

Adam Olejnik

kmdr dr inż. Adam Olejnik
Zakład Technologii Prac Podwodnych
Akademia Marynarki Wojennej
ul. Śmidowicza 69, 81-103 Gdynia
+48 58 6262746
a.olejnik@amw.gdynia.pl

**TAKTYKA DZIAŁANIA BEZZAŁOGOWEGO POJAZDU
PODWODNEGO ROV Z POKŁADU BEZZAŁOGOWEJ ŁODZI
POWIERZCHNIOWEJ W ZADANIACH INSPEKCJI PODWODNEJ**

W artykule przedstawiono dwa przykładowe algorytmy działania pojazdu głębinowego typu ROV współpracującego z bezzałogowym pojazdem powierzchniowym (USV) w zadaniach inspekcyjnych. Algorytmy opracowano w ramach projektu rozwojowego Nr O R00 0106 12 wykonywanego przez konsorcjum naukowo-przemysłowe składające się z Polsko-Japońskiej Wyższej Szkoły Technik Komputerowych, Akademii Marynarki Wojennej i przedsiębiorstwa Sprint S.A. Projekt przewiduje zbudowanie demonstratora technologii autonomicznej łodzi powierzchniowej wypełniającej zadania związane z ochroną perymetryczną i jednocześnie spełniającej rolę nosiciela dla zdalnie sterowanego pojazdu głębinowego typu ROV. Wszystkie opracowane w ramach projektu algorytmy obejmują inspekcję obiektów podwodnych wybranych w oparciu o klasę projektową wykorzystanej w projekcie łodzi USV i prawdopodobieństwo wystąpienia określonej klasy obiektu podwodnego w konstrukcyjnym rejonie jej pływania. Jako jednostkę bazową dla pojazdu ROV wykorzystano zbudowany w ramach innego projektu pojazd USV, a jako jednostkę inspekcyjną pojazd ROV typu LBV 200².

Słowa kluczowe: *technologia prac podwodnych, ochrona perymetryczna, bezzałogowy pojazd podwodny, bezzałogowy pojazd powierzchniowy.*

WSTĘP

Wydarzenia ostatnich 10 – 15 lat zmieniły całkowicie optykę postrzegania bezpieczeństwa morskiego państwa [3]. Każdy z morskich ataków współczesnego terroryzmu pokazuje dobitnie jak bardzo globalne i wielomodalne jest to zagrożenie. Obecnie aktywiści al.-Kaidy uważają, że infrastruktura portowo-przeładunkowa, statki oraz platformy wiertnicze itp. to przysłowiowy „miękki brzuch” cywilizacji zachodniej, który można łatwo zaatakować lub choćby spowodować jego czasową dysfunkcję ograniczając w ten sposób potencjał obronny lub gospodarczy atakowanego [4]. Ogłoszono nawet groźbę ataków na elektrownie jądrowe położone blisko wybrzeży i porty przeładunkowe, co zmusiło Departament Obrony USA do wprowadzenia dodatkowych środków ostrożności. Środki te wprowadzono w nawiązaniu do pozyskanego przez amerykańców podręcznika al.-Kaidy zalecającego ataki terrorystyczne na pełnym morzu, porywanie statków i ich załóg oraz szerokie wykorzystanie technik nurkowych podwójnego przeznaczenia do ataków na porty [5]. Symptomatyczne w tym przypadku jest ujawnienie przez władze holenderskie faktu, że na terytorium tego kraju w jednym z centrów nurkowych przeszkolono grupę nurków z zasad wykorzystania aparatów nurkowych o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego. Jak się okazało kilku z nich miało już wcześniej wyroki sądowe w Maroku za ataki terrorystyczne na statki amerykańskie w Cieśninie Gibraltarskiej. Była to nurkowa bojówka al.-Kaidy przygotowywana do skrytego podejścia do rejonów portowych i ataków na statki oraz infrastrukturę portowo-przeładunkową.

Mniej więcej w tym samym czasie w USA zaobserwowano kilka niewytłumaczalnych zdarzeń z udziałem nurków: np., w rejonie elektrowni atomowej odkryto ciało nieżywego nurka, który nie był obywatelem amerykańskim i nikt wcześniej nie zgłosił jego zaginięcia. Natomiast w pobliżu bazy Straży Przybrzeżnej wykryto czterech niezidentyfikowanych nurków. W innym rejonie świata, w Izraelu, w porcie Tel Kalifa czterech nurków terrorystów przedostało się na teren portu i po wyjściu z wody zaatakowało jego obsługę. Zgodnie z raportami International Maritime Bureau w pierwszych trzech kwartałach roku 2011 na całym świecie odnotowano 352 incydenty związane z napaścią piratów na statki, tj. ponad dwukrotnie więcej niż w porównywalnym okresie roku 2010 (126 incydentów). A w roku 2012 do dnia 31 stycznia odnotowano już 37 incydentów, obecnie 10 statków znajduje się w rękach piratów somalijskich (ICC Commercial Crime Services – Piracy News & Figures [18]).

To tylko kilka przykładów pokazujących jednak, że pojawiła się nowa taktyka działania organizacji terrorystycznych oraz, że obecnie zaciera się granica pomiędzy „tradycyjnym” piractwem morskim, a terroryzmem. Powoduje to, że Departament Marynarki Wojennej USA zaleca nowe podejście do ochrony akwenów podejściowych do portów oraz akwatorium portowych zalecając zastosowanie wysokospecjalizowanych urządzeń, w tym pojazdów głębinowych typu microROV i miniROV oraz sonarów [5,12]. To podejście powoduje zmianę optyki postrzegania ochrony własnych portów, gdzie główny nacisk kładzie się nie na obronę przed zmasowanym atakiem armii potencjalnego przeciwnika, a pod uwagę bierze się raczej zagrożenia asymetryczne.

Również w Polsce można zauważyć podobne podejście do zagadnień bezpieczeństwa. Zakłada się, że w czasie najbliższych trzech dekad przeciwnikiem przyszlých Sił Zbrojnych RP nie będzie regularna armia dysponująca kompleksowymi systemami uzbrojenia tylko transnarodowe oddziały partyzanckie i paramilitarne, najemnicy oraz oddziały rebelianckie wykorzystujące do walki również dzieci [13]. Głównym uzbrojeniem tego przeciwnika będą lekkie zestawy przeciwlotnicze, małokalibrowa artyleria, broń strzelecka i improwizowane ładunki wybuchowe.

INTRODUCTION

The events of the last 10 – 15 years entirely changed the perception of marine safety [3]. Each naval assault of modern terrorism explicitly shows what a global and multi-modal threat this is. Currently, al-Qaeda activists believe that port and transshipment infrastructure, ships and drilling platforms, etc. are the soft spot of western civilisation which are particularly easy to attack or at least cause their temporary dysfunction, thus limiting the defensive or economic potential of the country under assault [4]. There has even been an announcement concerning the threat of attacks on power plants located near the transshipment coasts and harbours which led the US Department of Defence to implement certain additional precautions. The said measures were introduced in relation to an al-Qaeda manual seized by Americans, which recommended terrorist attacks at full sea, hijacking of ships together with their crews, as well as broad application of dual purpose diving techniques in attacks on ports [5]. What is symptomatic in this case is the revelation by Dutch authorities of the fact that in that country one of the diving centres had trained a group of divers on the principles of use of a semi-closed circuit re-breather. As it was revealed, several of the trainees had already been convicted in Morocco for terrorist attacks on American ships in the Strait of Gibraltar.

These individuals were al-Qaeda's diving militia, preparing to carry out a secret approach to port regions and attacks on ships and ports as well as transshipment infrastructure. More or less at the same time, several inexplicable incident involving divers were observed in the USA: e.g. a diver's body was retrieved in the proximity of a power plant, a non-American, whose disappearance had not been reported. Moreover, four unidentified divers were detected near a coast guard base. In a different region of the world, in Israel's Tel Kalifa port, four terrorist divers managed to enter the port and assault its staff. In accordance with the report of the International Maritime Bureau, in the first three quarters of 2011, 352 incidents related to pirate' attacks on ships were noted all over the world, i.e. twice as many as compared with the similar period in the previous year (126 incidents). In 2012, on the other hand, already by January 31st 37 such incidents were reported, and at the moment 10 ships are still in the captivity of Somali pirates (ICC Commercial Crime Services – Piracy News & Figures [18]). These are only several examples indicating new operational tactics of terrorist organizations, proving that at present the line between 'traditional' piracy and terrorism is fading. The result of this is that the Department of US Navy recommends a new approach to the protection of access waterways to ports and port aquatories by proposing the use of highly specialized devices, including underwater vehicles type microROV and miniROV and sonar [5,12]. This approach causes a change in the perception of protection of ports, where the main stress is not placed on the security against mass attacks of armies of potential opponents, but rather on asymmetric threats.

Also in Poland we may notice a similar approach to safety issue. It is assumed that over the next three decades the opponent of the future Armed Forces of the Republic of Poland will not be a regular army equipped in complex armament systems but transnational guerrilla and paramilitary squads, mercenaries and rebel forces also using children for fighting [13]. The main armament of such an opponent will consist of light anti-aircraft kits, small calibre artillery, shotguns and improvised explosives. The enemy will not observe the standards resulting from the provisions of humanitarian law concerned with military conflicts, but rather attack people and objects that are protected by international law, including port and transshipment infrastructure, etc.

Przeciwnik ten nie będzie przestrzegał norm wynikających z zapisów prawa humanitarnego konfliktów zbrojnych, natomiast będzie atakował osoby i obiekty chronione prawem międzynarodowym, w tym infrastrukturę portowo-przetłokową itp. W działaniach będzie wykorzystywane szerokie spektrum środków – materiały wybuchowe, przenośne środki rażenia, zdalnie detonowane ładunki improwizowane, wcześniej uprowadzone cywilne lub wojskowe statki powietrzne, pojazdy mechaniczne oraz jednostki pływające. Przewiduje się, że akcje przeciwnika będą cechowały działania w małych formacjach lub grupach bojowych, mocno zdecentralizowanych i wykonujących zadania w rozproszeniu. Na tego typu zagrożenia powinna być przygotowana Marynarka Wojenna RP.

W perspektywie najbliższych 30 lat trzonem sił okrętowych naszej floty mają być wielozadaniowe korwety¹, a ciężar obrony przeciwminowej będzie spoczywał na jednostkach pływających wyposażonych w bezzałogowe pojazdy głębinowe. Natomiast wielomodalne systemy obserwacji nawodnej i podwodnej będą wykorzystywane do obrony baz morskich i portów oraz szlaków komunikacyjnych. Wyzwania te znajdują już odzwierciedlenie w dokumentach Ministerstwa Obrony Narodowej [9]. Oznacza to, że w perspektywie najbliższych 25 – 30 lat coraz większego znaczenia będzie nabierać podział sił zbrojnych według określonych, funkcjonalnych zestawów sił o połączonym charakterze wyposażonych dość szeroko w autonomiczne lub zdalnie sterowane środki techniczne. W przypadku marynarki wojennej będą to między innymi bezzałogowe pojazdy głębinowe, co raz częściej należące do klas micro i mini.

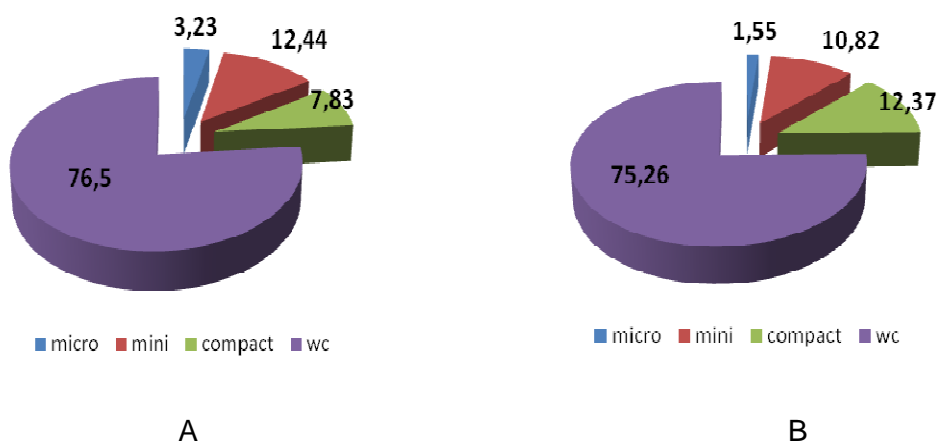
Pojazdy głębinowe tego typu to obiekty oceanotechniczne, które pojawiły się stosunkowo niedawno w technice bezzałogowych pojazdów podwodnych. Ich konstrukcje wyodrębniły się z klasy LC (low cost) w drugiej połowie lat 90-tych XX wieku [8]. Sposób nowej klasyfikacji nie jest związany z ceną jednostkową pojazdu tylko masą: klasa micro to pojazdy o masie w powietrzu do 10 kg, klasa mini to pojazdy o masie od 10 do 50 kg w powietrzu. W obrębie klasy LC funkcjonuje również trzecia podklasa o nazwie compact, są to pojazdy o masie w powietrzu powyżej 50 kg, ale nie przekraczającej 150 kg. Natomiast wszystkie pojazdy o masie powyżej 150kg są klasyfikowane jako tzw. work class (WC ROV). Obecnie największą dynamikę wzrostu udziału w eksploatowanych na świecie pojazdach ROV można zaobserwować właśnie w klasie miniROV. W roku 2009 udział tej klasy w rynku sprzedanych pojazdów na świecie wynosił 1,55%, natomiast w roku 2011 osiągnął już wskaźnik 3,23% (Rys. 1). Mniej dynamiczny wzrost można zaobserwować w klasie mini, z 10,82% w roku 2009 do 12,44% w roku 2011. Natomiast klasy mini i micro łącznie w roku 2009 stanowiły niecałe 13% eksploatowanych pojazdów ROV na świecie, a po dwóch latach odsetek ten wyniósł już niemal 16%. W przypadku pojazdów klasy compact w tym samym okresie nastąpił spadek o około 5%, a w klasie WC nieznaczny wzrost o około 1,2%. Oznacza to, że obecnie segment pojazdów miniROV i microROV to konstrukcje, którymi najbardziej interesują się potencjalni użytkownicy.

¹ Stan wg. doktryny na rok 2008.

The operations will employ a wide spectrum of means – explosive materials, portable weapons of destruction, remotely detonated improvised charges, previously hijacked civilian or military aircraft, motor vehicles and vessels. It is anticipated that the actions will be characterised by operations performed by small military formations or groups, highly decentralized and carrying out their tasks in dispersion. The Polish Navy should be prepared to respond to such threats. In the prospect of the next 30 years the core of our fleet is to consist of multi-task corvettes¹, whereas the countermine defence will be based on vessels equipped in unmanned underwater vehicles. The defence of marine bases, ports and communication routes, on the other hand, will be performed with the use of multi-modal surface and underwater observation systems. These challenges find a reflection in the documents of the Ministry of National Defence [9]. This means that within the next 25 – 30 years the importance of the division of armed forces according to specified functional sets of a combined character, equipped in a broad scope of autonomous or remotely operated technical means will significantly grow. In the case of the navy this means, among other things, unmanned underwater vehicles, with an increasing application of micro and mini classes.

Underwater vehicles of this type originate from technology utilized in the ocean engineering sector, and are relatively new to the field of unmanned underwater vehicle technology. Their construction has been isolated from LC class (low cost) in the second half of the 1990s [8]. The new classification is not related to the unit price of a vehicle but its mass: the micro class encompasses vehicles with a weight in the air of up to 10 kg, the mini class includes vehicles with a weight of between 10 and 50 kg in the air. The LC class encompasses also a third subclass with the so-called 'compact' vehicles including vehicles with a mass in the air over 50 kg, however not exceeding 150 kg. All the vehicles with the weight exceeding 150 kg are classified as the so-called work class (WC ROV). At present the highest growth dynamics in ROV use in the world may be observed in the miniROV class. In 2009 the share of this class in the market of such vehicles sold in the world was estimated at 1.55%, whereas in 2011 it already reached 3.23% (Fig. 1). A less dynamic growth may be noted in the mini class, with the index of 10.82% in 2009, growing to 12.44% in 2011. The combined class of mini and micro vehicles, on the other hand, constituted less than 13% of the ROVs used in the world, but after two years the index reached almost 16%. In the case of compact class vehicles, in the same period there was a decrease by nearly 5%, and in the WC class a slight increase of ca. 1.2%. This means that currently the sector of miniROVs and microROVs is the sector most desired by potential users.

¹ As of 2008.



Rys. 1. Procentowy udział poszczególnych klas pojazdów w liczbie jednostek głębinowych eksploatowanych na świecie w roku 2011 (A) i 2009 (B)².

Ten stan rzeczy wynika z bardzo prostego faktu. Pojazdy klasy mini i micro w standardowej konfiguracji to urządzenia stosunkowo tanie w porównaniu z innymi pojazdami głębinowymi typu ROV, a w związku z powyższym są o wiele bardziej dostępne dla szerokiej gamy potencjalnych użytkowników. Ponadto zastosowanie pojazdów ROV w pracach podwodnych przyczynia się do wzrostu efektywności realizowanych prac. Współczynnik efektywności dla nurka pracującego na głębokości 80 metrów i wykorzystującego do oddychania mieszaninę trimiksovą (azot-tlen-hel) z maksymalnym czasem pobytu na dzień 15 minut wynosi około 9%. Co oznacza, że tylko 9% całkowitego czasu nurkowania to czas efektywny spożytkowany na wykonanie pracy. Pozostały czas nurkowania został wykorzystany na zanurzenie do głębokości operacyjnej i dekompresję. Tymczasem dla pojazdu ROV pracującego na tej samej głębokości współczynnik ten wyniesie około 80% [17]. Porównanie tych współczynników dla tej głębokości operacyjnej może wydawać się nieco tendencyjne, ponieważ nurek w tym przypadku wymaga realizacji procesu dekompresji, a pojazd nie. Niestety wartości współczynników efektywności dla małych i średnich głębokości oraz dla różnych czynników oddechowych i porównanie ich z współczynnikiem dla technologii z zastosowaniem ROV, również nie są korzystne dla techniki nurkowej. Oczywiście nie oznacza to zaniku technik nurkowych w dającej się przewidzieć perspektywie. Raczej technologie podwodne będą rozwijać się dwutorowo, obok nurkowych równolegle będą występować rozwiązania tzw. „*diverless technology*” – bezzałogowe, co dziś przejawia się między innymi tak znaczną popularnością pojazdów ROV [8].

Z powyższych powodów pojazdy te znajdują szereg zastosowań poniekąd tradycyjnych, ale w nowych konfiguracjach, jak na przykład pojazd inspekcyjny współpracujący z bezzałogową nawodną jednostką pływającą. Między innymi takie zadanie zostało postawione przed wykonawcami projektu rozwojowego pt.: „*Zintegrowany system planowania perymetrycznej ochrony i monitoringu morskich portów i obiektów krytycznych oparty o autonomiczne bezzałogowe jednostki pływające*” (projekt Nr O R00 0106 12). Projekt przewiduje zbudowanie demonstratora autonomicznej łodzi powierzchniowej wypełniającej zadania związane z ochroną perymetryczną i jednocześnie spełniającej rolę nosiciela dla zdalnie sterowanego pojazdu głębinowego typu ROV [14] (rys. 2).

² Badania własne na podstawie Raportów publikowanych przez Claracson Research Services Ltd [8, 10, 11].

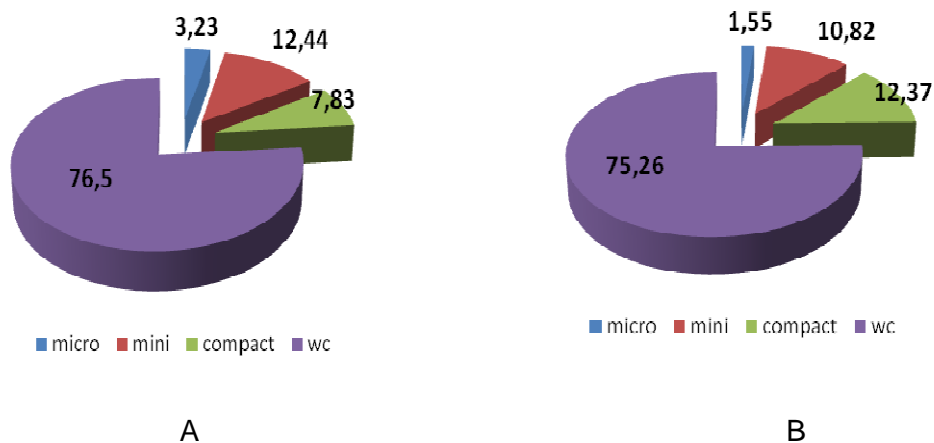


Fig. 1. Percentage share of particular vehicle classes used in the world in the years 2011 (A) and 2009 (B)³.

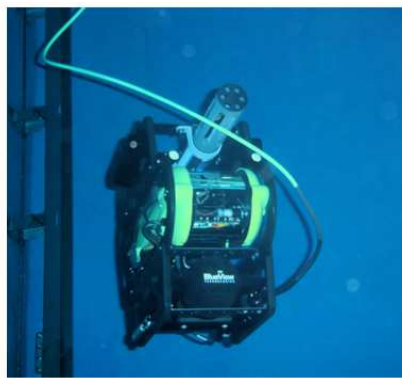
This situation results from a very simple fact. Mini and micro class vehicles in a standard configuration are relatively cheap as compared with other submersible type ROVs, and, consequently their availability to a wide range of potential users is very high. Moreover, the use of ROVs in underwater works contributes to the increase in efficiency realized in this sector. The efficiency rate for a diver working at the depth of 80 metres and using a trimix breathing mixture (nitrogen-oxygen-helium) with a maximum stay time at the bottom of 15 minutes reaches ca. 9%. This means that only 9% of the entire diving time constitutes an effective time used to perform the intended works. The remaining diving time in this scenario is used on the descent to the operational depth and the subsequent decompression. Meanwhile, for an ROV working at the same depth the said rate reaches ca. 80% [17]. Comparing these rates for this operational depth may seem somewhat biased, as a diver in this case needs to undergo the decompression process whereas the vehicle does not. Unfortunately, efficiency rate values for small and medium depths and various breathing mixes, when compared with ROV technology, are also unfavourable with regard to the traditional diving techniques. Of course this does not mean that the necessity for human divers is going to vanish any time soon. It is more likely that underwater technologies will be developed in two ways.

Parallel to diving solutions there will be the so-called “diverless technology” – unmanned, what is nowadays reflected in the high popularity of ROVs [8]. Due to the above reasons these vehicles are able to serve as a number of traditional solutions, but also in new configurations, as for instance inspection vehicles working in cooperation with an unmanned surface vessel. Such a task was presented among others to the executors of the development project entitled: “Integrated system for planning parametric protection and monitoring of sea ports and critical objects based on autonomous unmanned vessels” (project No. O R00 0106 12). The project encompassed the construction of a demonstrative autonomous surface boat fulfilling the tasks related to parametric protection and, at the same time, serving as a carrier for a remotely operated submersible type ROV [14] (fig. 2).

² Own research based on Reports published by Clarkson Research Services Ltd. [8, 10, 11].



A



B

Rys. 2. Bezzałogowa łódź powierzchniowa Ededron (A) i pojazd ROV (B) planowany do zamontowania na jej pokładzie w ramach projektu Nr O R00 0106 12 (zdjęcie lewe: dzięki uprzejmości Sportis S.A., prawe – badania własne).

Pojazd ten będzie wykorzystywany do wykonywania misji związanych z inspekcją podwodną. Jest to faktyczna realizacja zadania z harmonogramu projektu pt.: *Opracowanie algorytmów wspomagania planowania misji połączonych z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji, działanie pod nazwą Opracowanie taktyki działania i wykorzystania pojazdu ROV w zadaniach inspekcyjnych*. Ta część zadania wykonywana jest przez zespół pracowników naukowych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni z Zakładu Technologii Prac Podwodnych.

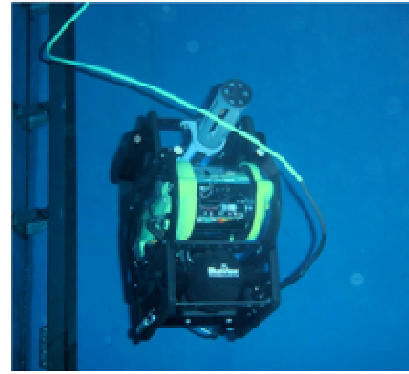
Pojęcie inspekcji podwodnej obejmuje nadzór lub dozór i jest formą kontroli zewnętrznej obiektu podwodnego [7]. Klasyczny podręcznik inspekcji podwodnej (Hoywood i Matters: „*Underwater Inspection*” USA 1986 r.) definiuje ją jako: „(...) dogodną formę nadzoru nad kontynuacją budowy obiektu podwodnego i przeglądu jego struktury podczas eksploatacji” [1]. W tym przypadku zadanie inspekcyjne należy rozumieć przegląd wizyjny obiektu podwodnego wykonany za pomocą systemu telewizyjnego zamontowanego na pokładzie pojazdu głębinowego typu ROV. Niezależnie od klasy badanego obiektu podwodnego zadanie takie będzie składało się ze stałych i podstawowych elementów, takich jak:

- wodowanie pojazdu ROV,
- dojście do badanego obiektu,
- wykonanie misji (inspekcji),
- powrót do jednostki powierzchniowej (bazowej),
- wydobycie pojazdu z wody.

Wodowanie i wydobycie pojazdu z wody to elementy zadania, których przebieg jest uzależniony od konstrukcji systemu wodowania i podnoszenia z wody zamontowanego na jednostce powierzchniowej. Powrót do jednostki bazowej jest uzależniony od aktualnych warunków hydrometeorologicznych i głębokości operacyjnej pojazdu oraz odległości od jednostki bazowej. W tym przypadku znajdują zastosowanie standardowe procedury wyuczone podczas podstawowych kursów kwalifikacyjnych na specjalność operatora pojazdu głębinowego typu ROV. Natomiast dojście do badanego obiektu i wykonanie misji inspekcyjnej jest ściśle powiązane z klasą badanego obiektu podwodnego. Przyjęte sposoby klasyfikowania obiektów podwodnych szeroko opisano w publikacjach [6,7]. Natomiast dla potrzeb realizowanego projektu rozwojowego opracowano szereg algorytmów współpracy pojazdu ROV z pojazdem USV (unmanned surface vehicle), np. takich jak inspekcja obiektu humanoidalnego, zatopionego technicznego, zanurzonego częściowo lub hydrotechnicznego itp.



A



B

Fig. 2. Un unmanned surface boat Ededron (A) and an ROV (B) to be installed on its deck within the project No. O R00 0106 12 (photo on the left: by courtesy of Sportis S.A., on the right – own research).

The vehicle will be used to perform missions related to underwater inspection. This is an actual realization of a task from the schedule of the project entitled: Preparation of algorithms supporting mission planning combined with the use of artificial intelligence methods, an activity called Preparation of operation tactics and the use of ROV in inspection tasks. This part of the task is carried out by a team of research workers of the Polish Naval Academy in Gdynia, the Department of Underwater Works Technology.

The term of an underwater inspection encompasses supervision and is a form of an external control of an underwater object [7]. A classical underwater inspection manual (Hoywood and Matters: "Underwater Inspection" USA, 1986) defines it as: "[...] a convenient form of supervision regarding the continuation of works on an underwater object and an inspection of its structure during use" [1]. In this case an inspection task should be understood as a visual inspection of an underwater object performed with the use of a television system mounted on the deck of an underwater vehicle type ROV. Irrespective of the class of an object under inspection the task will always cover three basic elements, such as:

- launching of an ROV,
- approaching the researched object,
- carrying out of a mission (inspection),
- returning to the surface vessel (base),
- retrieving the vehicle from water.

The launch and retrieval of the vehicle from the water are task elements whose completion depends on the construction of the launch and lift system mounted on the surface vehicle. Return to the base vessel depends on current hydro-meteorological conditions and the vehicle's operational depth and distance from the base vessel. In such a case the applicable procedures are standard procedures learned during basic qualification courses for an operator of a submersible type ROV. However, the technique for approaching an object under inspection, and ultimately carrying out the task of inspection is dependent on the classification of the underwater object. The adopted classification of underwater objects has been widely discussed in various publications [6,7]. However, for the needs of the realized development project, a number of algorithms for the cooperation of an ROV with a USV (unmanned surface vehicle) have been prepared, e.g. such as an inspection of humanoid, technically sunken, partially submerged or hydrotechnical objects, etc.

W artykule przedstawiono dwa przykładowe: inspekcja obiektu humanoidalnego i hydrotechnicznego.

1. INSPEKCJA PODWODNEGO OBIEKTU HUMANOIDALNEGO ZA POMOCĄ POJAZDU ROV DZIAŁAJĄCEGO Z POKŁADU POJAZDU TYPU USV.

W większości przypadków przedsięwzięcia tego typu są realizowane na zlecenie organów ścigania. Od ich wyników niejednokrotnie zależy dalszy los osoby występującej podczas postępowania karnego w charakterze podejrzanego. Z tego powodu kierownik odpowiedzialny za przebieg i realizację prac musi być przygotowany na merytoryczne i wyczerpujące wyjaśnienia składane na sali sądowej. Stąd też zagadnienia te są niezwykle ważne, a ich znajomość jest istotna dla specjalistów występujących w takich przypadkach w roli biegłego. W tym charakterze mogą tu wystąpić zarówno specjaliści od technologii prac podwodnych jak i fizjopatolodzy lub anatomopatolodzy. Zagadnienia związane z tego typu działalnością i zalecana w tym przypadku metodyka postępowania zostały opisane w różnych publikacjach na łamach między innymi czasopisma Polish Hyperbaric Research [15, 16]. W niniejszym opracowaniu zakłada się, że przeznaczony do inspekcji obiektu humanoidalnego pojazd ROV jest przenoszony w rejon działania za pomocą pojazdu USV (unmanned surface vehicle), który w części może zadanie wykonać autonomicznie. Natomiast pozycja zalegania obiektu wytypowanego do inspekcji jest wskazana na podstawie innych działań związanych z jego wcześniejszą lokalizacją i poszukiwaniami. Etapy podwodnych prac poszukiwawczych oraz ich algorytm przedstawiono w [15].

Najprościej zadanie powyższe należy realizować według algorytmu pokazanego na Rys. 3. Jest to ogólny algorytm realizacji zadania bez uwzględnienia sytuacji awaryjnych. Algorytm jest powiązany z czterema innymi niezależnymi procedurami: *podwodne prace poszukiwawcze* (dana wejściowa do algorytmu: pozycja obiektu), *rozpoznanie meteo* (dana wejściowa do algorytmu: prognoza pogody), *postępowanie przygotowawcze* (ma wpływ na postprocessing danych) i *procedury awaryjne* (ma wpływ na przebieg zadania – opisane oddzielnie). Algorytm przewiduje rozpoczęcie realizacji poprzez wprowadzenie danych dotyczących pozycji geograficznej przewidzianego do inspekcji obiektu.

Przed rozpoczęciem misji należy zweryfikować prognozę pogody i sprawdzić, czy po jej rozpoczęciu warunki pogodowe w rejonie działania nie zmienią się i pozwolą na wydobycie pojazdu ROV z wody po wykonaniu zadania. Przejście jednostki bazowej (w tym przypadku pojazd typu USV) w rejon działania z aktualnej pozycji może się odbywać w trybie automatycznym lub zdalnym. Samo wykonanie zadania powinno być realizowane w trybie sterowania zdalnego. Po dojściu do rejonu działania jednostka bazowa powinna być ustawiona dziobem do fali, co pozwoli na bezpieczne wodowanie pojazdu ROV.

Zanim to jednak nastąpi, należy opuścić głowicę systemu nawigacji podwodnej (USBL) i za pomocą odbiornika DGPS oraz wprowadzonych danych o pozycji obiektu należy oszacować względne pozycje USV i obiektu humanoidalnego (USBL nie wskaże pozycji badanego obiektu). Po zwodowaniu pojazdu ROV jednostka bazowa powinna utrzymywać pozycję względem badanego obiektu w promieniu 20 metrów w płaszczyźnie poziomej. Jest to warunek konieczny do dopłynięcia pojazdu ROV do badanego obiektu (Rys. 5). Jeśli głębokość zalegania obiektu badanego jest większa niż 50 metrów słupa wody, promień ten powinien być mniejszy.

The article presents inspections of two exemplary objects: humanoid and hydrotechnical.

1. INSPECTION OF AN UNDERWATER HUMANOID OBJECT WITH THE USE OF AN ROV OPERATING FROM THE DECK OF A VEHICLE TYPE USV.

In the majority of cases such undertakings are realized on commission of law enforcement agencies. Their results often decide on the fate of a person acting as a suspect in criminal proceedings. The supervisor responsible for the course and realization of works must be prepared to provide full and profound explanations in a court of law. Hence, these issues are of great significance and the knowledge of them is crucial for specialists acting as legal experts. This role may be adopted by both specialists in underwater works technology and pathophysiology or anatomopathology. Issues related to this type of activity with the recommended methodology have been discussed in various publications, including the articles of the Polish Hyperbaric Research magazine [15, 16].

In this paper it is assumed that the ROV used in the inspection of a humanoid object will be transferred to the region of operation with the use of a USV (unmanned surface vehicle), which in part may perform the task autonomously. The position of an object selected for inspection, on the other hand, is indicated based on other activities related to its location and search. The stages of underwater search works and their algorithm have been presented in [15].

The simplest way to realize the above task is to proceed according to the algorithm presented in Fig. 3. This is a general algorithm for task realization without considering emergency situations. The algorithm is combined with four other independent procedures: underwater search works (an input datum to the algorithm: object position), meteorological identification (an input datum to the algorithm: weather forecast), preparatory procedure (having an impact on data post-processing) and emergency procedures (having an impact on task realization – described separately). The algorithm allows task realization commencement by entering data concerned with the geographic location of the object subject to inspection.

Before mission commencement it is necessary to verify the weather forecast and check whether afterwards the weather conditions in the region of operation will change and allow the retrieval of the ROV from the water upon task completion. Transfer of the base vessel (in this case a USV) to the operational region from its current position may be performed either in an automatic or remote mode. The task itself should be realized in a remote operation mode. After reaching the operational region the base vessel should be positioned with the bow facing the wave which will allow the safe launch of the ROV. Before this happens, however, the navigational system head (USBL) should be lowered and the relative positions of the USV and the humanoid object determined with the use of a DGPS receiver (USBL will not indicate the position of the researched object). After launching the ROV, the base vessel should maintain its position in relation to the researched object in a horizontal radius of 20 metres. This is a necessary condition to guarantee the ROV reaches the target object (Fig. 5). Should the depth of the object exceed 50 metres the radius must be lowered.

Po zwodowaniu pojazdu ROV należy przeprowadzić kontrolę systemu nawigacji podwodnej i sprawdzić, czy system prawidłowo wskazuje pozycję jednostki głębinowej. Jeśli ta operacja potwierdzi prawidłowe działanie systemu USBL można przystąpić do czynności dochodzenia pojazdu ROV do miejsca zalegania obiektu na podstawie wskazań systemu USBL. Jeśli nie, należy w celu oszacowania względnych pozycji ROV i obiektu wykorzystać sonar nawigacyjny zamontowany na pokładzie pojazdu ROV.

Najczęściej jest to możliwe dopiero po zanurzeniu pojazdu na głębokość operacyjną. Jeśli sonar „widzi” obiekt humanoidalny, a jest to uzależnione od takich czynników jak na przykład powierzchnia odbicia zależna od usytuowania obiektu względem głowicy sonaru lub grubości warstwy miękkiej dna (wielkość osadów dennych), to operator pojazdu za pomocą oprogramowania sonaru może wyznaczyć kąt kursowy pojazdu do pozycji zalegania obiektu humanoidalnego od pozycji aktualnie zajmowanej przez pojazd. Jeśli pomiędzy obiektem, a pojazdem znajdują się przeszkody lub z powyżej wspomnianych przyczyn sonar „nie widzi” obiektu należy przejść w tryb ścieżki poszukiwawczej tzw. „koszenie trawnika”.

After the launch of ROV it is necessary to check the underwater navigation system to see whether it indicates the actual position of the submersible. If this operation confirms proper functioning of the USBL system it is possible to proceed with the ROV's approach to the object based on the indications provided by the USBL system. If not, it is necessary to use the navigational sonar installed on the deck of the ROV to estimate the relative positions of the ROV and the object. This is usually possible only after the vehicle is submerged to the operational depth. If the sonar "sees" the humanoid object (and this depends on such factors as, for instance, the reflection area depending on the object's location with regard to the sonar head or thickness of the soft layer of the sea bottom (quantity of bottom sediments)), then the vehicle's operator may with the use of the sonar software determine the vehicle's course angle to the position of the humanoid object from the current position of the vehicle.

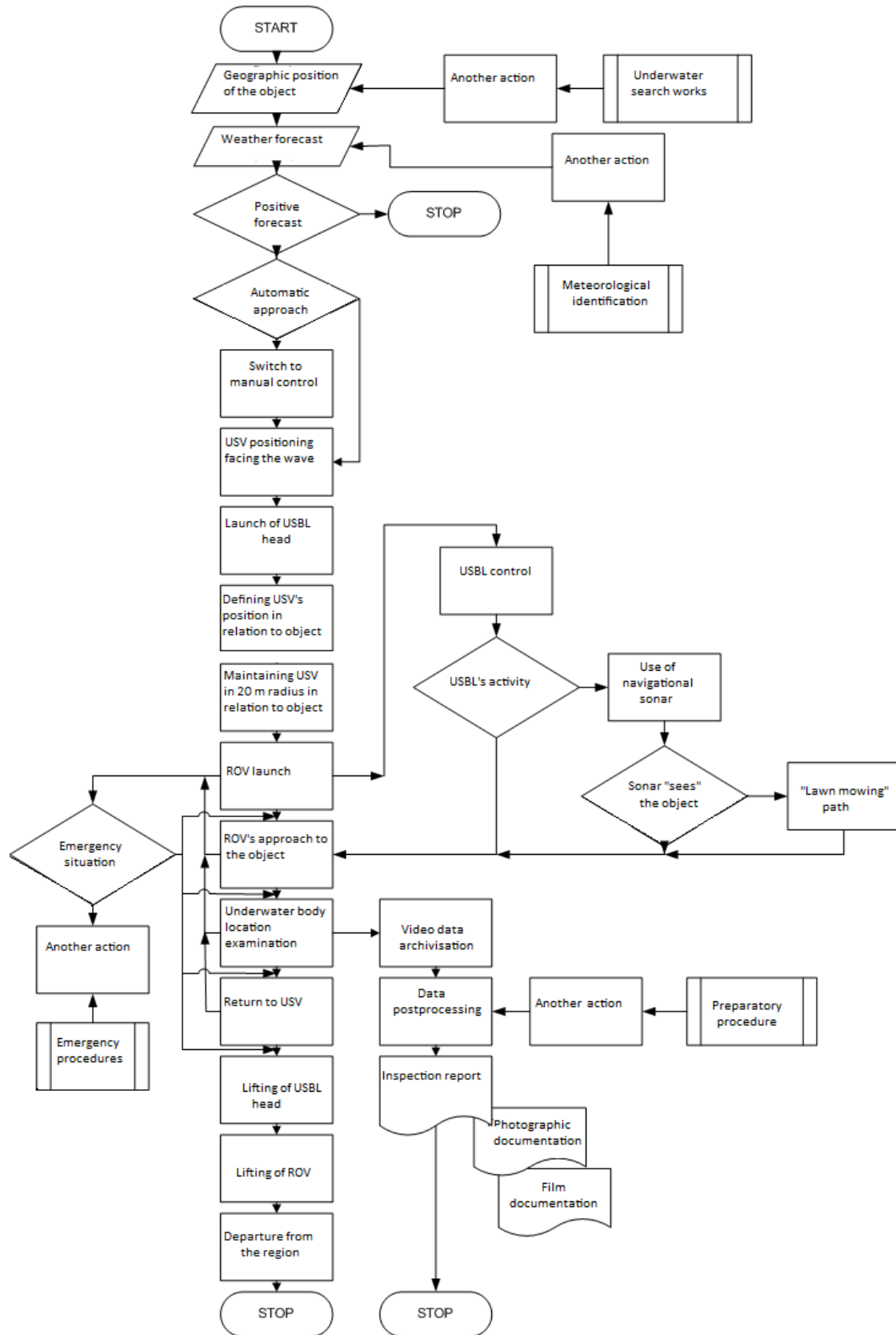
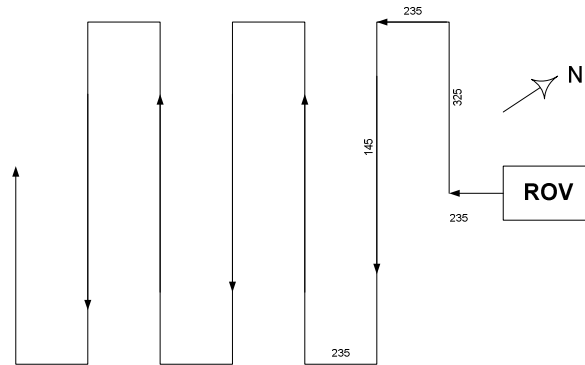
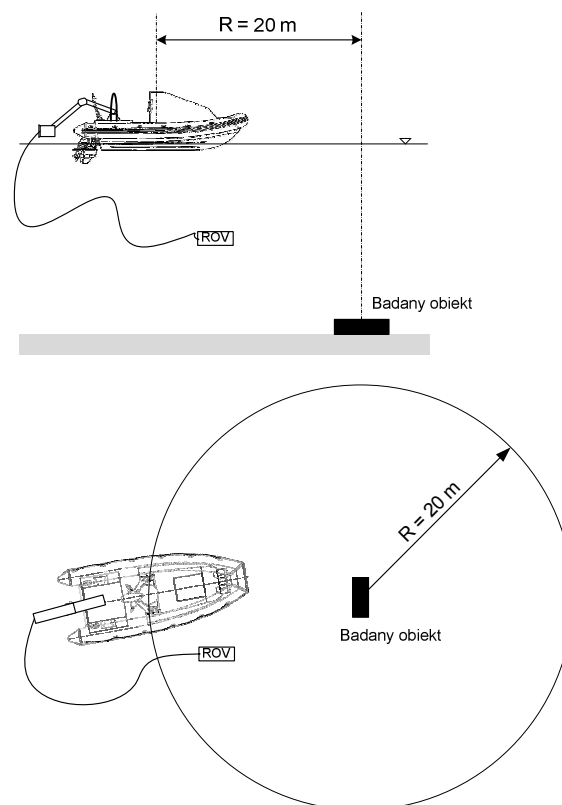


Fig. 3. General algorithm for the inspection of a humanoid object with the use of an ROV operated from the deck of a USV [14].

W tym przypadku odszukanie obiektu na dnie jest realizowane za pomocą systemu wizyjnego zamontowanego na pojeździe. ROV nie może poruszać się szybciej niż z prędkością postępową 1 węzła niezależnie od wielkości prądu czołowego, tzn. jeśli prąd czołowy wynosi 4 węzły to pojazd porusza się z prędkością 5 węzłów – postępową 1 węzła. Trajektoria ruchu pojazdu nad dnem przypomina ruch kosiarki po trawniku, jak na Rys. 4.



Rys. 4. Ścieżka poszukiwawcza „koszenie trawnika” [14].



Rys. 5. Rejon, w którym utrzymywana jest pozycja USV podczas zadania ROV (rysunek poglądowy bez skali) [14].

Zanurzamy się na głębokość operacyjną i przemieszczamy pojazd nad dnem w taki sposób, aby jak najmniej wznosić osady denne. Staramy się pierwszy zwrot robić zawsze w prawo pod kątem 90°. Jeśli poszukiwania rozpoczynamy od płynięcia kursem 235 to pierwszy zwrot będzie na kąt 325°. Następnie ze stałą prędkością poruszamy się z tą nastawą kąta przez określony czas. Po jego upływie robimy zwrot o 90° w lewo na kurs 145° (patrz Rys. 4).

Should there be any obstacles between the object and the vehicle, or should the sonar be prevented from “seeing” the object due to the reasons mentioned above, it is necessary to switch to the mode of a search path, the so-called “mowing the lawn”. In this case searching for the object at the sea bottom is realized with the use of a visual system installed in the vehicle. The ROV may not move faster than with the forward speed of 1 knot, irrespective of the frontal current, i.e. if the frontal current reaches 4 knots, the vehicle may move with the speed of 5 knots – the forward speed of 1 knot. The vehicle’s trajectory over the sea bottom reminds one of the movement of a lawn mower, as represented in Fig. 4.

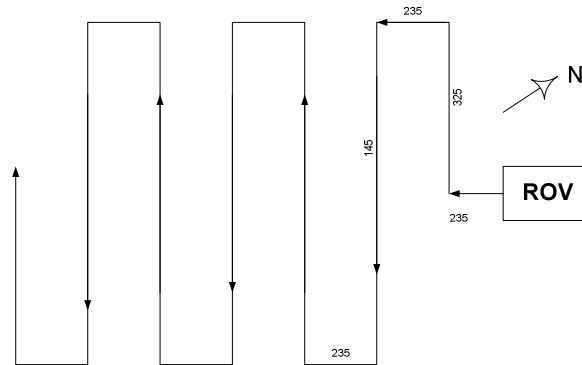


Fig. 4. “Lawn mowing” search path [14].

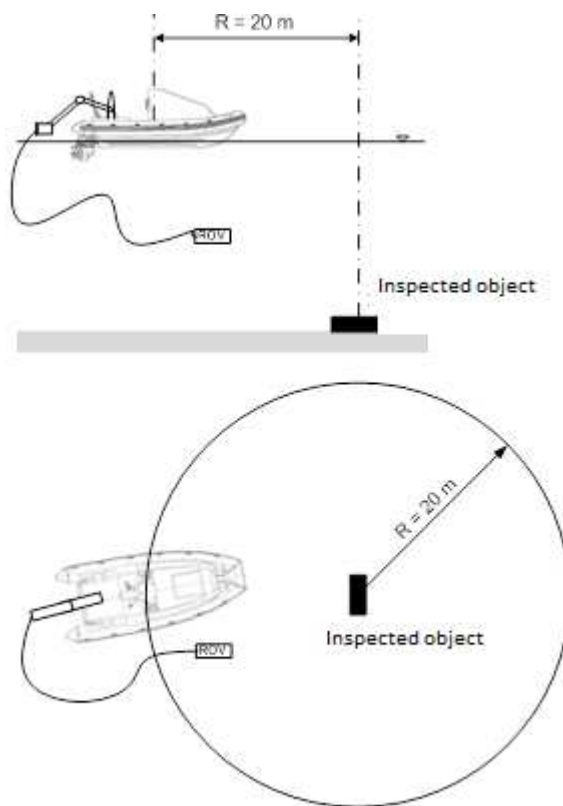


Fig. 5. Region in which the position of USV is maintained when releasing ROV (demonstrative drawing without scaling) [14].

Od tego momentu poruszamy się z tą nastawą kąta w czasie dwukrotnie dłuższym niż po wykonaniu pierwszego zwrotu w prawo. Po upływie tego czasu wykonujemy ponownie zwrot w prawo o 90 na kurs 235. Poszczególne zwroty na trajektorii poszukiwawczej muszą uwzględniać kąt widzenia systemu wizyjnego i zapewniać 100% pokrycie wizyjne pasów przeszukiwań. Jeśli jedno przejście w domniemanym rejonie zalegania nie zaowocowało odnalezieniem obiektu, trajektorię należy odwrócić o 90 i czynności powtórzyć. Czynności realizujemy aż do chwili kontaktu wizyjnego z obiektem. Od tego momentu rozpoczyna się inspekcja podwodnego miejsca znalezienia zwłok.

Należy sobie zdawać sprawę, że te czynności to również także gromadzenie dowodów pozwalających określić okoliczności zdarzenia będącego przyczyną podejmowanych działań. Jakich najistotniejszych informacji należy oczekiwać od prawidłowo przeprowadzonej inspekcji obiektu humanoidalnego? Po pierwsze należy ustalić, czy zwłoki swobodnie pływały w toni, leżały na dnie, czy też były o coś zaczepione lub czymś obciążone. Następnie należy określić, w jakiej pozycji i w jakim ułożeniu w stosunku do krzywizny dna znajdowały się zwłoki. W przypadku zwłok nurka kolejnym punktem jest określenie ułożenia sprzętu: czy ustnik znajdował się w ustach, czy kompensatory pływalności były wypełnione, czy maska znajdowała się na twarzy, czy ofiara posiadała pas balastowy itd.

W pozostałych przypadkach opisowi podlega odzież. Na koniec należy ustalić rodzaj dna i wygląd otoczenia miejsca znalezienia zwłok, co pomoże w identyfikacji ewentualnych obrażeń pośmiertnych [19,9]. Wykorzystując pojazd ROV do takiej inspekcji należy zastosować technikę filmowania opartą o ile to możliwe o tzw. plan szeroki lub plan amerykański. W planie szerokim istnieje możliwość ukazania całej postaci wraz z otoczeniem. W planie amerykańskim postać jest prezentowana w znacznej części. Jeśli nie ma możliwości zastosowania tych sposobów filmowania, na przykład ze względu na ograniczenie widoczności lub złe doświetlenie sceny należy starać się o sfilmowanie poszczególnych fragmentów ale w taki sposób, aby na filmie układały się w logiczną całość i nie dezorientowały potencjalnego widza. W tym przypadku dopuszczalne są ujęcia typu półzbliżenie, zbliżenie i detal. Należy przy tym zwrócić uwagę, aby nie występowały w tym czasie drgania pionowe lub poziome obrazu, które będą miały wpływ na jakość zebranego materiału wideo. Tak zwany najazd i odjazd kamery z detalu do zbliżenia lub półzbliżenia nie może być nadużywany (i zbyt gwałtowny), należy go zastosować wyłącznie do istotnych dla zbadania sprawy szczegółów.

Dzisiejsze kamery najczęściej są wyposażone w funkcję autofokus, co jest bardzo przydatne, ale w niektórych okolicznościach może być kłopotliwe, bo operator nie ma wpływu na to, na jakim obiekcie ogniskuje się kamera. W naszych warunkach klimatycznych dość częstym zjawiskiem jest detrytus (tzw. morski śnieg), jeśli podczas filmowania będziemy mieli źle ustawione światło, obiektyw zogniskuje się na drobinach zawieszonych pomiędzy kamerą a obiektem humanoidalnym i ujęcia będą nieostre. Zebrany materiał wideo najczęściej będzie w całości bez cięć i montażu przekazany organom procesowym. W niektórych jednak przypadkach może zdarzyć się sytuacja (kiedy materiał jest bardzo długi), że prokurator zwróci się z prośbą o dodatkowe dostarczenie najbardziej istotnych fragmentów zmontowanych w 10 – 15 minutowy skrót. W tych okolicznościach należy zastosować zasady nieliniowego montażu materiału wideo i wykorzystać specjalne oprogramowanie komputerowe. Powinno się pamiętać o tym, aby montaż poszczególnych sekwencji był logiczny i nie wprowadzał chaosu w zebrany materiał zdjęciowy. Podczas montażu można istotne dla sprawy ujęcia detali ekstrahować z filmu i przedstawić w materiale dowodowym jako zdjęcia.

The procedure consists in the submergence to the operational depth of the ROV and then moving the vehicle over the sea bottom in such a way as not to disturb the bottom sediments. The first turn should always be to the right, at the angle of 90 degrees. If the search begins with the course 235 the first turn will be to the angle of 325 degrees. Next, we move at a constant speed maintaining the angle for a specified period of time. After an appropriate lapse of time we make a turn of 90 degrees to the left, to the course of 145 degrees (see Fig. 4).

From now on the movement is maintained at this angle setting over a doubled period of time as compared to the first turn to the right. After the lapse of time we make another turn of 90 degrees to the course 235. Particular turns in the search trajectory must consider the angle of perception of the visual system and ensure 100% visual coverage of the search lanes. If one passage in the presumed region of the object's location does not result in detection of the object, the trajectory needs to be turned by 90 degrees and the activity must then be repeated. The activity is repeated until visual contact with the object is obtained. Once contact is made, the ROV operator inspects the locality of the corpse.

It must be realized, that the inspection activities encompass collecting evidence allowing the determination of circumstances that led to the undertaking of the said procedures. What kind of information should be expected from a correct inspection of a humanoid object? First of all, it must be determined whether the corpse freely floats in the water, is laid on the sea bottom or is caught on something or is weighed down. Next, it is necessary to determine the corpse's position in relation to the bottom curve. In the case of a corpse of a diver the next step rests in determining the position of his equipment: whether the mouthpiece was placed in the mouth, the buoyancy compensators were filled, the mask was placed on the face, or the diver was equipped with a weight belt, etc. In other cases it is also required to provide a description of the victim's clothing. Finally, it is necessary to define the type of sea bottom and describe the surroundings, essentially observations that could help in the identification of possible post mortem injuries [19,9]. When such an inspection is carried out with the use of an ROV the applied filming technique should, if possible, be based on the so-called broad plan or American plan. Broad plan allows to show the whole body with the surroundings, whereas American plan shows a significant part of the body. If it is not possible to apply such filming techniques, for instance, due to poor visibility or exposure, an attempt should be made to film particular fragments, remembering to arrange them in a logical whole in order not to disorient a potential viewer. In this case it is admissible to apply such takes as a medium close-up, close-up and detail, making sure that there are no vertical or horizontal picture vibrations that would influence the quality of the collected video material. The so-called zoom in and zoom out from detail to close-up must not be overused (or be too rapid), and should be applied only to investigate details that may be significant in solving the case. Today's cameras are often equipped with an autofocus function, which is very useful; however, this function may be troublesome in some circumstances as an operator does not have influence on which object the camera will focus. In our climatic conditions it is common to encounter detritus (the so-called "marine snow"), and if during filming the light setting is incorrect, the lens will focus on particles suspended between the camera and the humanoid object, which will result in a blurred picture. The collected video material is usually handed over to authorities as a whole, without any cuts and montage. However, in certain cases (when the material is particularly long) the coroner may ask to additionally prepare a video with the most important fragments, edited into a 10 - 15-minute summary film. Such a situation requires the application of a non-linear editing system with the use of proper computer software. It should be remembered to arrange particular sequences in a logical manner.

W takim wypadku każda wykorzystana w ten sposób klatka powinna mieć nadane cechy identyfikacyjne, które pozwolą połączyć je tematycznie z filmem i konkretnym zadaniem. Trzeba niestety dodać, że procedura filmowania i dokumentacji fotograficznej miejsca znalezienia zwłok pod wodą nie jest w kraju działaniem standardowym. To czy będzie zastosowana w dużej mierze zależy od inwencji osoby odpowiedzialnej za dane postępowanie przygotowawcze.

2. INSPEKcja OBIEKTU HYDROTECHNICZNEGO ZA POMOCĄ POJAZDU ROV DZIAŁAJĄCEGO Z POKŁADU POJAZDU TYPU USV

Ten rodzaj obiektów technicznych został zaklasyfikowany do obiektów zanurzonych częściowo, gdyż posiadają one swoją podwodną część. W odróżnieniu od obiektów pływających, obiekty hydrotechniczne nie posiadają własnego napędu i nie mogą się przemieszczać. W tej kategorii obiektów wymienić należy [2]:

- budowle portowe (falochrony, nabrzeża, pomosty),
- budowle stoczniowe,
- umocnienia brzegów,
- budowle specjalne (śluzy, przystanie, mosty, platformy wiertnicze z instalacjami).

Ogólnie można te obiekty podzielić jeszcze na obiekty morskie i śródlądowe, przy czym obiekty hydrotechniczne morskie, zwykle charakteryzują się większymi wymiarami w przekroju poprzecznym, co wynika z różnicy wymiarów jednostek pełnomorskich i śródlądowych. Ponadto w przypadku obiektów hydrotechnicznych śródlądowych, w ich obrębie występują również tamy. A dodatkowo na ogół obiekty morskie narażone są na bezpośrednie działanie wody morskiej zarówno dynamiczne, jak i chemiczne, bardzo różne od działania wód śródlądowych. Jednak bez względu na to, czy obiekt zostanie zaliczony do budowli morskiej, czy do śródlądowej, można wyodrębnić typowe rodzaje uszkodzeń takiego obiektu. Inspekcja tego typu obiektu jest zazwyczaj realizowana w celu pozyskania następujących informacji:

- stopień porostu konstrukcji,
- stopień zużycia ochrony antykorozyjnej,
- stopień skorodowania lub uszkodzenia powierzchni zewnętrznych,
- umiejscowienie i określenie wielkości ewentualnych zaczepów (liny, łańcuchy itp.),
- inne, zależne od rodzaju obiektu i jego przeznaczenia (np. tama – szczelność),
- stopień podmywania (dla konstrukcji płytkowodnych).

Inspekcja obiektów hydrotechnicznych, szczególnie płytkowodnych jest utrudniona ze względu na zjawiska falowania powierzchniowego i działania w strefie przybojowej. Generalnie zgodnie z teorią Lundgrena rozróżnia się dwa rodzaje uderzeń fal o płytkowodne pionowe obiekty hydrotechniczne: uderzenie odpowietrzone i sprężająco-tępe [2] (Rys. 6).

The most significant takes of details should be extracted from the film and included in the evidence in the form of photographs. In this case, each video frame used should be supplied with proper identifying features allowing them to be thematically related to the video and a particular task. Unfortunately, the procedure of filming and preparing photographic documentation of places where corpses are detected is not a standard activity in our country. Whether it will be applied to a large extent depends on the intervention of a person responsible for given preparatory proceedings.

2. INSPECTION OF A HYDROTECHNICAL OBJECT WITH THE USE OF AN ROV OPERATED FROM THE DECK OF A VEHICLE TYPE USV

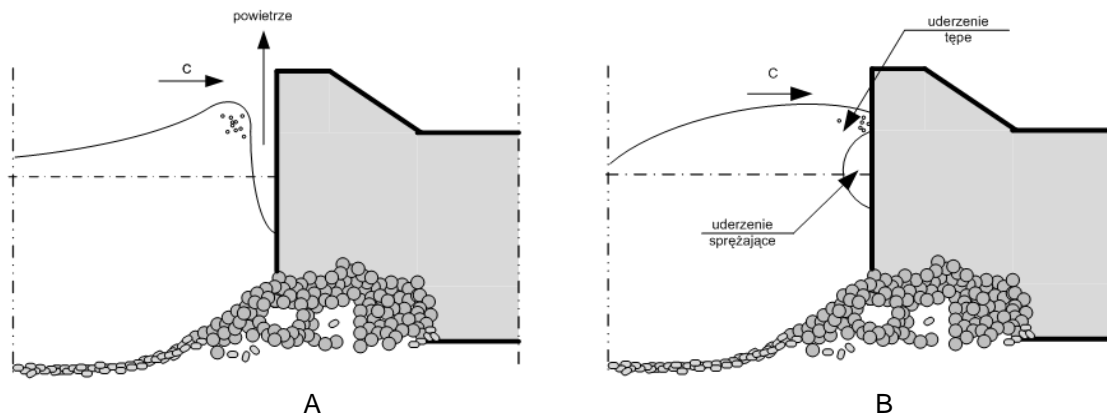
This type of technical object has been classified as an object which is partially submerged i.e. has parts of its structure located under water. As opposed to floating objects, hydrotechnical objects are not equipped with any form of propulsion system and cannot translocate. This object category includes [2]:

- port constructions (breakwaters, quays, piers),
- shipyard constructions,
- bank protection,
- special constructions (tide locks, marinas, ridges, drilling platforms with installations).

In general, these objects may be further divided into marine and inland objects; however, marine hydrotechnical objects are usually characterised by having larger cross section dimensions, which results from the difference in sizes of seagoing and inland vessels. Furthermore, inland hydrotechnical objects include also dams, and additionally marine objects are usually exposed to the direct effect of sea water (both dynamic and chemical), which is very different from the impact of inland waters. However, irrespective of the fact whether an object is classified as a marine or inland construction, we may still distinguish the typical types of damage inflicted on such an object. An inspection of this kind of object is usually carried out in order to obtain the following information:

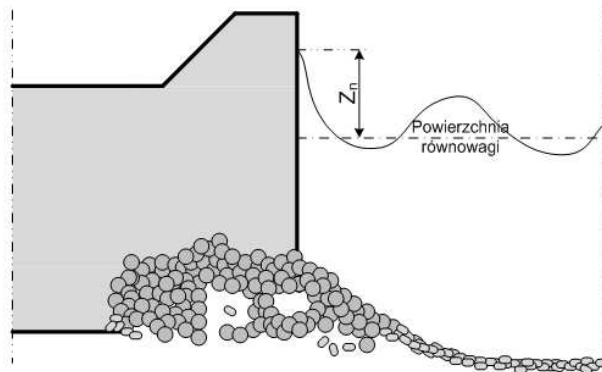
- level of lichen growth on the construction,
- anticorrosive protection wear level,
- level of corrosion or damage of exterior surfaces,
- placement and size specification of possible fasteners (ropes, chains, etc.),
- other, depending on object type and purpose (e.g. a dam – water tightness),
- undermining level (for shallow-water constructions).

The inspection of hydrotechnical objects, especially shallow-water objects, is usually difficult due to the activity of surface waves and the fact of being situated in the impact zone. According to Lundgren's theory there are two types of wave strikes on shallow-water vertical hydrotechnical objects: deaerated strikes and compressed-blunt strikes [2] (Fig. 6).



Rys. 6. Schematy uderzenia fali o pionową płytkowodną konstrukcję hydrotechniczną A – uderzenie odpowietrzone, B – sprężająco-tępe (na podstawie [2]).

Uderzenie odpowietrzone powstaje, gdy fala rozbija się w pewnej odległości od budowli i zbliża się do niej na dłuższej drodze nie załamując się więcej. Natomiast uderzenie sprężająco-tępe (młotkowe) powstaje, gdy fala rozbija się u podnóża konstrukcji zamykając pomiędzy skłonem fali a ścianą konstrukcji poduszkę powietrzną, która ulega sprężeniu. Większe siły na uderzaną konstrukcję oddziałują przy uderzeniu odpowietrzającym, przy uderzeniu typu młotkowego sprężona poduszka powietrza zazwyczaj odgrywa rolę amortyzatora. Z punktu widzenia operatora pojazdu ROV obydwa uderzenia są jednak niebezpieczne, mogą spowodować utratę kontroli nad pojazdem i uderzenie jednostką głębinową o konstrukcję badanej budowli. Kolejnym parametrem, który należy brać pod uwagę podczas inspekcji budowli płytkowodnej jest wysokość nabiegania fali (Rys. 7).



Rys. 7. Wysokość nabiegania fali Z_n (na podst. [2]).

Jest to maksymalne wzniesienie (lub obniżenie) powierzchni sfalowanej wody przy ścianie mierzone od powierzchni równowagi. Wielkość ta ma wpływy na wartość naporu hydrodynamicznego oddziałującego na budowlę. Natomiast w zależności od tego czy na ścianę budowli trafi szczyt czy dno fali, zmienia się kierunek działania siły jej naporu na konstrukcję (Rys. 8).

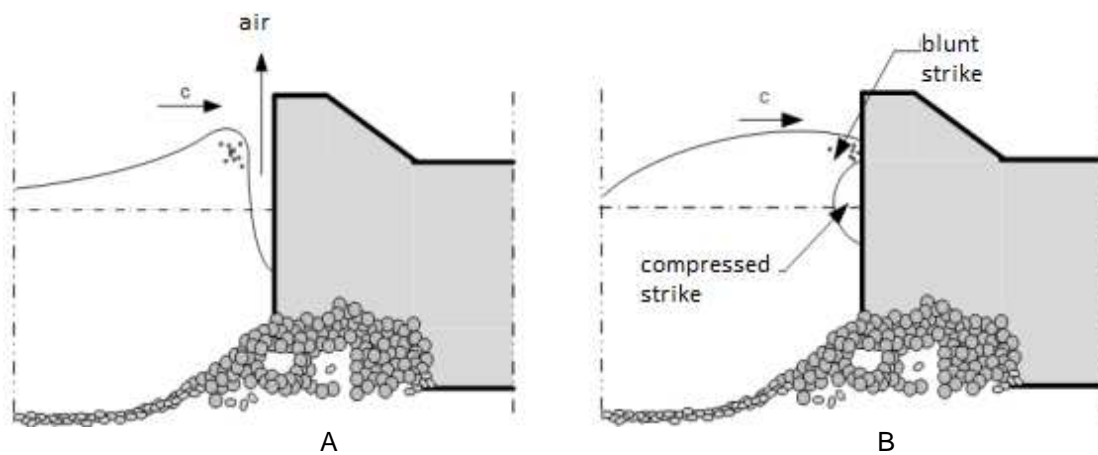


Fig. 6. Schemes of wave strikes on a vertical shallow-water hydrotechnical construction A – deaerated strike, B – compressed-blunt strike (based on [2]).

A deaerated strike is produced when a wave breaks at a certain distance from the construction and approaches it covering a longer distance without breaking again. A compressed-blunt (hammer) strike, on the other hand, takes place when a wave breaks at the foot of a construction closing in an airbag between the wave's bend and the wall of the construction, which is then subject to compression. Usually a deaerated strike has a greater impact on the construction than a hammer strike, as in the latter the compressed air bag serves as a shock absorber. However, from the point of view of an ROV operator both forces are dangerous, as they may cause loss of control over the vehicle and toss the vehicle against the inspected construction. Another parameter that needs to be considered during an inspection of a shallow-water construction is the wave run-up height (Fig. 7).

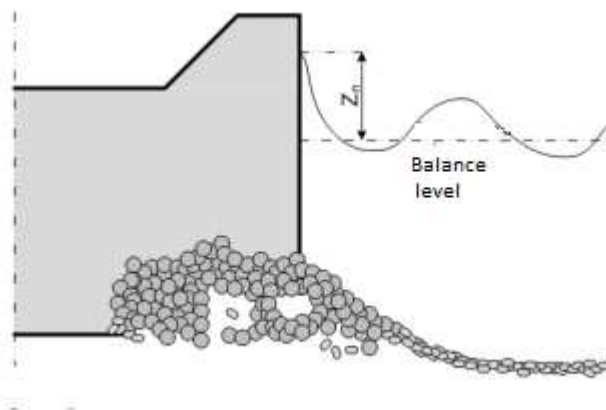
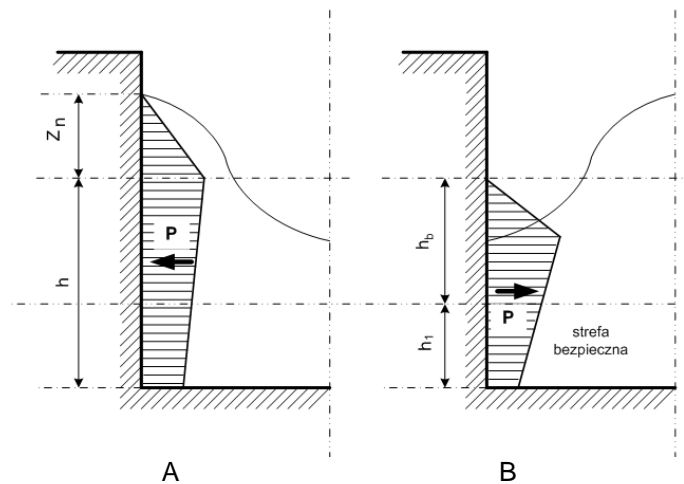


Fig. 7. Wave run-up height Z_n (based on [2]).

A wave run-up height is the maximum rise (or decrease) of wave water at the wall measured from the balance level. Its value influences the value of the hydrodynamic impact on the construction, the fact of whether the wall is hit with the wave's peak or bottom changes the direction of its impact on the construction (Fig. 8).



Rys. 8. Pionowy rozkład naporu hydrodynamicznego na ścianę pionową, gdy po drugiej stronie budowli natrafia na nią szczyt fali (A) lub dno fali (B) – (na podst. [14]), Z_n – wysokość nabiegowa fali, h – głębokość w akwenu, h_b – minimalna bezpieczna głębokość dla ROV, h_1 – wysokość strefy bezpiecznej dla ROV.

W przypadku, gdy na budowlę natrafia szczyt fali, napór jest skierowany od strony morza ku ścianie i jego największa wartość występuje na wysokości odpowiadającej położeniu powierzchni równowagi. Gdy na budowlę trafia dno fali napór ten skierowany jest ku morzu, a jego maksymalna wartość występuje na wysokości odpowiadającej położeniu dna fali. Co oznacza, że w zakresie $\pm Z_n$ na pojazd ROV będą naprzemiennie działały siły dopychające lub odpychające go od badanej konstrukcji, co będzie utrudniało sterowanie jednostką głębinową i może doprowadzić do uderzenia o badaną konstrukcję.

Opisane powyżej zjawiska powodują, że inspekcja płytkowodnej konstrukcji hydrotechnicznej małym i lekkim pojazdem ROV jest utrudniona i należy wprowadzić ograniczenia związane z orientacyjną wysokością nabiegową fali. Pojazd w strefie przybojowej będzie niestabilny i miotany zmianami kierunku siły naporu, co stwarza zagrożenie dla jego konstrukcji i utrudnia ogląd wizyjny – obraz niestabilny, trudności w utrzymaniu kadru na konkretnym elemencie. Teoretycznie można założyć, że bezpieczne dla pojazdu jest działanie w strefie przybojowej na minimalnej głębokości:

$$h_b = h - 2Z_n \quad (1)$$

Dla pojazdu o wysokości 550 mm (LBV) można się spodziewać, że wysokość nabiegowa fali rzędu 30 cm³ będzie już problematyczna. Ponieważ przy takiej wysokości nabiegowej powstaje strefa około 60 cm ($\pm Z_n$), w której trudno zapanować na ruchem i trajektorią pojazdu. Korzystając z zależności powyżej określi się minimalną głębokość bezpieczną dla jednostki ROV poniżej największych wartości i zmian sił naporu, a pojazd będzie działał w strefie bezpiecznej o wysokości h_1 – Rys. 8.

³ Wartość do zweryfikowania podczas prób w warunkach rzeczywistych.

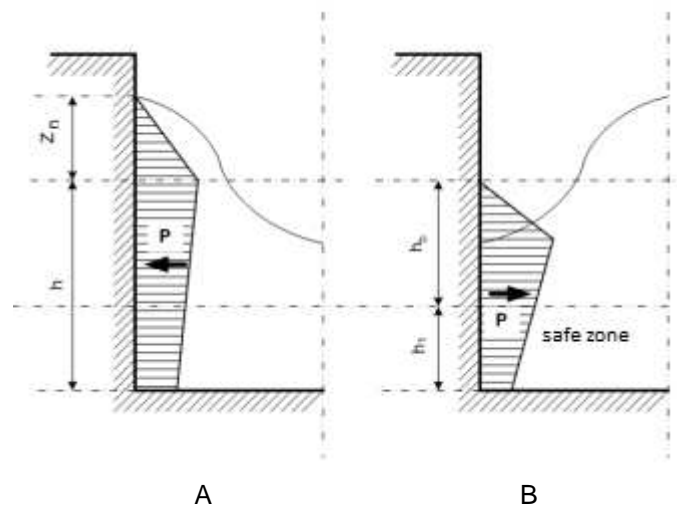


Fig. 8. Vertical distribution of hydrodynamic impact on a vertical wall struck on the other side by the peak (A) or the bottom of the wave (B) – (based on [14]), Z_n – wave run-up height, h – water depth, h_b – minimum safe depth for an ROV, h_1 – the height of an ROV's safe zone.

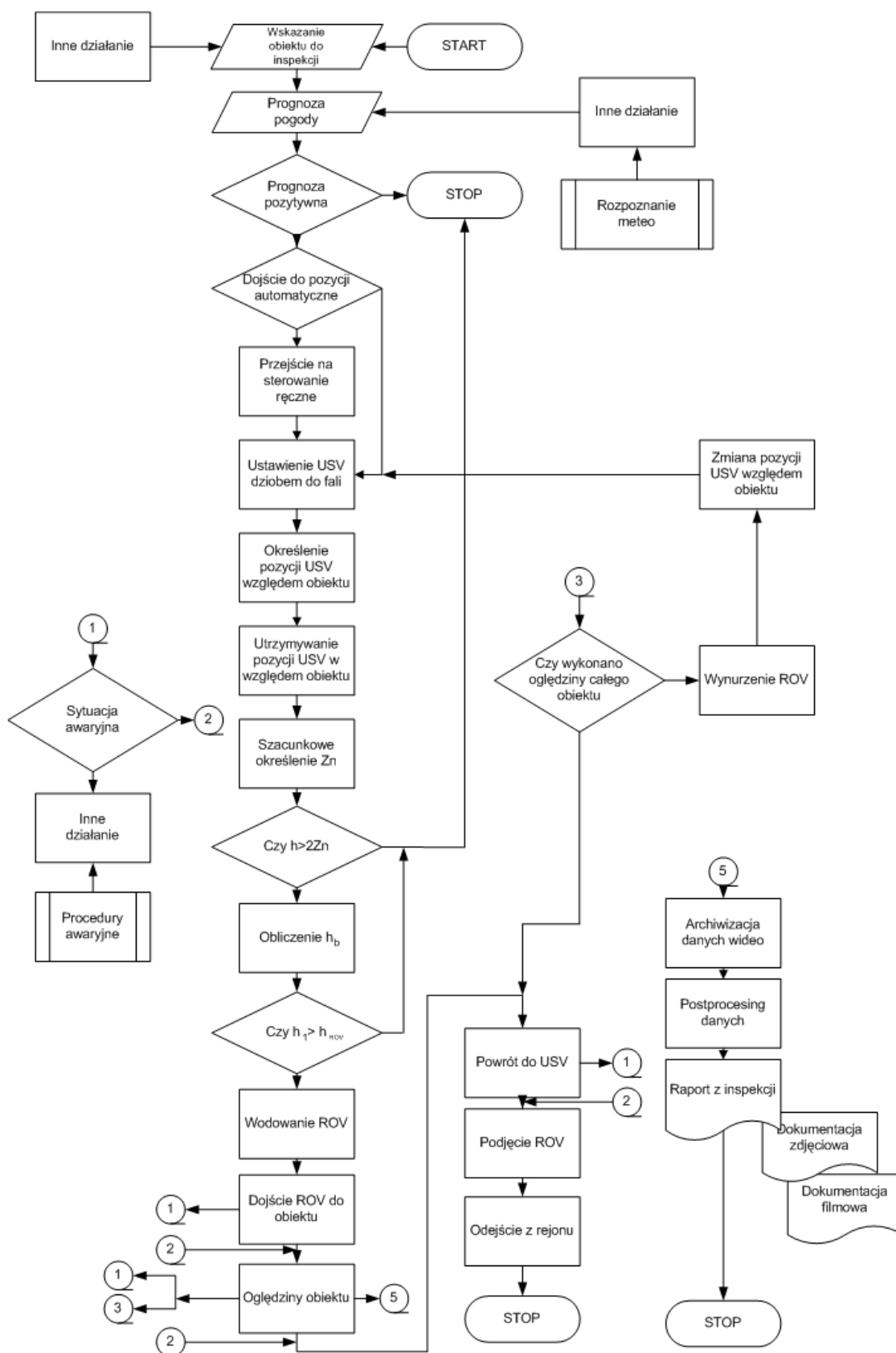
When a construction is hit by a wave's peak, the impact is directed away from the sea and towards the wall and its highest value is reached at the height corresponding to the balance level. On the other hand, when a construction is struck by a wave's bottom the impact is directed towards the sea and its maximum value is reached at the height equal to the wave's bottom height. This means that in the $\pm Z_n$ range the ROV will be affected by alternating pushing and repulsive forces in relation to the inspected construction, which will impede the control of the vessel and may result in its hitting against the construction.

The said phenomena results in the inspection of shallow-water hydrotechnical constructions with small and light ROVs being difficult and, thus, requires the implementation of certain limitations related to an approximate wave run-up height. A vehicle situated in the impact zone will be unstable and tossed by the changing impact forces, which pose a threat to the ROV and makes visual inspection particularly difficult – the picture is unstable, it being difficult to maintain frames on particular elements. Theoretically it may be assumed that the safest area for the vehicle is to operate in the impact zone at the minimum depth:

$$h_b = h - 2Z_n \quad (1)$$

We may assume that for the vehicle with the height of 550 mm (LBV) the wave run-up height of 30 cm will already be problematic⁴, as at such a run-up height a zone of ca. 60 cm ($\pm Z_n$) is created in which it is difficult to maintain control over the vehicle's movement and trajectory. The above interrelation may be used to determine the minimum safe depth for an ROV below the highest values and fluctuations of impact forces, and the vehicle will operate in a safe zone of the height equal to h_1 – Fig. 8.

³ Value to be verified during trials performed in real conditions.



Rys. 9. Algorytm wykonania inspekcji płytkowodnego obiektu hydrotechnicznego przy pomocy pojazdu ROV działającego z pokładu pojazdu USV [14].

Na rysunku 9 przedstawiono proponowany algorytm realizacji inspekcji płytkowodnego obiektu hydrotechnicznego wykonywanej za pomocą pojazdu ROV działającego z pokładu pojazdu USV. Algorytm przewiduje rozpoczęcie działania po wskazaniu obiektu do inspekcji. Podobnie jak w poprzednich algorytmach w pierwszej kolejności weryfikowana jest prognoza pogody. Potem jest sekwencja powtarzających się czynności związanych z dojściem do obiektu i przygotowaniem do wodowania pojazdu ROV. Przed jego zwodowaniem należy szacunkowo określić wysokość nabiegową fali i obliczyć głębokość bezpieczną. Jeśli głębokość w akwenu jest mniejsza od dwukrotnej wysokości nabiegowej inspekcja nie będzie możliwa. Następnie należy sprawdzić czy wysokość strefy bezpiecznej jest większa od wysokości pojazdu (h_{ROV}). Jeśli tak pojazd będzie mógł pracować pomiędzy dnem a poziomem odpowiadającym głębokości bezpiecznej. Ponieważ płytkowodne budowle portowe cechuje duży wymiar wielkości liniowych może się okazać, że inspekcja całego obiektu przy jednym zanurzeniu pojazdu ROV nie będzie wykonalna. W takim przypadku należy wynurzyć pojazd, zmienić pozycję USV względem obiektu i czynności powtórzyć.

PODSUMOWANIE

W niniejszym materiale przedstawiono dwa wybrane algorytmy działania podczas wykonywania inspekcji podwodnej z wykorzystaniem pojazdu typu ROV dla którego jednostką bazową jest bezzałogowy pojazd powierzchniowy (USV). Algorytmy opracowano w ramach realizacji projektu rozwojowego Nr O R00 0106 12 wykonywanego przez konsorcjum składające się z Polsko-Japońskiej Wyższej Szkoły Technik Komputerowych, Akademii Marynarki Wojennej i przedsiębiorstwa Sprint S.A. Dla potrzeb projektu opracowano szereg innych algorytmów inspekcji obiektów podwodnych. Wyboru obiektów podwodnych dokonano w oparciu o klasę projektową wykorzystanej w projekcie łodzi USV i prawdopodobieństwo wystąpienia określonej klasy obiektu podwodnego w konstrukcyjnym rejonie jej pływania⁴. Pominięto obiekty militarne, takie jak miny i torpedy, gdyż wykorzystanie pojazdu LBV do inspekcji tego typu obiektów może być problematyczne. Taktyka działania w tym przypadku przewiduje po wykryciu celu oznaczenie go nadajnikiem hydroakustycznym i pozostanie w rejonie aż do przybycia oddziały niszczącego lub umieszczenie ładunku niszczącego na obiekcie albo przecięcie liny kotwicznej miny w wybranym miejscu. Aktualna konfiguracja systemu z pojazdem LBV nie umożliwia podjęcia takich czynności. W tym przypadku, na obecnym etapie prac, jeśli opisywany system inspekcyjny natrafi na taki cel proponuje się dokładne oznaczenie pozycji, powiadomienie odpowiednich służb i odejście z rejonu. Natomiast inspekcja takich obiektów militarnych jak zatopiona broń długa lub krótka (małe obiekty denne) zasadniczo nie różni się procedurą od inspekcji obiektu humanoidalnego.

W pracy założono, że jednostką bazową dla pojazdu inspekcyjnego będzie zdalnie sterowany pojazd powierzchniowy Edebron. Pojazd ten docelowo ma również spełniać rolę autonomicznej jednostki powierzchniowej, ale na obecnym etapie prac sugeruje się, aby podczas realizacji misji inspekcyjnych pojazd pracował w trybie sterowania zdalnego. Jako jednostkę inspekcyjną w opracowaniu założono pojazd ROV produkcji SeaBotix o nazwie LBV 200², który z dodatkowo zakupionym wyposażeniem mieści się w prostopadłościanie o wymiarach 550x360x580 mm (masa w powietrzu 21,6 kg, w wodzie 0,54kg).

⁴ Dyrektywa UE 94/25/WE z dn. 16.06.1994 roku: Załącznik 1: klasa C: żegluga przybrzeżna, duże zatoki, zalewy, jeziora i rzeki, w warunkach wiatru o sile do 6B włącznie i przy fali o wysokości znaczącej do 2 metrów włącznie.

Fig. 9 presents the proposed algorithm for a shallow-water hydrotechnical object inspection carried out with the use of an ROV operated from the deck of a USV. The algorithm provides for operation commencement after the indication of an object for inspection. Similarly to the previous algorithms, the first step encompasses the verification of weather forecast. Next, it is followed by a sequence of repetitive activities connected with the USV approaching the object and preparation of an ROV for launching. Before the launch it is necessary to determine the wave run-up height and calculate the safe depth. If the depth of a body of water is lower than the value of a doubled run-up height the inspection is identified as unfeasible. Next, it is checked whether the height of the safe zone is higher than the vehicle height (h_{ROV}). If so, the vehicle will be able to operate between the sea bottom and the level corresponding to the defined safe depth. Since shallow-water port constructions are characterised by high linear values it may turn out that the inspection of the whole object will not be possible with a single submergence of an ROV. In such a situation it is necessary to bring the vehicle to the surface, change the USV's position with regard to the object and repeat the above activities.

SUMMARY

The presented material shows two selected algorithms for carrying out an underwater inspection with the use of a vehicle type ROV with the base vessel being an unmanned surface vehicle (USV). The algorithms have been prepared within the development project No. O R00 0106 12 executed by a consortium consisting of the Polish-Japanese Institute of Information Technology, the Polish Naval Academy and the enterprise SPRINT S.A. The project also resulted in the preparation of a number of other algorithms for the inspection of underwater objects. The selection of underwater objects was based on the project class used in the design of the USV and the probability of occurrence of a specified underwater object class in the constructive region of its operation⁵. Military objects, such as mines and torpedoes, were omitted, as the use of an LBV in an inspection of objects of this type may be troublesome. The tactics in this case rests in marking the target with a hydro-acoustic transmitter after its detection and remaining in the operational region until the arrival of a disposal squad, placing a destructive charge on an object or cutting off the anchor rope of a mine in a specified place. Current system configuration of an LBV does not allow undertaking such activities. Therefore, if at the present stage of works the described inspection system should encounter such a target it is proposed that the target is precisely marked, the proper services are notified and the vehicle is removed from the operational region. An inspection procedure of such military objects as sunken handguns or other firearms (small objects deposited at the sea bottom), on the other hand, does not significantly differ from an inspection of a humanoid object.

In the project it was assumed that the base vessel for an inspection vehicle would be a remotely operated surface vehicle Edebron. In prospect, this vehicle is also to fulfil the role of an autonomous surface vessel; however, at the current stage of works it is suggested that in the realization of inspection missions the vehicle will be operated in a remote control mode.

⁴ EU Directive 94/25/EC as of 16.06.1994: Appendix 1: Class C: coastal navigation, large bays, lagoons, lakes and rivers with wind force up to 6B inclusively and significant wave height up to 2 metres inclusively.

Dla tej konstrukcji wprowadzono kilka ograniczeń wynikających z zapewnienia bezpieczeństwa jednostki głębinowej w czasie realizacji inspekcji. Warunki te w szczególności dotyczą realizacji inspekcji podwodnej części kadłuba jednostki pływającej i obiektu hydrotechnicznego. Są to działania częściowo lub w całości realizowane w strefie oddziaływania fali powierzchniowej lub w strefie przybojowej. Wykonanie tych działań małym i lekkim pojazdem jest utrudnione, jednostka głębinowa jest w tych strefach mało stabilna i miotana zmianami kierunku działania sił naporu hydrodynamicznego. Raczej nie należy się spodziewać, aby zdolności układu napędowego pojazdu LBV przewyciężyły te przeciwności, co potwierdzają doświadczenia z eksploatacji jednostek o większej masie i sile uciągu. Podczas inspekcji kadłuba jednostki wprowadzono ograniczenie wykonania przeglądu strefy górnej dla jednostki poza portem o wartości $h_{\min} = 4\text{m}$ (minimalna głębokość operacyjna ROV), a dla jednostki w porcie o wartości $h_{\min} = 2\text{m}$ (minimalna głębokość operacyjna pojazdu ROV). Natomiast dla pracy w strefie przybojowej wprowadzono ograniczenie pracy uzależnione od wysokości nabiegowej fali. Gdzie bezpieczna głębokość dla pojazdu jest wynikiem odejmowania od głębokości akwenu dwukrotnej wartości tej wysokości.

Dla wszystkich omawianych przypadków inspekcji wprowadzono ograniczenie stanu morza dla podjęcia działania do 3, co wynika z przepisów o realizacji prac podwodnych. W przypadku wodowania pojazdu ROV z pokładu jednostki USV wprowadzono ograniczenie do stanu morza 2 ze względu na nieznane obecnie ograniczenia systemu wodowania. Parametry sugerowanych ograniczeń zostały zaproponowane na podstawie teorii i wieloletniej eksploatacji różnych jednostek ROV. Wartości tych ograniczeń dla dedykowanej w projekcie konstrukcji pojazdu i systemu wodowania należy ustalić podczas badań całego systemu w warunkach rzeczywistych. Oprócz tego podczas badań proponuje się zweryfikować zakres operacyjnego wykorzystania pojazdu LBV w obecnej konfiguracji.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010 - 2012 jako projekt rozwojowy Nr O R 00 0106 12.

An indicated inspection vessel was an ROV manufactured by SeaBotix with the name of LBV 200², which together with additionally purchased equipment is fitted in a cuboidal container with the dimensions of 550x360x580 mm (weight in the air 21.6 kg, in water 0.54kg). In order to ensure safety of an underwater vehicle during the inspections it was necessary to introduce several limitations. These conditions particularly relate to an underwater inspection of part of the hull of a vessel and a hydrotechnical object, since such operations are partly or completely realized in the regions affected by surface waves or in the impact zone. Executing such operations with a small and light vehicle is difficult – an underwater vessel is unstable and tossed by the changing hydrodynamic impact forces. It should not be expected that the driving system of an LBV could overcome such adversities, which is confirmed with the experiments employing vessels of a greater mass and thrust. It was decided that hull inspection would be limited to the inspection of its upper part for a vessel outside the port with the value of $h_{\min} = 4\text{m}$ (ROV's minimum operational depth), and for a vessel in the port with the value of $h_{\min} = 2\text{m}$ (ROV's minimal operational depth). In relation to operations undertaken in the impact zone the limitation was to depend on the wave's run-up height, where the safe depth for the vehicle is a result of subtracting from the depth of a body of water of a double value of this height.

In all the discussed inspections, the operations were undertaken for sea states of up to 3, as results from the regulations on underwater works implementation. In the case of ROV launching from the deck of an USV the sea state was limited to 2 due to currently unknown limitations of the launch system. The parameters of the suggested limitations have been proposed on the basis of available theory and a long standing use of various ROV vessels. The values regarding the vehicle construction and the launch system proposed in the project are to be determined in real conditions. Apart from that it is suggested that the research provides the verification of LBV's operational scope in its present configuration.

**Scientific work financed from educational funds in the years 2010 – 2012 as
a development project No. O R 00 0106 12.**

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

1. Hoywood M., Matters N., "Underwater Inspection". Center for Underwater Technology, USA 1986 r.,
2. Huckel St.: Budowle morskie; Wyd. Morskie Gdańsk 1972 r.,
3. Kubiak K.: W poszukiwaniu źródeł współczesnego terroryzmu. Między wiedzą a stereotypem; Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego 2007, wyd. Dolnośląska Szkoła Wyższa, Wrocław, ISSN 1896-8848, str. 64 – 71,
4. Kubiak K.: Zagrożenia terrorystyczne spod wody; Biuletyn PTMiTH Nr 15(2010) str. 14 – 15,
5. Molchan M.: The Role of microROV in Maritime Safety and Security; Molchan Marine Sciences, USA 2005 rok,
6. Olejnik A.: Klasyfikacja obiektów podwodnych; Polish Hyperbaric Research, Nr 2(27)2009, ISSN 1734-7009, str. 57 – 66,
7. Olejnik A.: Obiekt podwodny jako przedmiot diagnostyki technicznej; Polish Hyperbaric Research, Nr 3(12)2005, ISSN 1734-7009, str. 31 – 46,
8. Olejnik A.: Stan obecny techniki zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych; Polish Hyperbaric Research, Nr 3(28)2009, ISSN 1734-7009, str. 23 – 46,
9. Praca zbiorowa: Identyfikacja potrzeb zdolności operacyjnych. Edycja 2011; MON ZPS-P5 Pf 23/11,
10. Praca zbiorowa: Remotely Operated Vehicles of the World; Claracson Research Services Ltd, W. Brytania, Edycja 2010/2011,
11. Praca zbiorowa: Remotely Operated Vehicles of the World; Claracson Research Services Ltd, W. Brytania, Edycja 2008/2009,
12. Praca zbiorowa: The Navy Unmanned Undersea Vehicle Master Plan; Department of the Navy, USA 2004 rok,
13. Praca zbiorowa: Wizja Sił Zbrojnych RP – 2030; MON Warszawa 2008 rok,
14. Praca zbiorowa pod red. Olejnik A.: „Taktyka działania i wykorzystania pojazdu głębinowego w działaniach inspekcyjnych”, sprawozdanie z realizacji projektu rozwojowego Nr O R00 0106 12 – zad. 5, wykonywanego pod kierownictwem kadm. rez. prof. dr hab. inż. Z. Kitowskiego, AMW 2012 rok,
15. Siermontowski P., Olejnik A.: Zalety wykorzystania metod technicznych w poszukiwaniu podwodnych obiektów humanoidalnych realizowanych w celach procesowych; Polish Hyperbaric Research, Nr 3(32)2010, ISSN 1734-7009, str. 35 – 55,
16. Siermontowski P.: Rola nurka w dochodzeniu medycznym; Polish Hyperbaric Research, Nr 2(11)2005, ISSN 1734-7009, str. 49 – 56,
17. Sykuła I.: Wpływ zastosowania bezzałogowych pojazdów głębinowych na realizację prac podwodnych; Praca studyjna pod kierownictwem A. Olejnik, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2009 rok,
18. Źródła internetowe: <http://www.icc-ccs.org/piracy-reporting-centre/piracynewsfigures> (dostęp: 02.2012r.)

ACTIVITY TACTICS OF AN UNMANNED UNDERWATER REMOTELY OPERATED VEHICLE FROM THE DECK OF AN UNMANNED SURFACE VEHICLE IN UNDERWATER INSPECTION TASKS

The article presents two exemplary algorithms for the operation of an underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) cooperating with an Unmanned Surface Vehicle (USV) in inspection tasks. The algorithms were worked out within the frames of the development project No. O R00 0106 12, conducted by a scientific-industrial consortium consisting of the Polish-Japanese Institute of Information Technology, the Polish Naval Academy and the enterprise SPRINT S.A. The project involves the construction of a technology demonstrator of an autonomous surface boat fulfilling tasks related to perimetric protection and, at the same time, serving as a carrier for an ROV. All the algorithms prepared within the project encompass the inspection of underwater objects selected on the basis of a design class of the USV used in the project as well as the probability of occurrence of a certain class of underwater objects in the constructive region of its operation. The base unit for the ROV used in the operations was a USV constructed within another project, whereas the inspection unit was an ROV type LBV 200.

Key words: *underwater works technology, parametric protection, unmanned underwater vehicle.*

ТАКТИКА ДЕЙСТВИЯ БЕСПИЛОТНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ROV С ПАЛУБЫ БЕСПИЛОТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОДКИ В ЗАДАЧАХ ПОДВОДНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

В настоящем документе представлены два примера алгоритмов действия глубоководного аппарата ROV, сотрудничающего с беспилотным поверхностным транспортным средством (USV) в задачах инспекционных. Алгоритмы разработаны в рамках проекта развития Nr O R00 0106 12 осуществляемого научно-промышленным консорциум, состоящий из Польско-Японского Института Технологии Информационной, Военно-Морской Академии и специалистов Спринт СА.

Проект предусматривает строительство демонстратора технологий автономного наземного аппарата, который выполняет задания, связанные с охраной периметра и в тоже время выступающий в качестве хоста для подводного аппарата с дистанционным управлением типа ROV. Все разработанные алгоритмы в рамках проекта включают обследование подводных объектов, выбранных на базе дизайна используемой в проекте лодки USV и вероятность возникновения определенного класса объекта в структурной области ей плавания.

В качестве базовой единицы для аппарата ROV использовано аппарат USV ,построенный в рамках другого проекта, а как устройство инспекционное- аппарат ROV типа LBV 200².

Ключевые слова: *технология подводной работы, охрана периметра, беспилотный подводный аппарат, беспилотное поверхностное транспортное средство.*