

dr inż. Piotr Szymak  
Akademia Marynarki Wojennej

## **STRUKTURA BLOKÓW STERUJĄCYCH RUCHEM POJAZDÓW PODWODNYCH W WIELOAGENTOWYM SYSTEMIE PODWODNEJ INSPEKCJI**

*Zastosowanie zespołu autonomicznych pojazdów podwodnych dla potrzeb wykonywania wspólnego zadania podwodnej inspekcji stwarza potrzebę koordynacji działań poszczególnych pojazdów. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest system wieloagentowy.*

*Wieloagentowy system podwodnej inspekcji składać się będzie z systemu decyzyjnego, generującego wektory zadanych stanów dla poszczególnych pojazdów podwodnych i bloków sterujących, przetwarzających wektory zadanych stanów w wektory wymuszeń systemów napędowych poszczególnych pojazdów dla osiągnięcia wspólnego celu.*

*Niniejszy referat podejmuje problematykę doboru struktury bloków sterujących dla pojazdów podwodnych o różnej dynamice i różnej konfiguracji systemów napędowych.*

### **STRUCTURE OF CONTROL BLOCKS OF UNDERWATER VEHICLE'S MOTION IN MULTIAGENT SYSTEM OF UNDERWATER INSPECTION**

*Using of autonomous underwater vehicles' team for the aim of common underwater inspection task execution causes a need of coordination particular vehicle actions. One of the solutions is multiagent system.*

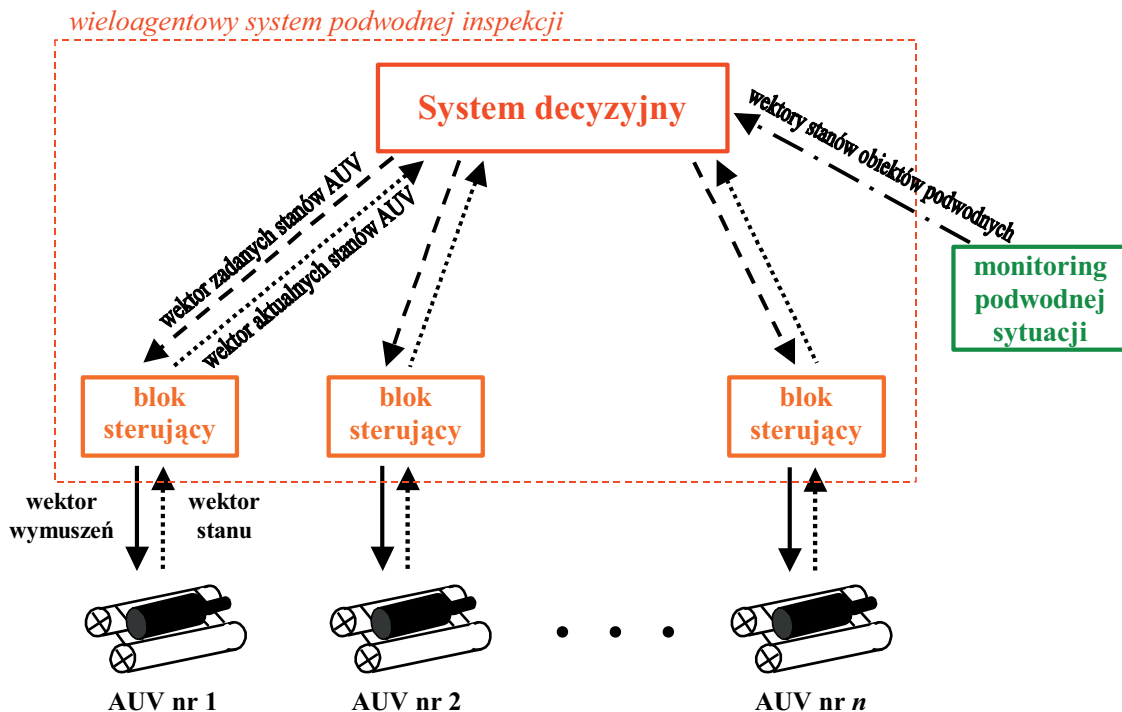
*Multiagent system of underwater inspection will be composed of decision system – generating vectors of desired states for particular underwater vehicle and control blocks – converting vectors of desired states into input function vectors of particular vehicle's driving systems for the common aim execution.*

*The paper undertakes problem of selection a structure of control blocks for underwater vehicles with different dynamics and different configuration of driving systems.*

## **1. WPROWADZENIE**

Doniesienia z przeprowadzanych prób przez NATO-wskich sojuszników świadczą o nieuniknionej drodze rozwoju technologii robotyki podwodnej w kierunku pojazdów całkowicie autonomicznych AUV (ang. *Autonomous Underwater Vehicle*) [2]. Zastosowanie tego typu robotów w misjach podwodnych daje możliwość, a często potrzebę tworzenia systemów wieloagentowych [6], gdzie poszczególni agenci to pojazdy podwodne koordynujące swoje działania w celu realizacji wspólnego zadania.

Zbudowanie wieloagentowego systemu wymaga zaprojektowania i dostrojenia systemu decyzyjnego oraz jego elementów wykonawczych, czyli bloków sterujących ruchem poszczególnych pojazdów podwodnych (rys.1). Niniejszy referat podejmuje problematykę doboru struktury bloków sterujących dla pojazdów podwodnych o różnej dynamice i różnej konfiguracji systemów napędowych.



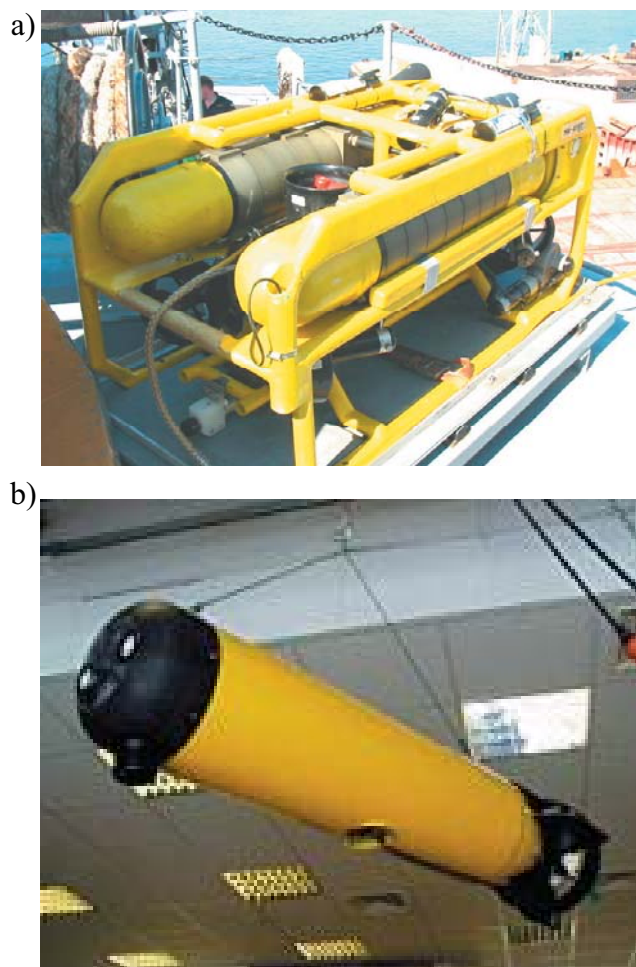
Rys.1. Schemat blokowy wieloagentowego systemu podwodnej inspekcji

Przed dokonaniem wyboru poprawnej struktury bloków sterujących należy przeanalizować konstrukcje pojazdów podwodnych pod kątem ich dynamiki i możliwości systemu napędowego.

## 2. ANALIZA KONSTRUKCJI POJAZDÓW PODWODNYCH WYKORZYSTYWANYCH W MW RP

W polskiej Marynarce Wojennej wykorzystywane są pojazdy podwodne, które można zaklasyfikować do jednej z dwóch rodzajów konstrukcji. Pierwszą z nich jest konstrukcja oparta na ramie nośnej o kształcie prostopadłościanu. Dość często wymiary wspomnianej ramy nośnej powodują, iż kształt pojazdu podwodnego jest zbliżony do sześciangu. Do ramy nośnej dołączany jest system napędowy oraz wyposażenie dodatkowe, np. kamery, manipulatory, lampy oświetleniowe, itp. w taki sposób, że wszystkie elementy zazwyczaj mieszczą się wewnątrz przestrzeni ramy nośnej. Systemy napędowe tak skonstruowanych pojazdów podwodnych składają się z systemu pędników działających w płaszczyźnie poziomej i pionowej. W płaszczyźnie poziomej umieszczone zostaje najczęściej od 3 do 4 pędników, które poprzez odpowiednio generowane napory dają możliwość sterowania ruchem liniowym w osi X i Y, czyli wzdłużnej i poprzecznej osi symetrii oraz ruchem obrotowym względem osi Z, czyli pionowej osi symetrii pojazdu [2]. Natomiast w płaszczyźnie pionowej umieszczone zostają zazwyczaj 1 lub 2 pędniki, które przede wszystkim dają siłę napędową w osi Z, a w przypadku 2 pędników mogą również generować moment obrotowy względem osi Y. Przykładem opisanego pojazdu jest zdalnie sterowany pojazd podwodny typu Ukwiągły [5], będący na wyposażeniu okrętów - niszczycieli min (rys. 2a).

Opisana konstrukcja oparta na ramie nośnej prostokątnej posiada porównywalne właściwości ruchowe w 3 osiach symetrii. Przedstawiony pojazd podwodny typu Ukwiąg (rys. 2a), może się poruszać na boki prawie tak samo szybko jak do przodu i do tyłu (tłumienie hydrodynamiczne ruchu w osi Y jest w przybliżeniu tylko dwukrotnie większe od tłumienia hydrodynamicznego ruchu w osi X). Natomiast tłumienie w osi Z jest o ok. 20% większe niż w osi Y, co przy niedużej dodatniej pływalności (ok. 17 N) daje szybkość zanurzania się porównywalną z szybkością ruchu w osi Y.



Rys.2. Zdalnie sterowany pojazd podwodny typu: a) Ukwiąg, b) Głuptak

Kolejną dużą grupę pojazdów podwodnych stanowią konstrukcje torpedopodobne. Ruch tego typu pojazdów można opisać w sposób uproszczony za pomocą hydrodynamiki walca poruszającego się w lepkim płynie. Torpedopodobne konstrukcje pojazdów podwodnych pojawiły się i mają szczególne zastosowanie w przypadku technologii AUV, gdzie pojazd pozbawiony został zasilającej go kabli, a obciążony dodatkowo bateriami akumulatorów. W przypadku ograniczonego źródła zasilania istnieje potrzeba minimalizacji tłumienia hydrodynamicznego, co zapewnia m.in. walcowaty kształt obiektów poruszających się pod powierzchnią wody. W przypadku pojazdów podwodnych torpedopodobnych system napędowy składa się zazwyczaj z 4 pędników poziomych usytuowanych w tylnej części (na rufie) oraz 1 pędnika pionowego usytuowanego w osi środka ciężkości i wyporu pojazdu. Przykładem ta-

kiej konstrukcji jest pojazd podwodny typu Głuptak [3] wdrażany na wyposażenie okrętów MW jako samobieżny ładunek do zwalczania min podwodnych (rys.2b).

Przedstawiony pojazd podwodny typu Głuptak (rys.2b), ze względu na prawie rząd wielkości większe tłumienie hydrodynamiczne w osi Y i Z od tłumienia w osi X porusza się efektywnie tylko do przodu, tzn. w kierunku wzdłużnej osi symetrii. W tym przypadku sterowanie ruchem obrotowym względem osi Z i Y, czyli kursem i przegłębieniem realizowane jest poprzez generowanie różnych prędkości obrotowych (a co z tym jest związane naporów) pędników poziomych usytuowanych na rufie.

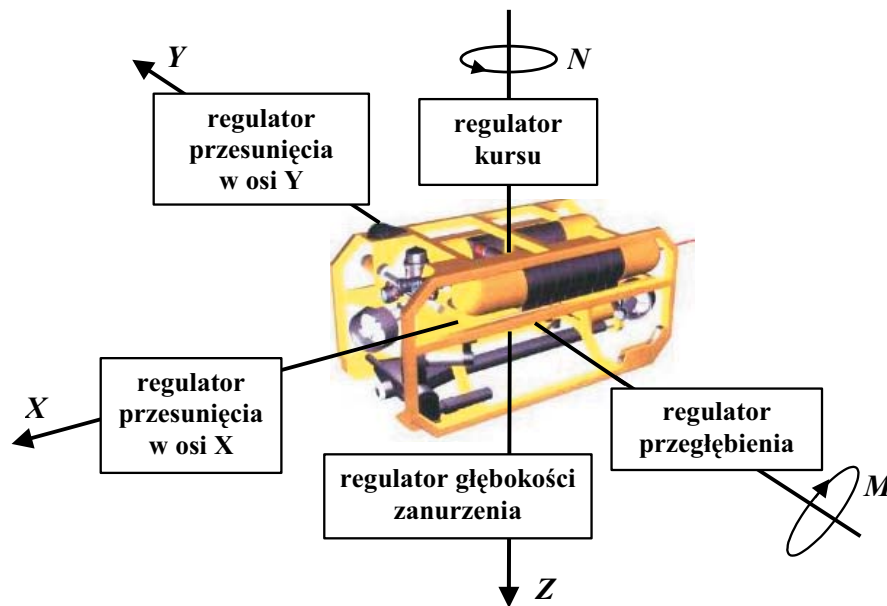
Ze względu na różną dynamikę, systemy napędowe i możliwości manewrowe wybranych robotów podwodnych, należy zastosować bloki sterujące o innej strukturze, co zostanie przedstawione w kolejnym rozdziale.

### 3. STRUKTURY BLOKÓW STERUJĄCYCH

#### 3.1. Struktura bloku sterującego ruchem pojazdu podwodnego typu Ukwiąg

Proponowany blok sterujący ruchem pojazdu podwodnego typu Ukwiąg składa się z 5 regulatorów (rys.3): kursu, przesunięcia w osi X, przesunięcia w osi Y i głębokości zanurzenia oraz dodatkowego regulatora przegłębienia, założonych na 5 stopniach swobody pojazdu, odpowiednio: momentu siły  $N$  względem osi Z, siły  $X$  w osi X, siły  $Y$  w osi Y i siły  $Z$  w osi Z oraz momentu siły  $M$  względem osi Y.

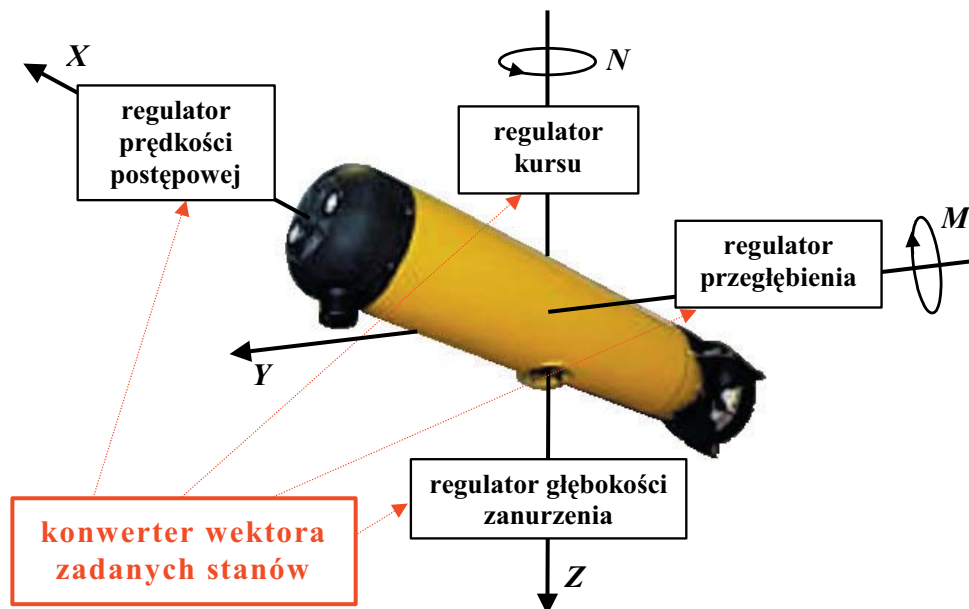
Zadane wartości regulowanych parametrów takich, jak zadany kurs, zadana współrzędna  $x$ ,  $y$  i  $z$  oraz zadane przegłębienie poszczególne regulatory otrzymują z systemu decyzyjnego (wektor zadanych stanów AUV – rys.1), natomiast aktualne wartości wymienionych wyżej parametrów bezpośrednio z pojazdu podwodnego (wektor stanu – rys.1).



Rys.3. Struktura bloku sterującego ruchem pojazdu podwodnego typu Ukwiąg

### 3.2. Struktura bloku sterującego ruchem pojazdu podwodnego typu Ukwiak

Proponowany blok sterujący ruchem pojazdu podwodnego typu Głuptak składa się z 4 regulatorów: kursu, przegłębienia, prędkości postępowej i głębokości zanurzenia oraz dodatkowego konwertera wektora zadanych stanów (rys.4). Zadaniem wspomnianego konwertera jest przekształcenie zadanych wartości współrzędnych położenia  $x$ ,  $y$  i  $z$  w określone wartości zadane kursu, przegłębienia i prędkości postępowej oraz dodatkowo głębokości zanurzenia w taki sposób, aby pojazd przemieścił się do zadanego przez system decyzyjny celu z możliwie najmniejszymi oporami ruchu. W tym celu pojazd torpedopodobny powinien poruszać się przede wszystkim w kierunku jego wzdłużnej osi symetrii.



Rys.4. Struktura bloku sterującego ruchem pojazdu podwodnego typu Głuptak

### 3.3. Struktura regulatorów parametrów ruchu

Dla celów regulacji parametrów ruchu, zaprezentowanych na rys.3 i rys.4 bloków sterujących przebadane zostały następujące typy regulatorów:

- 1) klasyczne PD,
- 2) rozmyte FPD – oparte na metodach logiki rozmytej,
- 3) ślizgowe – oparte na przełączaniu znaku funkcji w zależności od jej położenia w stosunku do tzw. powierzchni przełączającej,
- 4) neuro-fuzzy – regulatory rozmyte dostrajane przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych.

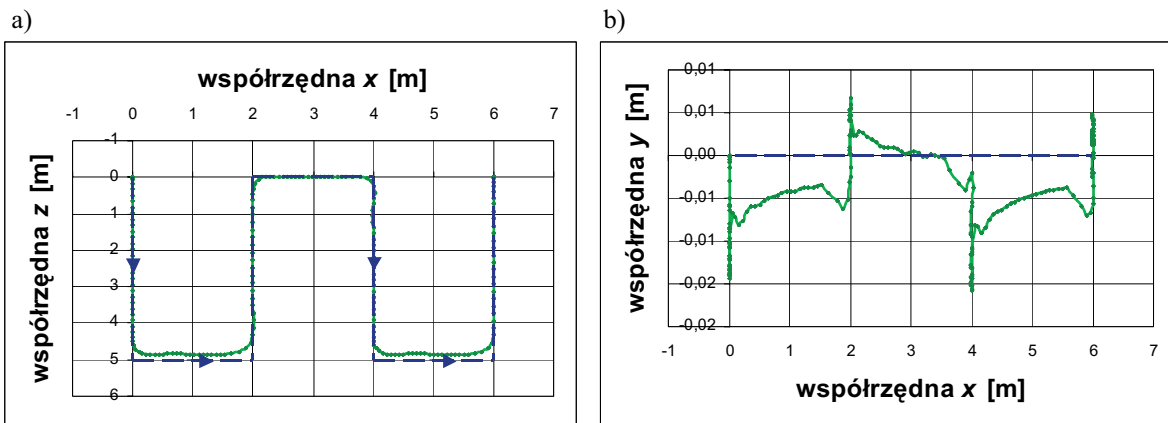
Wyniki działania wymienionych regulatorów prezentowane były we wcześniejszych publikacjach [4][5].

Na podstawie doświadczeń własnych można stwierdzić, że najlepsze wskaźniki jakości sterowania otrzymano dla regulatorów rozmytych FPD, charakteryzujących się nieliniową płaszczyzną sterowania i dużą odpornością na zakłócenia środowiska. Dlatego też zaprezentowane w kolejnym rozdziale wyniki badań symulacyjnych sterowania pojazdem podwodnym po zadanym torze zostały otrzymane w wyniku zastosowania regulatorów rozmytych.

#### 4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

Na rys.5 zaprezentowano wyniki sterowania pojazdem podwodnym typu Ukwiągł po zadanym torze, a na rys.6 pojazdem podwodnym typu Głuptak po zadanym torze odpowiednio w pionowej  $xz$  i poziomej płaszczyźnie  $xy$ .

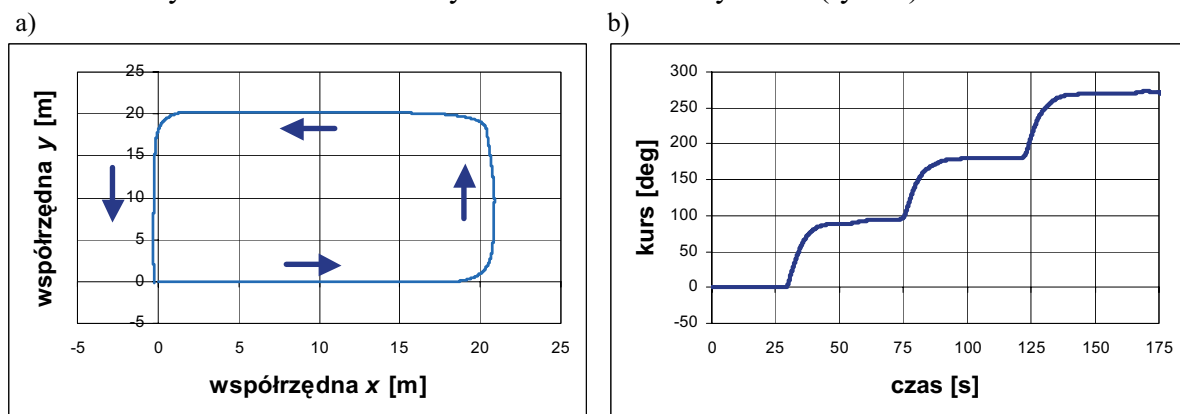
Na podstawie rys.5 można potwierdzić, że pojazd podwodny typu Ukwiągł (przedstawiciel konstrukcji opartej na ramie nośnej prostokątnej) ma porównywalne możliwości manewrowe zarówno w osi wzdłużnej jak i pionowej osi symetrii. Dlatego też tego typu pojazdy są z powodzeniem stosowane do inspekcji wszelkiego typu powierzchni pionowych (jak pokazano na rys.5a) i poziomych obiektów zanurzonych w wodzie. Jednocześnie sterowanie pojazdem podwodnym po zadanym torze w płaszczyźnie pionowej  $xz$  (rys.5a) charakteryzują niewielkie odchylenia obserwowane w płaszczyźnie poziomej  $xy$  (rys.5b).



Rys.5. Sterowanie pojazdem podwodnym typu Ukwiągł po zadanym torze w pionowej płaszczyźnie  $xz$ : a) realizowany tor ruchu, b) odchylenia w płaszczyźnie poziomej  $xy$

Natomiast pojazdy podwodne o konstrukcji torpedopodobnej wykorzystywane są do wszelkiego typu misji poszukiwawczych (przykładem jest pojazd podwodny Głuptak wykorzystywany do identyfikacji i niszczenia obiektów niebezpiecznych – min morskich).

Ze względu na swoje właściwości hydrodynamiczne nie są one w stanie na przeprowadzanie precyzyjnej inspekcji pionowych płaszczyzn. Posiadają one jednak, ze względu na dość dużą prędkość poruszania się, zdolność do szybkiego dotarcia do celu misji (rys.6a). Jednocześnie (jak pokazano na rys.6a) mogą być one sterowane automatycznie po zadanym torze, gdzie tor ruchu złożony z odcinków może wymuszać duże zmiany kursu (rys.6b).



Rys.6. Sterowanie pojazdem podwodnym typu Głuptak po zadanym torze w poziomej płaszczyźnie  $xy$ : a) realizowany tor ruchu, b) zmiany kursu na kolejnych odcinkach toru ruchu



## 5. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonej analizy dynamiki, konfiguracji systemów napędowych i właściwości manewrowych dwóch typów konstrukcji stosowanych w MW RP stwierdzono, że dla realizacji wieloagentowego systemu podwodnej inspekcji istnieje potrzeba opracowania różnych bloków sterujących dla różnych typów robotów podwodnych.

W referacie przedstawiono projekty bloków sterujących dla pojazdów podwodnych o konstrukcji opartej na ramie nośnej prostopadłościowej i o konstrukcji torpedopodobnej. Regulatory proponowanych bloków sterujących zostały dostrojone dla przedstawicieli obu konstrukcji, czyli odpowiednio dla: pojazdu podwodnego typu Ukwiągł i pojazdu podwodnego typu Głuptak. Przedstawione wyniki badań symulacyjnych potwierdzają poprawność przyjętych rozwiązań.

W kolejnym etapie badań nad wieloagentowym systemem podwodnej inspekcji należy zaprojektować i dostroić system decyzyjny.

## BIBLIOGRAFIA

1. Fossen T.I., "Guidance and Control of Ocean Vehicles", John Wiley & Sons Ltd., 1994.
2. Kubaty T., Rowiński L.: Mine counter vehicles for Baltic navy, internet, <http://www.underwater.pg.gda.pl/publikacje>.
3. Rowiński L., „Opis rozwiązań technicznych analizowanych dla Samobieżnego Ładunku Niszczącego”, Sprawozdanie z pracy badawczej, Politechnika Gdańska, Katedra Techniki Głębiny, Gdańsk 2002.
4. Szymak P., "Automatic control of Self propelled Mine Counter Charge along desired trajectory", Proceedings of the XV-th International Scientific and Technical Conference "The Role of Navigation in Support of Human Activity on the Sea", Gdynia 2006, p. 299-307.
5. Szymak P., "Using of fuzzy logic method to control of underwater vehicle in inspection of oceanotechnical objects", Artificial Intelligence and Soft Computing, Polish Neural Network Society, Warsaw 2006, p. 163-168.
6. Wooldridge M., "Introduction to MultiAgent Systems", John Wiley & Sons, 2002.