

Mariusz Matejski*, Tadeusz Graczyk*

TECHNOLOGIA BADAŃ PODWODNYCH W BAŁTYKU Z ZASTOSOWANIEM ZDALNIE STEROWANYCH POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono technologię badań podwodnych z zastosowaniem bezzałogowych zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych. Zaprezentowano doświadczenia zespołu badawczego projektującego i eksploatującego pojazdy na Wydziale Techniki Morskiej i Transportu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Przedstawiono rezultaty badań poligonowych przeprowadzonych w Bałtyku oraz w warunkach laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: technologia podwodna, monitoring podwodny, pojazdy głębinowe.

1. WPROWADZENIE

Probleмами ochrony i monitorowaniem środowiska naturalnego związanego z Morzem Bałtyckim zajmuje się Konwencja Helsińska, ratyfikowana przez Polskę w 1999 r. Już wcześniejsza (1974 r.) „Konwencja o Ochronie Środowiska Morskiego Obszaru Morza Bałtyckiego” nakazywała objęcie monitoringiem obszarów zatopienia amunicji i bojowych środków chemicznych oraz zalegających wraków, w których taka amunicja i środki mogłyby być przewożone [5].

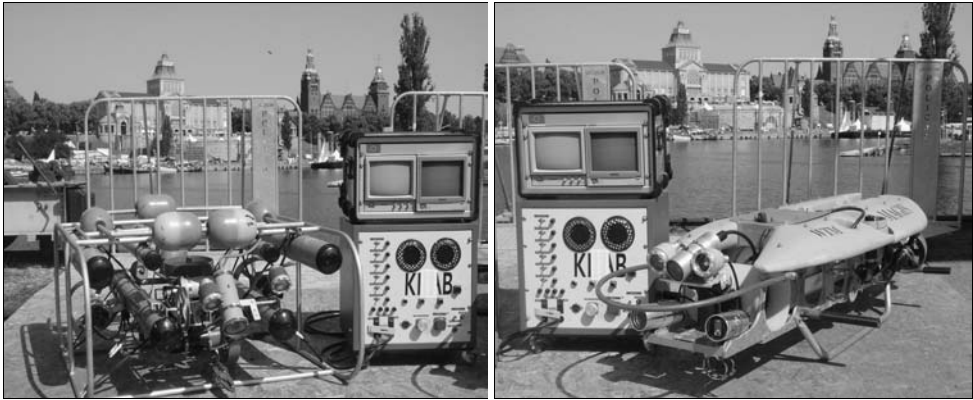
Wywiązanie się z podpisanych zobowiązań można zrealizować na wiele sposobów. Monitoring może być prowadzony z wykorzystaniem:

- nurków podczas nurkowania saturowanego,
- załogowych pojazdów głębinowych,
- zdalnie sterowanych bezzałogowych pojazdów głębinowych typu ROV (ang. remotely operated vehicle).

Na Wydziale Techniki Morskiej i Transportu (WTMiT) ZUT w Szczecinie (dawna Politechnika Szczecińska) od początku lat 80-tych prowadzone są badania związane z budową i eksploatacją zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych [1]. Efektem tych badań było powstanie głębokowodnych systemów do penetracji śro-

* Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

dowiska wodnego SWOT i TODS wyposażonych w pojazdy głębinowe KRAB i MAGiS, fot. 1 [3, 4].



Fot. 1. Bezzałogowe pojazdy głębinowe KRAB (po lewej) i MAGiS (po prawej) na nabrzeżu portowym Starówka w Szczecinie

2. METODYKA BADAŃ PODWODNYCH Z ZASTOSOWANIEM POJAZDÓW GŁĘBINOWYCH

Metodyka badań głębinowych z zastosowaniem pojazdów, wypracowana przez Zespół Techniki Głębinowej WTMiT, obejmuje trzy etapy postępowania, a mianowicie: przygotowania do badań, badania bezpośrednie i prace w bazie po zakończeniu badań [2].

Przygotowania do badań obejmują:

- określenie założeń i celu badań;
- określenie zakresu badań: badanie strefy przydennej pod kątem zalegania obiektów technicznych, badanie fauny i flory w strefie przydennej zbiornika wodnego, badanie linii brzegowej (nabrzeża), badanie parametrów fizykochemicznych wody zbiornika (na zadanej głębokości lub różnych głębokościach wg wybranego profilu penetracji), inspekcja obiektów technicznych;
- rozpoznanie logistyczne stanowiska badawczego: drogi dojazdowe, rodzaj nabrzeża, dostęp z brzegu, wodne środki transportu, możliwość wodowania (masa pojazdów: KRAB – 70 kg, MAGiS – 120 kg) z użyciem urządzenia spustowo-podnośnego;
- wyposażenie w urządzenia pomocnicze (bosaki, boje, liny) i środki bezpieczeństwa;
- określenie możliwości zasilania energetycznego: własne i sprawdzone źródło zasilania (przenośny agregat prądotwórczy) lub zewnętrzny system zasilania z jednostki pływającej lub nabrzeża (dopasowanie systemu);

- określenie możliwości komunikacji zewnętrznej (Internet, telefon stacjonarny);
- rozpoznanie geograficzne i charakterystyka akwenu: głębokość akwenu, prędkość prądu, stan wody (pływy dla morza i jezior przyziemnych), przejrzystość wody, temperatura wody, rodzaj dna, roślinność, przeszkody i obiekty podwodne – na podstawie map lub też badań wstępnych wykonywanych przy użyciu sonaru lub przez sondowanie;
- określenie konfiguracji sprzętu: dobór i usytuowanie wyposażenia opcjonalnego pojazdu, oświetlenia, kamer, manipulatora, magnetometru (w celu lokalizacji trudnych do zauważenia obiektów pokrytych osadami dennymi i roślinnością), systemu pozycjonowania hydroakustycznego (w celu dokładnej lokalizacji wykrytych obiektów). Usytuowanie kamer i oświetlenia: pojazdy wyposażone są w dwa tory wizyjne umożliwiające zainstalowanie zarówno kamery kolorowej i monochromatycznej oraz cztery reflektory. Standardowo jedna z kamer (kamera 1) montowana jest na platformie przechylnej (tilt) wraz z przynajmniej jednym reflektorem. Druga kamera w zależności od realizowanych zadań dubluje kamerę 1 lub montowana jest z boku lub z tyłu pojazdu. Często, w zależności od widoczności pod wodą, obraz z kamery monochromatycznej wyraźniej oddaje szczegóły techniczne np. spoiny spawalnicze czy głębokość wżerów korozyjnych. Bardzo ważnym jest dobór usytuowania oświetlenia względem kamer oraz wyregulowanie natężenia światła, dzięki czemu można uzyskać efekt stosunkowo dobrej widzialności nawet w mało przejrzystej wodzie;
- opracowanie scenariusza badań uwzględniającego zakres badań i zastosowane wyposażenie;
- dobór techniki prowadzenia pojazdu względem monitorowanego obiektu lub penetrowanego obszaru, co w szczególności dotyczy obiektów hydrotechnicznych i wraków zalegających na dnie akwenu oraz monitoringu konstrukcji oceanotechnicznych, w tym poszycia jednostek pływających i ich układów napędowych;
- przygotowanie warsztatowe systemu pojazdu – przegląd złączy, uszczelek, sprawdzenie poprawności działania systemu w stanie suchym, sprawdzenie stanu urządzeń zasilających, kompletności urządzeń pomocniczych i zabezpieczających, przygotowanie materiałów do rejestracji badań, ewentualne badania ruchowe i funkcjonalne w basenie doświadczalnym;
- rozpoznanie historyczne i prawne rejonu badań (działania wojenne, aktywność gospodarcza, aktywność kulturowa, prawo własności lub nadzoru);
- uzyskanie stosownego zezwolenia na przeprowadzenie badań (jeśli konieczne);
- przewidywanie pogody;
- powołanie głównej i pomocniczej ekipy badawczej;
- ubezpieczenie systemu i ekipy badawczej.

Badania bezpośrednie obejmują:

- transport systemu do miejsca badań;
- instalację systemu;

- próby poprawności systemu działania w warunkach rzeczywistych, kalibrację urządzeń;
- korektę scenariusza w oparciu o warunki rzeczywiste;
- badania zasadnicze;
- zabezpieczenie artefaktów, próbek i zarejestrowanych danych;
- deinstalację systemu;
- transport systemu do bazy.

Prace w bazie po zakończeniu badań obejmują:

- prace konserwacyjne systemu pojazdu, specyfikację koniecznych remontów i zakupów;
- wstępny przegląd artefaktów, próbek i zarejestrowanych danych;
- sprawozdanie z przeprowadzonych badań;
- badania laboratoryjne danych pomiarowych;
- opracowanie wyników badań, raport naukowy;
- publikację na łamach czasopisma branżowego.

3. MONITORING ŚRODOWISKA WODNEGO

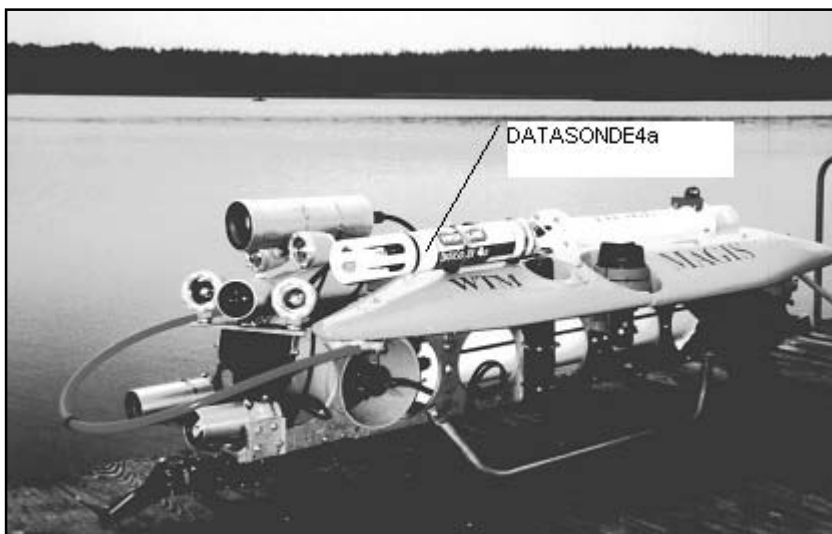
Monitoring z wykorzystaniem pojazdów głębinowych typu ROV może być prowadzony w zakresie badania parametrów środowiska wodnego oraz stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych i obiektów zalegających na dnie akwenu.

Miejsca zalegania bojowych środków chemicznych, w przypadku ich uwolnienia z pojemników, charakteryzują się anomaliami składu chemicznego wody morskiej. Anomalie te mogą być identyfikowane i określane poprzez:

- stacjonarny pobór próbek wody (ze statków lub łodzi) z rejestracją miejsca poboru próbki i głębokości; próbki te w dalszej kolejności poddawane są analizie w laboratoriach stacjonarnych;
- dynamiczny pomiar parametrów fizyko-chemicznych wody, pozwalający na stworzenie profilu zmian tych parametrów dla badanej części akwenu wodnego. Wykorzystuje się do tego celu pojazdy głębinowe typu ROV wyposażone w automatyczne sondy pomiarowe do badania wybranych parametrów wody (fot. 2).

Pojazdy KRAB i MAGiS eksploatowane na WTMiT są wyposażane w sondę DATASONDE 4a firmy Hydrolab (fot. 3) posiadającą możliwość pomiaru następujących parametrów fizykochemicznych wody na głębokości roboczej (Depth) do 100 m w funkcji czasu (Time), tabela 1:

- napięcia zasilania sondy (IBV Syr)
- temperatury (temp °C)
- kwasowości (pH),
- konduktywności-zasolenia (SpCond),
- zawartości tlenu (DO),



Fot. 2. Pojazd podwodny MAGiS z zamontowaną sondą pomiarową DATASONDE 4a

Tabela 1. Protokół pomiarów wykonanych przez sondę DATASONDE 4a – przykład

Zatoka Pomorska - 3 Mm.

Badanie parametrów wody.

Badanie wykonano przy użyciu sondy pomiarowej DATA SONDE 4a firmy HYDROLAB

Setup Date (MMDDYY) : 052211

Setup Time (HHMMSS) : 113651

Wiatr 1-2 °B N-W.

Pozycja: 2

Time IBVSvr Temp pH SpCond DO% DO BP Svr Sal Depth ORP Res HHMMS Volts °C

Units mS/cm Sat mg/l kPa ppt m. mV kW-cm

113651 7.7 14.68 8.33 11885 138.6 13.38 101.1 6.79 0.4 378 0.084

113718 7.6 14.66 8.31 12033 128.9 12.44 101.3 6.88 1.4 373 0.083

113740 7.6 14.65 8.29 12248 127.4 12.30 101.3 7.01 2.2 371 0.082

113756 7.6 14.57 8.26 12425 124.9 12.07 101.3 7.12 3.2 370 0.080

113816 7.6 14.53 8.24 12688 122.1 11.80 101.3 7.28 4.4 369 0.079

113834 7.6 14.54 8.24 12705 120.9 11.67 101.3 7.30 5.4 367 0.079

113850 7.6 14.53 8.23 12717 120.7 11.66 101.4 7.30 6.4 366 0.079

113904 7.6 14.18 8.15 12696 116.1 11.29 101.4 7.29 7.4 368 0.079

113924 7.6 13.84 8.10 13014 110.5 10.82 101.4 7.48 8.2 378 0.077

113935 7.6 13.04 7.78 13237 98.5 9.81 101.3 7.62 8.4 381 0.076

113948 7.6 12.00 7.49 13450 91.7 9.34 101.3 7.75 9.4 396 0.074

Recovery finished at 052211 113948

- ciśnienia barometrycznego (BP Syr),
- zasolenia (Sal),
- potencjału Redox (ORP),
- oporności (Res),
- a po zastosowaniu dodatkowych czujników także: mętności, chlorofilu, stężenia jonów azotanowych, chlorkowych i innych.

Zastosowanie systemu hydroakustycznego z super krótką bazą TRACKPOINT 4 (fot. 4) pozwala na określenie położenia pojazdu w toni wodnej (głębokość i odległość od stacji bazowej-jednostki pływającej lub punktu na brzegu). Umożliwia to określenie przestrzennego profilu zmian parametrów fizykochemicznych wody w badanym akwenu i sporządzenie odpowiedniej mapy przestrzeni wodnej.



Fot. 3. Sonda pomiarowa DATA SONDE 4a



Fot. 4. System pozycjonowania pojazdu z super krótką bazą

4. DOŚWIADCZENIA BADAWCZE ZESPOŁU

4.1. Monitoring obiektów oceanotechnicznych

Do zadań najczęściej wykonywanych przez pojazdy głębinowe typu ROV jest monitoring obiektów oceanotechnicznych i penetracja obiektów zalegających na dnie akwenu. Badania prowadzi się wykorzystując urządzenia wizyjne, pozwalające naczyniowo stwierdzić i zarejestrować stan obiektów. Pomocne są sonary i urządzenia magnetometryczne zamontowane na jednostkach pływających lub bezpośrednio na pojazdach głębinowych.

Zespół badawczy WTMiT realizował badania stanu technicznego rozmaitych konstrukcji i obiektów hydrotechnicznych, w tym: morskiej platformy wydobywczej gazu, nabrzeży portowych w Szczecinie i Świnoujściu, przystani promowej w Świnoujściu, głębi dokowej w Szczecińskiej Stoczni Remontowej „Gryfia”, sztucznej rafy w Zatoce Pomorskiej, wraków u wybrzeży Płw. Helskiego i Kołobrzegu.

Monitoring konstrukcji platformy samopodnośnej „Petrobaltic” polegał na sprawdzeniu i udokumentowaniu stanu technicznego konstrukcji nóg platformy oraz stanu połączeń spawanych w zakresie głębokości do 80 m, a także inspekcji otoczenia odwiertu.

W pierwszej fazie badań pojazd KRAB został zwodowany z platformy i pływając swobodnie dokonywał oględzin konstrukcji, co bez przeszkód możliwe było do głębokości ok. 30 m. Dalej wystąpiły trudności ze sterowaniem pojazdem związane z oddziaływaniem długiej kabloliny, a ponadto zaistniało ogromne niebezpieczeństwo zaplątania się jej w elementy konstrukcyjne platformy. Trudności te eliminował specjalny układ stabilizacji położenia pojazdu na większych głębokościach przy pomocy liny przewodnikowej z kotwicą i szakłami prowadzącymi, zakładanymi sukcesywnie co 15 m w miarę posuwania się w głąb akwenu. Założenie pierwszej szakli na kablolinie w odległości 30 m od punktu zaczepienia pojazdu pozwalało na trzydziestometrową swobodę jego operowania, co wystarczało do prawidłowego i bezpiecznego wykonywania zadań. Ograniczeniu uległo również niebezpieczeństwo zaplątania się kabloliny w elementach konstrukcyjnych platformy.

Operator obserwował na monitorach przestrzeń przed pojazdem. Ogólnej obserwacji konstrukcji dokonano używając kamery kolorowej, a detali połączeń spawanych – kamery monochromatycznej. Na fotografiach 5 i 6 przedstawiono elementy konstrukcyjne nóg platformy „Petrobaltic” na głębokości 60 m. Na tej głębokości pojazd utknął pomiędzy skośnymi wspornikami konstrukcji. Tylko dzięki intuicji operatora udało się go stamtąd wyplątać.



Fot. 5. Spoiny konstrukcji platformy „Petrobaltic”



Fot. 6. Zębátka nogi platformy „Petrobaltic”

4.2. Monitoring obiektów zalegających na dnie akwenu

Monitoring ten obejmuje inspekcję rurociągów podwodnych oraz penetrację wraków. Kontrola rurociągów podwodnych jest operacją żmudną i wyczerpującą dla operatora z uwagi na długotrwałe przemieszczanie pojazdu i śledzenie nitki rurociągu, ale nie niesie za sobą szczególnego niebezpieczeństwa dla eksploatowanego pojazdu. Doświadczenia zespołu WTMiT dotyczą inspekcji ujęcia wody dla Szczecina w Jez. Miedwie, tj. inspekcji konstrukcji czerpni i rurociągów na głębokości około 20 m.

Penetracja wraków jest zadaniem o wiele trudniejszym. Odbywa się w różnych warunkach pogodowych, niekiedy przy stanie morza dochodzącym do 4-5 °B. Kapiitanowie jednostek pływających niechętnie kotwiczą w pobliżu wraków obawiając się utraty kotwic, stąd istnieje niebezpieczeństwo dryfu jednostki i wzmożone oddziaływanie długiej kabloliny na pojazd głębinowy.

Zespół badawczy WTMiT prowadził w 2011 roku badania związane z penetracją wraków w okolicach Kołobrzegu. Badania prowadzone były z jednostki m/s Nurek. W trakcie badań spenetrowano wraki kontrtorpedowca i kutra rybackiego. Badania poprzedzono analizą warunków w jakich będą realizowane. Pierwszym ograniczeniem był brak możliwości kotwiczenia w pobliżu obiektu, drugim, że wrak jest poważnie uszkodzony i posiada wiele wystających, ostrych, skorodowanych elementów. Powyższe uwarunkowania wymusiły zastosowanie rozwiązań technologicznych umożliwiających bezpieczne prowadzenie badań:

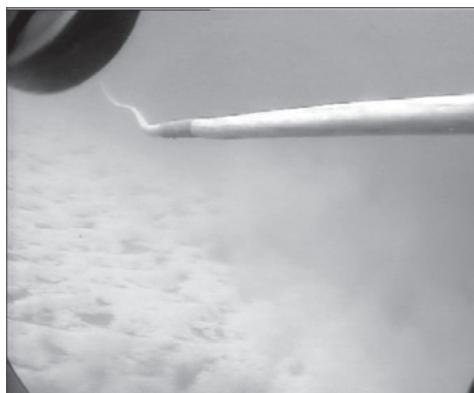
- z bębna magazynowego odwinęto całą kablolinę i ułożono na pokładzie, a nad jej odpowiednim wydawaniem do wody lub wybieraniem czuwały dwie osoby;
- zmieniono konfigurację mocowania kamer: jedna kamera, zamocowana na przechylnej platformie (tilt), umożliwiającej zmianę położenia w granicach 180°, skierowana była do przodu i służyła do obserwacji obiektu, a druga, skierowana do tyłu, służyła do obserwacji ułożenia kabloliny i pozwalała na bezpieczne wycofanie w wypadku uwikłania pojazdu w konstrukcji wraku – obrazy z poszczególnych kamer przedstawiono na fot. 7, 8, 9.

Sygnalami do wydawania lub wybierania kabloliny był sposób jej ułożenia obserwowany z kamery tylnej. Napięcie i prostoliniowy kształt ułożenia sugerował konieczność wydawania, natomiast kształt pofalowany, o dużej liczbie zwojów – konieczność jej wybierania. Przy kilkunastometrowej widzialności obserwacja kabloliny nie nastroczała trudności. W wodzie o małej przejrzystości (bywało nawet kilkanaście centymetrów) operacje z kabloliną zależą do wycucia osoby podtrzymującej jej końcówkę na pokładzie jednostki pływającej.

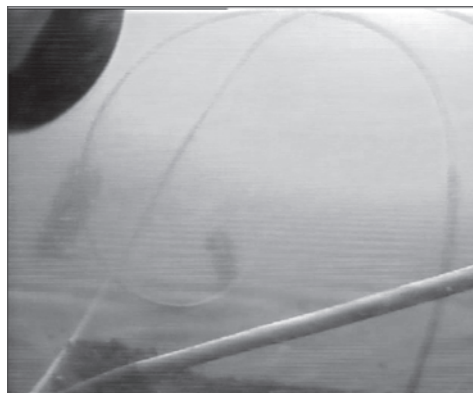
Na uwagę zasługuje sposób ułożenia kabloliny w toni wodnej. W zależności od zasolenia wody (gęstości) kablolina o neutralnej pływalności może pływać lub tonąć i układać się na dnie, stwarzając niebezpieczeństwo zaplątania. I taki przypadek zaistniał podczas wyciągania pojazdu, gdy nastąpiło zablokowanie kabloliny i niewielkie jej uszkodzenie o ostry element konstrukcji wraku. Przed tego rodzaju niebezpie-



Fot. 7. Ułożenie kabloliny przy dnie akwenu



Fot. 8. Kablolina napięta



Fot. 9. Kablolina nadmiernie luźna

czeństwem ustrzec się można odpowiednio wyważając kablolinę przez zamontowanie na niej dodatkowych pływaków zwiększających jej pływalność.

Istnieje też niebezpieczeństwo zaplątania lub urwania kabloliny przez zespół napędowy statku badawczego. W trakcie wydawania kablolina znalazła się w pobliżu śruby statku, która na skutek falowania obróciła się, zagarniając kablolinę w okno śrubowe, fot. 10. Sposób wypłatania się z takiej pułapki okazał się prosty – pojazd został wyciągnięty na pokład, kablolina odczepiona od niego, a jej złącze zaszcelnione, po czym kablolinę przeciągnięto pod statkiem. Po wyciągnięciu swobodnej już kabloliny na pokład, przemyciu złącza wodą destylowaną i wysuszeniu, po następnych kilku minutach pojazd był znowu gotów do dalszej pracy.

Niebezpieczeństwo urwania pojazdu głębinowego pojawia się, gdy wyniku dryfowania statku, jego odległość od pojazdu głębinowego osiąga długość kabloliny.

Taki przypadek miał miejsce, gdy ruchy statku na fali powodowały szarpnięcia, które przenosiły się na bęben kabloliny. Szybki manewr pół-naprzód oraz podciągnięcie kabloliny przez obsługę zażegnały niebezpieczeństwo.

Zespół badawczy WTMiT prowadził także monitoring elementów konstrukcyjnych o znacznej długości, tj. nabrzeży, poszycia statku oraz monitoring szynowego slipu dla podnoszenia i opuszczania jednostek pływających, fot. 11 i 12. W tym wypadku należało zadbać o dokładną identyfikację miejsca, w którym aktualnie prowadzony był monitoring, aby w przypadku wykrycia usterki możliwe było szybkie dotarcie i naprawa przez wyspecjalizowane ekipy nurków. Stosowane były w tym celu znaczniki cyfrowe pozostawiane przez pojazd.



Fot. 10. Kablolina wplątana w okno sterowe statku



Fot. 11. Podmyty fragment torowiska slipu



Fot. 12. Prawidłowo podparte torowisko slipu

5. PODSUMOWANIE

Prowadzenie monitoringu przez zdalnie sterowane pojazdy głębinowe jest zadaniem skomplikowanym, wymagającym przyjęcia odpowiedniej technologii wykonania zadań, zapewnienia zaplecza technicznego oraz właściwego przygotowania operatorów.

Technologia wykonania zadań podwodnych musi uwzględniać stan techniki oraz warunki środowiskowe obszaru zadań. Niezbędne jest odpowiednie przygotowanie techniczne – dobór systemu głębinowego i współpracującej z nim stacji kontroli oraz stałej lub pływającej jednostki wspierającej. Od operatorów wymaga się ogromnej wyobraźni przestrzennej i intuicji. Poza wiedzą teoretyczną muszą oni wykazać przygotowanie praktyczne, które doskonalone jest w warunkach poligonowych na szkoleniach i kursach. Takie przygotowanie zapewnia bezawaryjne wykonanie zadań podwodnych bez utraty pojazdu lub opóźnień w ich realizacji.

Doświadczenia zespołu badawczego WTMiT wskazują na możliwości rozwoju i upowszechnienia techniki głębinowej wykorzystującej zdalnie sterowane pojazdy głębinowe w szerokim zakresie zadań podwodnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Graczyk T.: Technika podwodna w Zakładzie Technologii Okrętów Politechniki Szczecińskiej. Sympozjum «Problemy rozwojowe techniki okrętowej», PAN i WTM PS, Szczecin, 6.10.1995, str. 41-49.
2. Graczyk T., Matejski M., Dramski M.: Morskie badania wdrożeniowo-eksploatacyjne systemu monitoringu głębinowego, Polish Hyperbaric Research, 2(27), 2009: 37-47.
3. Matejski M., Graczyk T.: Możliwości wykorzystania systemu głębinowego SMG do monitoringu środowiska naturalnego w obrębie nieruchomych konstrukcji pływających i elektrowni wiatrowych. XXX Sympozjum Siłowni Okrętowych SymSO 2009, Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Katedra Siłowni Okrętowych, Zeszyty Naukowe AMW, Gdynia 19-20.11.2009.
4. Matejski M., Graczyk T.: Pojazdy głębinowe – eksploatacja, utrzymanie, zarządzanie systemem, Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Transport XXI wieku”, Politechnika Warszawska - Wydział Transportu, PAN - Komitet Transportu, Warszawa 20-22.09.2004 r.
5. <http://www.gios.gov.pl/artykuly/321/Konwencja-Helsinska>

TECHNOLOGY OF UNDERWATER RESEARCH IN THE BALTIC SEA APPLYING REMOTELY OPERATED VEHICLES

Summary

Technology of underwater research applying remotely operated vehicles is discussed in an article. There are presented experiences of research team in vehicle design and exploitation at the Faculty of Maritime Technology and Transportation, West Pomeranian University of Technology, Szczecin. Results of in-the-field research in the Baltic Sea and laboratory tests are presented, as well.

Keywords: underwater technology, underwater monitoring, ROVs.