładanej siły.

Pierwszy sposób sterowania ruchami ramion i narzędzi jest stosunkowo czasochłonny i często kojarzy się takie sterowanie z programowaniem powtarzających się sekwencji ruchów. Programowanie ruchów wymaga jednak zastosowania struktury układu sterowania zamkniętego poprzez pomiar położenia ramion, co powoduje że konstrukcja manipulatora staje się bardziej złożona i kosztowna.

Ważnym udoskonaleniem układów sterowania manipulatorów było wprowadzenie informacji zwrotnej (przekazywane do układu master) o siłach i momentach w układzie wykonawczym slave. Powstają one jako reakcja od operacji wykonywanych na obiekcie pracy. Jeżeli robot wykonuje prace zawieszony w przestrzeni wodnej, to reakcje te w istotny sposób zakłócają pozycjonowanie, a ich pomiar ułatwia utrzymanie pozycji i realizację zadań. W jednym z manipulatorów firmy General Electric informacja o obciążeniu w części wykonawczej uzyskiwana jest przez pomiar ciśnienia w obwodach zasilających siłowniki. Informacja ta jest następnie przekształcana w proporcjonalne do tego ciśnienia momenty w siłownikach elektrycznych ramienia sterującego, dzięki czemu są wyczuwane przez operatora. Inną ważną zaletą takiego sposobu sterowania jest elastyczność manipulatora, tzn. jego podatność na gwałtowny wzrost obciążenia, uderzenie, błąd operatora itp. Właściwość ta zabezpiecza manipulator przed złamaniem lub zgięciem.

Ważnym udoskonaleniem układów sterowania manipulatorów było wprowadzenie informacji zwrotnej (przekazywane do układu master) o siłach i momentach w układzie wykonawczym slave. Powstają one jako reakcja od operacji wykonywanych na obiekcie pracy. Jeżeli robot wykonuje prace zawieszony w przestrzeni wodnej, to reakcje te w istotny sposób zakłócają pozycjonowanie, a ich pomiar ułatwia utrzymanie pozycji i realizację zadań. W jednym z manipulatorów firmy General Electric informacja o obciążeniu w części wykonawczej uzyskiwana jest przez pomiar ciśnienia w obwodach zasilających siłowniki. Informacja ta jest następnie przekształcana w proporcjonalne do tego ciśnienia momenty w siłownikach elektrycznych ramienia sterującego, dzięki czemu są wyczuwane przez operatora. Inną ważną zaletą takiego sposobu sterowania jest elastyczność manipulatora, tzn. jego podatność na gwałtowny wzrost obciążenia, uderzenie, błąd operatora itp. Właściwość ta zabezpiecza manipulator przed złamaniem lub zgięciem.

6. EFEKTYWNOŚĆ PRAC PODWODNYCH

Prace podwodne dają się zdekomponować na pewne proste czynności - zadania dla manipulatora. Na zdolność do ich wykonania składa się z kolei wiele czynników, takich jak: wymiary ramion i

liczba stopni swobody manipulatora, jego udźwig, możliwości manewrowania i unieruchomienia robota, warunki wizualnej lub hydroakustycznej obserwacji obiektu, sposób sterowania ruchami ramion. W tab.1 przedstawiono zależności między zdolnością systemu manipulacyjnego do wykonania prac o różnej trudności, a sposobem sterowania.

Przy doborze manipulatora dla robota podwodnego analizuje się więc częstotliwość wykonywanych czynności o różnym stopniu złożoności i jeżeli robot miałby wykonywać czynności złożone stosunkowo rzadko, należy decydować się raczej na manipulator prostszy i tańszy. Możliwość wykonania bardziej złożonych prac uzależnia się wówczas od manewrowości robota i dopuszczalności wydłużenia czasu wykonania zadania.

Tab.1

Rodzaj czynności	Sposób sterowania manipulatora		
	1	2	3
Obserwacja	X	X	X
Podnoszenie/opuszczanie	X	X	X
Wymiana modułów	X	X	X
Cięcie lin/ usuwanie szczątków		X	X
Czyszczenie konstrukcji			X
Używanie narzędzi/ obracanie zaworami			X
Łączenie lin i przewodów hydraulicznych			X
Kolnierzowe łączenie rurociągów			X
Wiercenie/ gwintowanie			X
Skomplikowany montaż i demontaż			X

Tab.2

Widzialność	Czas wykonania operacji	
	Master/slove	Master/slove z pomiarem siły
Dobra	122	88
Zadawalająca	236	130
Słaba	573	251
Bardzo zła	∞	1180

Czas trwania niektórych operacji podwodnych może być niekiedy bardzo długi. Uważa się, że kosztowny i złożony manipulator typu master/slove ze sprzężeniem zwrotnym od sił występujących w części wykonawczej jest ok. 10 krotnie wolniejszy od płetwonurka wykonującego tę samą czynność, a pomimo tego jest 10 krotnie szybszy od prostego manipulatora sterowanego przyciskami. Niezmiernie ważną rolę odgrywają także warunki postrzegania obiektu pracy. Słaba widzialność wskutek małej przezroczystości wody lub niedostatecznego oświetlenia może być często przyczyną całkowitej rezygnacji z wykonania zadania (tab.2).

Z tab.3 wynika, jak niewiele czasu (ok.1/3) poświęca się na ruchy manipulacyjne, a jak znaczna jego część zużywana jest na zastanawianie się operatora nad kolejnym ruchem i skorygowanie położenia kamery lub reflektorów. Wynika stąd często wypowiedzany wniosek o zaletach dobrego, prostego manipulatora z niewielką liczbą stopni swobody, szczególnie efektywnego we współpracy z dobrze wyszkolonym operatorem. Wniosek ten potwierdza analiza rynku oceanotechnicznego, na którym, obok intensywnie reklamowanych złożonych manipulatorów o 7-8 stopniach swobody ze sterowaniem typu master/slove z pomiarem siły, równie często spotyka się tanie i stosunkowo efektywne rozwiązania robotów z prostymi manipulatorami.

Tab.3

Czynności	Praca [%]	
	bez narzędzi	z narzędziami
Podjęcie decyzji	50	37
Ruchy ramion	33	30
Ustawianie kamery TV	17	11
Używanie narzędzi	-	22
RAZEM	100	100

7. ZAKOŃCZENIE

Rozwijają się nowe kierunki udoskonalenia robota podwodnego. Sprowadzają się one do wprowadzenia programu nadrzędnego zarządzającego typowymi ruchami i operacjami obiektu sterowania po rozpoznaniu oraz syntezy stanu środowiska i robota. Prace nad robotami tego typu znajdują się w fazie początkowej głównie w Japonii i Stanach Zjednoczonych. Podstawowych trudności w realizacji efektywnych rozwiązań należy dopatrywać się w złożoności zjawisk postrzegania i interpretacji obrazów, dźwięków i kształtów środowiska podwodnego. Środowisko to charakteryzuje się także kłopotliwym z technologicznego punktu widzenia ciśnieniem hydrostatycznym, trudnościami w bezprzewodowej transmisji informacji i praktycznie nierealną bezprzewodową transmisją energii.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANNATI M., *Mine countermeasures - ROVs the second revolution*, Naval Forces 1995 nr.3 s.36-42.
- [2] GRACZYK T., *Bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe - konstrukcje i zastosowania*, Politechnika Szczecińska, 1991 ss 387.
- [3] POLMAN N., *The U.S.Navy - Robot Submarine*, Proc. USNI 1991 nr 9 s. 122-123.
- [4] ANGLO-FRENCH RMHS programme, *Jane's Navy Int. 1995 vol.100 nr 3 s.28-29.*
- [5] *Mine countermeasures, expandable mine disposal systems: AMNSYS gets back in the water. Maritime Def. 1995 nr 6 s.122-124.*

liczba stopni swobody manipulatora, jego udźwig, możliwości manewrowania i unieruchomienia robota, warunki wizualnej lub hydroakustycznej obserwacji obiektu, sposób sterowania ruchami ramion. W tab.1 przedstawiono zależności między zdolnością systemu manipulacyjnego do wykonania prac o różnej trudności, a sposobem sterowania.

Przy doborze manipulatora dla robota podwodnego analizuje się więc częstotliwość wykonywania czynności o różnym stopniu złożoności i jeżeli robot miałby wykonywać czynności złożone stosunkowo rzadko, należy decydować się raczej na manipulator prostszy i tańszy. Możliwość wykonania bardziej złożonych prac uzależnia się wówczas od manewrowości robota i dopuszczalności wydłużenia czasu wykonania zadania.

Tab.1

Rodzaj czynności	Sposób sterowania manipulatora		
	1	2	3
Obserwacja	X	X	X
Podnoszenie/opuszczanie	X	X	X
Wymiana modułów	X	X	X
Cięcie lin/ usuwanie szczątków		X	X
Czyszczenie konstrukcji			X
Używanie narzędzi/ obracanie zaworami			X
Łączenie lin i przewodów hydraulicznych			X
Kołnierzowe łączenie rurociągów			X
Wiercenie/ gwintowanie			X
Skomplikowany montaż i demontaż			X

Tab.2

Widzialność	Czas wykonania operacji	
	Master/slove	Master/slove z pomiarem siły
Dobra	122	88
Zadawalająca	236	130
Słaba	573	251
Bardzo zła	∞	1180

Czas trwania niektórych operacji podwodnych może być niekiedy bardzo długi. Uważa się, że kosztowny i złożony manipulator typu master/slove ze sprzężeniem zwrotnym od sił występujących w części wykonawczej jest ok. 10 krotnie wolniejszy od przetworzka wykonującego tę samą czynność, a pomimo tego jest 10 krotnie szybszy od prostego manipulatora sterowanego przyciskami. Niezmiernie ważną rolę odgrywają także warunki postrzegania obiektu pracy. Słaba widzialność wskutek małej przezroczystości wody lub niedostatecznego oświetlenia może być często przyczyną całkowitej rezygnacji z wykonania zadania (tab.2).

Z tab.3 wynika, jak niewiele czasu (ok.1/3) poświęca się na ruchy manipulacyjne, a jak znaczna jego część zużywana jest na zastanawianie się operatora nad kolejnym ruchem i skorygowanie położenia kamery lub reflektorów. Wynika stąd często wypowiedzany wniosek o zaletach dobrego, prostego manipulatora z niewielką liczbą stopni swobody, szczególnie efektywnego we współpracy z dobrze wyszkolonym operatorem. Wniosek ten potwierdza analiza rynku oceanotechnicznego, na którym, obok intensywnie reklamowanych złożonych manipulatorów o 7-8 stopniach swobody ze sterowaniem typu master/slave z pomiarem siły, równie często spotyka się tanie i stosunkowo efektywne rozwiązania robotów z prostymi manipulatorami.

Tab.3

Czynności	Praca [%]	
	bez narzędzi	z narzędziami
Podejmowanie decyzji	50	37
Ruchy ramion	33	30
Ustawianie kamery TV	17	11
Używanie narzędzi	-	22
RAZEM	100	100

7. ZAKOŃCZENIE

Rozwijają się nowe kierunki udoskonalenia robota podwodnego. Sprowadzają się one do wprowadzenia programu nadrzędnego zarządzającego typowymi ruchami i operacjami obiektu sterowania po rozpoznaniu oraz syntezie stanu środowiska i robota. Prace nad robotami tego typu znajdują się w fazie początkowej głównie w Japonii i Stanach Zjednoczonych. Podstawowych trudności w realizacji efektywnych rozwiązań należy dopatrywać się w złożoności zjawisk postrzegania i interpretacji obrazów, dźwięków i kształtów środowiska podwodnego. Środowisko to charakteryzuje się także kłopotliwym z technologicznego punktu widzenia ciśnieniem hydrostatycznym, trudnościami w bezprzewodowej transmisji informacji i praktycznie nierealną bezprzewodową transmisją energii.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANNATI M., *Mine countermeasures - ROVs the second revolution*, Naval Forces 1995 nr.3 s.36-42.
- [2] GRACZYK T., *Bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe - konstrukcje i zastosowania*, Politechnika Szczecińska, 1991 ss 387.
- [3] POLMAN N., *The U.S.Navy - Robot Submarine*, Proc. USNI 1991 nr 9 s.122-123.
- [4] ANGLO-FRENCH RMHS programme, *Jane's Navy Int. 1995 vol.100 nr 3 s.28-29.*
- [5] *Mine countermeasures, expandable mine disposal systems: AMNSYS gets back in the water. Maritime Def. 1995 nr 6 s.122-124.*