

SYSTEM PRZESTRZENNEJ OBSERWACJI OBIEKTÓW PODWODNYCH

Adam OLEJNIK

Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Okrętu,
Zakład Technologii Nurkowania i Prac Podwodnych
81 – 103 Gdynia 3 ul. Śmidowicza 69; fax.: +58 625 38 82; e-mail: aolej@wp.pl, <http://www.e-aolej.com>

Streszczenie

W artykule przedstawiono budowę i zasadę działania systemu do przestrzennej obserwacji obiektów podwodnych w czasie rzeczywistym. System opracowano i zbudowano w Zakładzie Technologii Nurkowania i Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. System jest przeznaczony do wizyjnej oceny stanu technicznego obiektów podwodnych.

Słowa kluczowe: diagnostyka wizyjna, technologia prac podwodnych.

SYSTEM OF THREE-DIMENSIONAL OBSERVATION OF UNDERWATER OBJECT

Summary

Article present system of three-dimensional observation in real time of underwater object. Systems build in Department of Diving Gear and Underwater Work Technology of Naval University in Gdynia, Poland. Systems are assigned to estimates of technical states of underwater object.

Keywords: visual diagnostics, underwater work technology.

1. WSTĘP

W odniesieniu do diagnostyki wizyjnej obiektów podwodnych należy stwierdzić, że w odróżnieniu od badań innych obiektów technicznych zazwyczaj to badanie jest realizowane jako *actio in distans*. Szczególnie dotyczy to obiektów położonych na głębokościach większych niż 50mH₂O [5, 6, 9]. Początek diagnostyki wizyjnej obiektów podwodnych sięga roku 1918, kiedy to po raz pierwszy zastosowano kamerę fotograficzną do wykonania inspekcji zalanych wodą chodników i urządzeń kopalnianych w okolicach Lens we Francji [4]. Wojska niemieckie wycofujące się z tego terenu nie tylko zatopiły, ale również i zaminowały kopalnie. Ich uruchomienie i wznowienie wydobywania wymagało wykonania szeregu prac podwodnych. Aby zagwarantować nurkom jak największe bezpieczeństwo postanowiono w pierwszej kolejności wykonać inspekcję zalanych kopalni za pomocą specjalnie do tego celu skonstruowanej kamery fotograficznej. Z punktu widzenia dzisiejszej diagnostyki technicznej zastosowane wówczas rozwiązanie jest pionierskie, ale nie stanowi obecnie naukowej metody badawczej. Albowiem obecnie inspekcja (z łac. *inspectio* – nadzór) jako forma kontroli zewnętrznej urządzenia przez część badaczy jest uznawana jako nie w pełni naukowa [6]. Dzisiejsza diagnostyka wizyjna obiektów podwodnych jest elementem badań nieniszczących i znajduje szerokie zastosowanie w określaniu stanu technicznego

obiektów hydrotechnicznych, infrastruktury portowo-przeładunkowej oraz rurociągów i podwodnych części kadłubów jednostek pływających [3, 6, 8]. Rozwój techniki fotograficznej i telewizyjnej doprowadził do zastosowania w diagnostyce technik fotogrametrycznych opartych o zobrazowanie jedno i dwuobrazowe [1, 2]. W ten sposób ta metoda oceny stanu technicznego obiektów wykracza poza prosty ogląd zewnętrzny. Aczkolwiek powszechnie zastosowanie do tego typu działalności znajduje nadal termin inspekcja, co może wiązać się z wieloletnią tradycją jego stosowania i funkcjonowania w świadomości praktyków.

Za pomocą obrazu (w paśmie widzialnym) można uzyskać wiele podstawowych informacji na temat badanego obiektu, przede wszystkim dokonać jego oceny jakościowej. Ocena ilościowa nie jest już tak prosta, gdyż obraz zazwyczaj jest płaski a to automatycznie powoduje utratę informacji na temat bryłowości i wzajemnego usytuowania prezentowanych na nim przedmiotów. Aby temu zaradzić w fotogrametrii stosuje się tzw. punkty tłowe, dzięki którym możliwe jest określenie tzw. orientacji zewnętrznej kamery fotograficznej, co w powiązaniu ze znanymi parametrami jej orientacji wewnętrznej (np. odległość ogniskowa kamery) pozwala na określenie skali zdjęcia i wymiarowanie przedstawionych na nim obiektów [2]. Niekiedy podczas wykonywania zdjęcia na obiekt nakłada się test o znanych wymiarach, który ułatwia potem skalowanie zdjęcia. Natomiast fotografia

dwuobrazowa – stereofotografia umożliwia zobrazowanie przestrzenne badanych obiektów, przy czym możliwość ta jest realizowana już po wykonaniu zdjęć na drodze specjalnego ich preparowania. Efekt postrzegania stereoskopowego badanego obiektu jest uzyskiwany, ale na skutek obróbki cyfrowej zdjęć następuje utrata niektórych danych wizyjnych [7,8]. W latach osiemdziesiątych XX wieku podjęto szereg prób uzyskania możliwości przestrzennego zobrazowania obiektów podwodnych z zastosowaniem fotografii dwuobrazowej i stereowizji dwukamerowej. W ten sposób problem akwizycji stereoobrazu badanych obiektów został rozwiązany [7]. Natomiast problematyczne pozostało przedstawienie tak zebranych danych wizyjnych, aby oglądający je człowiek widział przestrzenie w czasie rzeczywistym. Najczęściej zastosowanie w tym przypadku miała technika anaglifowa. Co jednak nadal wiązało się z utratą niektórych danych wizyjnych na skutek obróbki cyfrowej zdjęć [7]. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku nastąpił gwałtowny rozwój technologii wytwarzania kineskopów i ekranów telewizyjnych, pojawiły się wyświetlacze ciekłokrystaliczne i możliwości ich miniaturyzacji. Na skutek tego rozwoju możliwym stało się zobrazowanie obrazu z dwóch kamer telewizyjnych niezależnie na każde oko obserwatora za pomocą specjalnych gogli. A zatem pojawiły się nowe możliwości rozwiązań technicznych. Między innymi z tego powodu w Zakładzie Technologii Nurkowania i Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni (ZTNiPP – AMW) podjęto próbę opracowania i zbudowania prototypu urządzenia umożliwiającego zdalną obserwację przestrzenną obiektów podwodnych w czasie rzeczywistym. Program realizowano w ramach działalności statutowej uczelni.

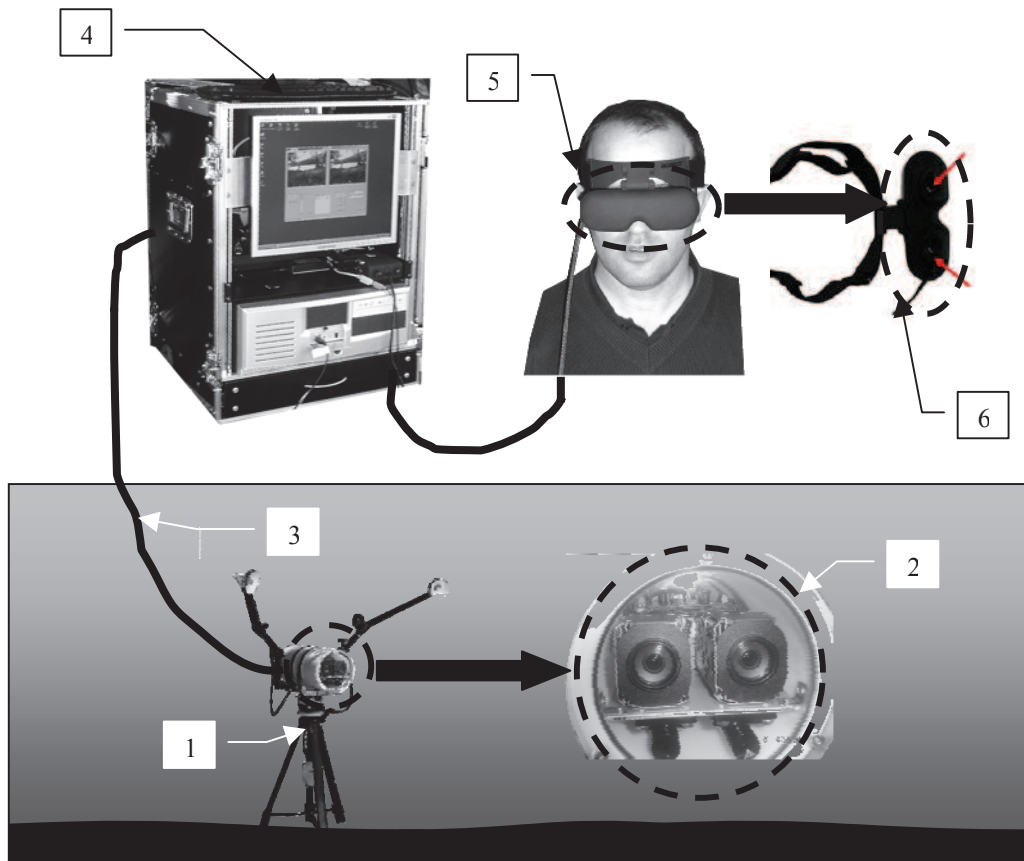
2. DLACZEGO SYSTEM POWSTAŁ?

Regulamin Służby Okrętowej obowiązujący w polskiej Marynarce Wojennej nakłada na oficera mechanika oprócz innych obowiązków również dbałość o stan techniczny kadłuba jednostki i systemów ogólnookrętowych [11]. W odniesieniu do kadłuba przejawia się to między innymi cyklicznym przeglądem podwodnej części raz na trzy miesiące, którego wynik jest odnotowywany w dzienniku maszynowym okrętu [12]. Standardowo przegląd jest realizowany przez ekipę nurkową. Nurek po wyjściu z wody zdaje relację oceniając subiektywnie to, co stwierdził podczas nurkowania. Zwykle procedura powinna być taka, że po wykonaniu pierwszego zwiadu nurkowego realizuje się kolejny z udziałem bardziej doświadczonych nurków. Na podstawie dwóch zwiadów dokonuje się oceny stanu technicznego. Na przykład oceniając ubytek laminatu na płetwie sterowej na poziomie 25%. Jednak zmiany dotyczące zasad zawodowej służby wojskowej oraz służby z poboru

doprowadziły niejako przy okazji do sytuacji, w której taka procedura może być utrudniona. Dawniej prawie na każdym okręcie była ekipa nurkowa dowodzona przez oficera mechanika. Obecnie taka ekipa jest na grupę okrętów lub na cały dywizjon. Co powoduje, że przegląd podwodnej części kadłuba jest realizowany zazwyczaj przez prawie przypadkowych nurków, którzy budowę kadłuba danej jednostki poznają tuż przed jego realizacją. Stąd też należy sądzić, że ocena dokonana przy ich udziale nie jest do końca wiarygodna. Z tego też powodu, co raz częściej do oceny wykorzystuje się systemy telewizji podwodnej, które dają zobrazowanie dwuwymiarowe. Mimo niewątpliwych zalet ma to również i swoje wady, o których wspomniano już we wstępie. Wydaje się, więc że są to wystarczające przesłanki do tego aby zbudować w oparciu o dostępną przecież technologię, ale wykorzystywaną do innych celów, system umożliwiający przestrzenne zobrazowanie obiektów podwodnych lub ich fragmentów oraz wymiarowanie ich uszkodzeń. Dzięki niemu możliwy byłby ogląd 3D kadłuba dokonany on line, na przykład przez nienurkującego specjalistę kadłubowca oraz szacowanie wielkości ubytków lub uszkodzeń za pomocą metod fotogrametrycznych wspomaganych komputerowo. Dalsze prace nad powyższym rozwiązaniem powinny przebiegać w kierunku zamontowania opracowanego systemu wizyjnego na zdalnie sterowanym pojeździe podwodnym (ROV). Takie zastosowanie umożliwi badania obiektów położonych na średnich i dużych głębokościach, do których samo dotarcie przez ekipę nurkową jest już problematyczne [5].

3. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU

System przestrzennego zobrazowania obiektów podwodnych składa się z dwóch elementów połączonych ze sobą stumetrowym kablem. Część podwodna to dwukamerowy system akwizycji obrazu zamknięty w cylindrycznej obudowie wytoczonej z tworzywa sztucznego zamkniętej z obu stron dwoma przezroczystymi pokrywami ze szkła akrylowego, na zewnątrz zawierającej dwie rączki i oświetlenie (Rys. 1, poz. 1 i 2). Wewnątrz znajdują się płytki z obwodami drukowanymi za pomocą, których całość stanowi jednolite urządzenie elektroniczne sterowane i zasilane z powierzchni. Pod kamerami znajdują się dwa zielone lasery, podsystem laserowy o założonej geometrii, który służy do nakładania na kadr punktów tłowych za pomocą, których wymiarowane będą obiekty podwodne. Z tyłu znajduje się mały ciekłokrystaliczny monitor, na którym nurek widzi obraz z jednej kamery. Dzięki czemu operator może mu wydawać polecenie przez system podwodnej łączności bezprzewodowej, a nurek może kontrolować filmowaną scenę. Z tyłu obudowy jest dziewięciopinowe gniazdo, złącze podwodne.



Rys. 1. System przestrzennego zobrazowania obiektów podwodnych [10]
1 – część podwodna systemu (tu w stacjonarnym wariantcie pracy), 2 – dwukamerowy podsystem akwizycji obrazu, 3 – kabel łączący część podwodną z częścią powierzchniową systemu, 4 – część powierzchniowa systemu, 5 – gogle zobrazowania nagłownego

Do niego podłączony jest kabel za pomocą, którego z powierzchni przesyłane jest zasilanie i komendy do sterowania całym wyposażeniem zamkniętym w obudowie (Rys. 1. poz. 3). Na powierzchni natomiast przesyłane są dwa nieskompresowane strumienie wideo w jakości DVD. Na powierzchni kabel podłączony jest do strugoszczelnej skrzyni, w której znajduje się komputer sterujący całością systemu (Rys. 1., poz. 4). Od komputera odchodzą dwa kable. Jeden zasilający. Drugi do podsystemu zobrazowania nagłownego (Rys. 1., poz. 5). Za jego pomocą uzyskuje się możliwość zdalnej obserwacji przestrzennej. Podsystem składa się z synchronizatora obrazów i gogli z dwoma ekranami ciekłokrystalicznymi. Na każdy z tych ekranów kierowany jest obraz z kamer znajdujących się pod wodą. Na lewy z kamery lewej, na prawy z kamery prawej. W ten sposób niejako wzrok operatora za pomocą systemu jest przeniesiony w miejsce gdzie znajduje się część podwodna systemu. Całość uzupełnia jeszcze podsystem nawigacji podwodnej za pomocą, którego jest określana bezwzględna pozycja geograficzna części podwodnej. Ten element systemu składa się z głowicy namiarowej zanurzonej w wodzie i pływającej na specjalnie opracowanej boji na

maszcie, której znajduje się odbiornik DGPS oraz transpondera hydroakustycznego montowanego na części podwodnej i komputera na monitorze, którego operator ma geograficzne zobrazowanie sytuacji podwodnej. Za pomocą tego podsystemu można nurka naprowadzić na cel o znanej pozycji geograficznej albo poprowadzić go po ustalonej wcześniej trajektorii. Opracowany i zbudowany w ZTNiPP – AMW system zobrazowania przestrzennego obiektów podwodnych jest przeznaczony do trójwymiarowej zdalnej obserwacji obiektów podwodnych. Efekt obserwacji trójwymiarowej jest osiągany za pomocą dwukamerowego systemu akwizycji obrazu i podsystemu zobrazowania nagłownego. Dzięki czemu operator systemu otrzymuje obraz obiektu widziany za pomocą dwóch kamer niezależnie na każde oko. Przekazywanie obrazu odbywa się bezpośrednio z kamer bez jakiegokolwiek obróbki cyfrowej obrazu w postaci dwóch równoległych strumieni video w jakości odpowiadającej standardowi DVD. Rozwiązanie powyższe umożliwia ocenę jakościową badanych obiektów podwodnych, ocenę ich wzajemnego usytuowania w przestrzeni oraz szacowanie ich bryłowości i wymiarów. Do prawidłowego funkcjonowania

systemu w powyżej opisany sposób konieczne jest oprogramowanie, które zostało napisane w toku realizacji projektu. Program o roboczej nazwie SAP11.exe przeznaczony jest do wizualizacji oraz rejestracji obrazu jednocześnie z dwóch kamer video skonfigurowanych do pracy w systemie stereowizji podwodnej. Dodatkowo z poziomu programu można sterować pracą (On/Off) dwóch znacznikowych wiązek laserowych oraz lampami oświetlającymi filmowaną przestrzeń. Program po starcie wyświetla zasoby systemu dotyczące zainstalowanych urządzeń do przechwytywania obrazu video. W zasadzie jest on przeznaczony do pracy z dwoma identycznymi kartami typu ATI Theater 550 Pro. Tego typu konfiguracja, tj. dwie identyczne karty video, dwie identyczne kamery do nich podłączone oraz ich identyczne parametry przechwytywania obrazu (zarówno kamer, jak i kart video), ustawiane dodatkowym programem narzędziowym, są konieczne do uzyskania możliwie najlepszego obrazu stereowizyjnego. Karty ustawione są na najlepszą z możliwych w danym przypadku jakość obrazu video (D1, 25 FPS). Na panelu kontrolnym programu są umieszczone przyciski do uruchomienia podglądu obrazów z obu kamer oraz do uruchamiania zapisu video synchronicznie z dwóch kamer na dysk twardy. Zbiory są rejestrowane w dwóch osobnych zbiorach typu *.avi, w których nazwie zawarte są:

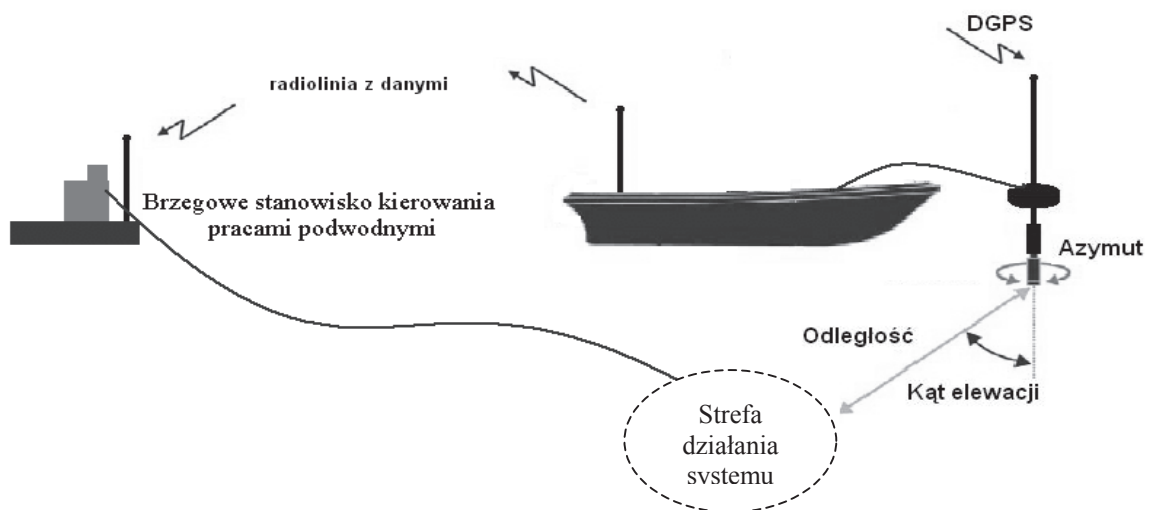
- znacznik kamery (L - lewa, P - prawa),
- data i czas rozpoczęcia zapisu.

Format zapisu jest nieskompresowany w celu jego późniejszej obróbki bez możliwej utraty jakości. Do prawidłowej pracy programu wymagana jest stosunkowo zaawansowana konfiguracja komputera klasy PC:

- system operacyjny : Microsoft Windows XP Professional 32 lub 64 bitowy (XP lub XP64),
- procesor: AMD Athlon 64 X2 3800+ lub szybszy,
- 1 GB pamięci RAM,

- macierz dyskowa RAID0 o pojemności ≥ 500 GB,
- dwie identyczne karty video PCI o możliwie wysokiej jakości przechwytywania obrazu (zastosowane karty ATI Theater 550 Pro dysponują 10-bitowym przetwornikiem A/D oraz zaawansowaną technologią filtracji obrazu od zakłóceń).

System może pracować w dwóch wariantach. Podstawowym tj. stacjonarnym (Rys. 1) do obserwacji obiektów nieruchomych (np. obiekty hydrotechniczne). Wówczas jednostka głębinowa systemu jest posadowiona na dnie akwenu na statywie. Drugi wariant (zapasowy) przewiduje pracę systemu w ruchu. Wówczas system jest przenoszony przez nurka, z którym operator porozumiewa się za pomocą podsystemu podwodnej łączności bezprzewodowej. Podczas pracy w wariantcie zapasowym konieczne jest pozycjonowanie systemu w położeniu podwodnym. Do tego celu wykorzystywany jest podsystem nawigacji podwodnej, który można w zależności od miejsca użytkowania (akwenu, rodzaju jednostki pływającej) wykorzystać na trzy sposoby. Pierwszy z nich jest praktycznie fabryczną konfiguracją systemu nawigacyjnego opracowaną przez jego producenta tj. firmę Sonardyne Ltd. Natomiast wariant drugi i trzeci został opracowany w toku realizacji projektu i ma umożliwiać operowanie z różnych jednostek pływających oraz działanie w akwenu śródlądowym zarówno z pokładu małej jednostki jak również z brzegu akwenu. Do tego celu zastosowanie ma zbudowana boja pomiarowa. Boja składa się z masztu i pływaków wypornościowych. Na jej części podwodnej montowana jest głowica nadawczo-odbiorcza systemu USBL Scout – system podwodnej nawigacji z ultrakrótką bazą, na topie masztu znajduje się odbiornik DGPS określający współrzędne geograficzne posadowienia boji pomiarowej.



Rys. 2. Konfiguracja podsystemu nawigacji podwodnej do pozycjonowania części podwodnej systemu zobrazowania przestrzennego opracowana w ZTNiPP – AMW [10]

Montaż odbiornika DGPS i głowicy USBL Scout na jednym maszcie (w jednej osi) niweluje konieczność mierzenia i wprowadzania do pamięci systemu USBL odległości i wzajemnego usytuowania tych urządzeń. W trzecim wariancie pracy dodatkowo ma zastosowanie zespół nadawczo-odbiorczy działający w paśmie UKF. Za pomocą tego zespołu możliwe jest posadowienie boji pomiarowej w rejonie działania, a wszystkie dane zbierane przez urządzenia na niej zamontowane są przesyłane drogą radiową na brzeg gdzie usytuowane jest stanowisko kierowania pracami podwodnymi (Rys. 2).

4. PODSUMOWANIE

Opracowany w toku realizacji projektu system obserwacji przestrzennej daje nowe możliwości realizacji oceny stanu technicznego badanych obiektów podwodnych. W czasie rzeczywistym można obserwować badany obiekt lub jego fragment w trzech wymiarach z powierzchni. Dodatkowo oprócz oprogramowania systemowego i opracowane podczas realizacji pracy, na komputerze obsługującym zbudowane urządzenie zostało zainstalowane oprogramowanie umożliwiające w fazie postprocesingu obróbkę cyfrową zdjęć i filmów. Jest to opcja umożliwiająca tworzenie papierowej dokumentacji z badań oraz prezentacji ich wyników w szerszym gronie bez konieczności zakładania systemu zobrazowania nagłownego. Programy te umożliwiają tworzenie zdjęć anaglifowych barwnych i monochromatycznych do oglądania przez okulary z filtrem oraz odtwarzanie filmu 3D za pomocą rzutnika komputerowego. W czasie dalszej realizacji projektu system został poddany badaniom w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych. Celem badań było sprawdzenie czy opracowany system funkcjonuje prawidłowo w środowisku, do którego został stworzony oraz czy zapewni realizację funkcji celu, jaką założono podczas jego projektowania. Pod tym pojęciem należy w tym przypadku rozumieć zdolność do zdalnej obserwacji przestrzennej obiektów podwodnych przez osoby, które do tego celu nie były specjalnie szkolone. Badania realizowano na losowej próbie osób: kobiet i mężczyzn. Ich przebieg oraz wyniki zostaną przedstawione w kolejnej publikacji.

LITERATURA

- [1] Beker L., Kaczyński R. „Fotografia i fotogrametria podwodna” WN-T Warszawa 1985.
- [2] Brześcińska W. „Fotogrametria” Wyd. Szkolne i pedagogiczne” Warszawa 1998.
- [3] Hoywood M., Matters N., „Underwater Inspection”. Center for Underwater Technology, USA 1986.
- [4] Larsen E. „Głębinowe cuda” Wyd. Wiedza powszechna Warszawa 1964.
- [5] Olejnik A. „Diagnostyka obiektów podwodnych z wykorzystaniem pojazdu typu ROV” DIAGNOSTYKA ISSN 641 – 6414 vol. 35 (2005); str. 99 – 104, rys. 5; tab. 0.
- [6] Olejnik A. „Obiekt podwodny jako przedmiot diagnostyki technicznej – problematyka podstawowa” POLISH HYPERBARIC RESEARCH ISSN 1734 – 7009 Nr 3 (2005), str. 31 – 46, rys. 10, tab. 2.
- [7] Olejnik A. „Analiza systemów wizyjnych pod kątem ich zastosowania w zobrazowaniu przestrzennym obiektów podwodnych” POLISH HYPERBARIC RESEARCH ISSN 1734 – 7009 Nr 2 15 (2006), str. 31 – 65, rys. 35, tab. 0.
- [8] Olejnik A., Grabiec D. „System przestrzennego zobrazowania obiektów podwodnych. Etap I. Analiza systemów wizyjnych pod kątem ich zastosowania w zobrazowaniu przestrzennym obiektów podwodnych” Praca statutowa AMW pk. „Narwał” Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 2005.
- [9] Olszański R, Skrzyński St., Kłos R. „Problemy medycyny i techniki nurkowej” Wyd. Okrętownictwo i Żegluga Gdańsk 1995.
- [10] Praca zbiorowa pod red. A.Olejnik „System przestrzennego zobrazowania obiektów podwodnych. Etap II. Budowa i badania systemu” Praca statutowa pk. „Narwał” Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 2006.
- [11] Praca zbiorowa: „Regulamin Służby Okrętowej” MW RP,
- [12] Praca zbiorowa: „Instrukcja prowadzenia okrętowych prac podwodnych przez ekipy nurków lekkich obrony przeciwawaryjnej” MW 859/81 Gdynia 1982.



kmdr por. dr inż. **Adam OLEJNIK** jest adiunktem na Wydziale Mechaniczno-Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Pracuje w Zakładzie Technologii Nurkowania i Prac Podwodnych. Zajmuje się poszukiwaniem i identyfikacją oraz oceną stanu technicznego obiektów podwodnych z zastosowaniem systemów bezzałogowych. Jest Członkiem Zarządu III kadencji Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej oraz Zastępcą Redaktora Naczelnego pisma „Polish Hyperbaric Research”. Ponadto jest członkiem Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej i Polskiego Klubu Stereoskopowego. Kierował zespołem pracowników ZTNiPP-AMW, który dokonał przy pomocy pojazdu typu ROV wizyjnej identyfikacji poszukiwanych od 60 – lat wraków jednostek „General von Steuben” (2004r.) i „Graf Zeppelin” (2006r.).