

TENDENCJE ROZWOJOWE BEZZAŁOGOWEJ TECHNIKI MORSKIEJ

Adam Olejnik

Akademia Marynarki Wojennej, Zakład Technologii Prac Podwodnych w Gdyni

STRESZCZENIE

W niniejszym artykule dokonano próby zidentyfikowania aktualnych trendów rozwojowych bezzałogowych technologii morskich takich jak bezzałogowe pojazdy nawodne i podwodne. Analizy wykonano na podstawie dostępnych źródeł literaturowych, baz danych o projektach badawczych i źródeł internetowych. W materiale rozgraniczono badania terytorialnie ze względu na miejsce ich realizacji wyodrębniając obszar Unii Europejskiej, Stanów Zjednoczonych AP i Polski. W artykule na podstawie przeglądu celów i zakładanych efektów końcowych projektów wyodrębniono tendencje rozwojowe dla omawianej techniki morskiej. Ciekawym efektem przeglądu jest obserwacja, że polskie prace B+R z tego obszaru plasują się w głównych zidentyfikowanych tendencjach rozwojowych. Niestety ich efekty nie są porównywalne ze względu na znikomą wysokość krajowych funduszy na działalność B+R w porównaniu z innymi państwami.

Słowa kluczowe: technologia prac podwodnych, inżynieria morska.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2016 Vol. 55 Issue 2 pp. 7-28

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2016-0008

Strony: 22, rysunki: 4, tabele: 1

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 14.03.2016r.

Termin zatwierdzenia do druku: 16.06.2016r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

W artykule opublikowanym w Polish Hyperbaric Research Nr 1(2016) przedstawiono analizę rozwoju techniki i technologii podwodnych, umożliwiających podbój głębin oraz pracę pod wodą pod kątem maksymalnej osiągniętej głębokości [1].

W materiale tym wykazano, że przez wiele lat rozwoju tej dziedziny zdołano pokonać wiele trudności, w wyniku czego opracowano i zbudowano szereg rozwiązań, dzięki którym udało się ludziom zanurzyć na maksymalną zarejestrowaną na Ziemi głębokość oceanu. Ale zwrócono uwagę na to, że było to możliwe tylko dzięki rozwiązaniom izolacyjnym. Na podstawie czego wysnuto wniosek, że obecność i praca człowieka na dużych głębokościach będzie możliwa jedynie w sposób wirtualny.

Jednym z dostępnych obecnie sposobów technicznej realizacji takiej obecności w głębinach są zdalnie sterowane pojazdy podwodne (tzw. ROV – z j. ang. remotely operated vehicle) lub ogólnie rozumiane bezzałogowe urządzenia morskie. Urządzenia te rozwijają się w sposób kumulatywny od bardzo dawna, a w ich rozwoju można wyodrębnić cztery okresy rozwojowe, o czym napisano szczegółowo we wcześniejszych publikacjach autora [2,3]. Dziś, jest to jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się nurtów technologii prac podwodnych.

W niniejszym materiale, na podstawie dostępnych informacji na temat badań w obszarze podwodnych i nawodnych technologii bezzałogowych, dokonano próby zidentyfikowania jej aktualnych trendów rozwojowych. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane pobrane z pełnotekstowych baz danych o zawartości czasopism naukowych oraz bazy danych o realizowanych projektach np. CORDIS – Community Research and Development Information Service – lub informacji dostępnych na stronach internetowych ośrodków badawczych. W materiale rozgraniczono badania terytorialnie ze względu na miejsce ich realizacji, wyodrębniając obszar Unii Europejskiej, Stany Zjednoczone oraz Polskę. Podział wynikał z wcześniej przeprowadzonych analiz, których wyniki wykazały, że na terenie UE i USA występuje największa dynamika działań w omawianym zakresie. Polskę wydzieleno z oczywistych powodów.

PRACE BADAWCZO ROZWOJOWE REALIZOWANE W UNII EUROPEJSKIEJ

Począwszy od 4FP, w UE realizowano około 110 różnych projektów badawczo-rozwojowych związanych z technologią bezzałogowych pojazdów głębinowych. Jednym z nich był program, którego celem było opracowanie zdalnie sterowanego robota przeznaczonego do czyszczenia kadłubów jednostek pływających („HISMAR”).

Celem projektu było opracowanie urządzenia zdalnie sterowanego, które mogłoby wykonywać czyszczenie kadłuba z porostów pod wodą bez konieczności dokowania zgodnie z obowiązującymi w UE przepisami i w sposób ekonomicznie akceptowalny. Polska brała udział w tym przedsięwzięciu jako jeden z jego realizatorów (PRS S.A.)

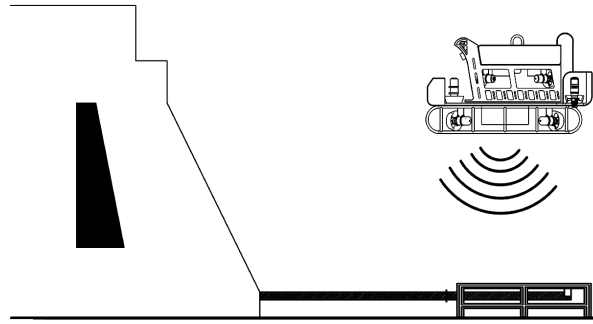
Kolejny program realizowany w UE to na przykład „Asimov” – rozpoznanie akwenu przy pomocy podwodnej półautonomicznej jednostki głębinowej sterowanej wiązką hydroakustyczną przez bezzałogową autonomiczną jednostkę powierzchniową, z możliwością radiowego przekazywania informacji do różnych użytkowników lub program „Swimmer” – którego celem było opracowanie jednostki hybrydowej – pojazd autonomiczny transferuje pojazd typu ROV na podwodne stanowisko pracy, przykładowo w strukturze pola naftowego, gdzie dokuje za pomocą naprowadzania hydroakustycznego na przygotowany wcześniej garaż podwodny połączony kabloliną z powierzchniowym stanowiskiem sterowania pojazdem ROV.

Po zadokowaniu następuje połączenie ROV z stanowiskiem kierowania, wypłynięcie pojazdu z nosiciela i wykonanie zadania w sposób zdalnie sterowany (Rys. 1.1). Firma SAAB ze Szwecji zrealizowała natomiast program, którego celem jest zbudowanie pojazdu modułowego zabezpieczającego zarówno obserwację podwodną jak i nawodną poprzez wysunięcie peryskopu. Natomiast za pomocą platformy Saab Ventures z duńską firmą C-Leanship APS realizuje projekt w zakresie pojazdów ROV do czyszczenia podwodnej części kadłuba jednostek pływających. Podobną tematykę obejmują projekty np. norweski CleanHull czy transkontynentalny DNV-Oceaneering (amerykańsko-norweski).

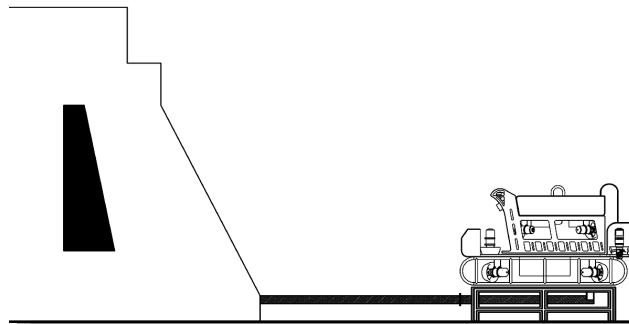
Ciekawym rozwiązaniem integrującym europejskie środowiska badawcze był realizowany w ramach 6FP projekt o akronimie FREESUBNET - Europejska sieć badawcza dla kluczowych technologii, dla interwencyjnych autonomicznych pojazdów podwodnych. W ramach programu zbudowano wirtualne narzędzia do komunikowania się pomiędzy środowiskami naukowymi, skupiające ponad piętnaście europejskich ośrodków naukowych, rozrzuconych po całej Europie.

W czasie trwania programu, za pomocą tego narzędzia, opublikowano ponad 170 rozpraw naukowych, z których kilka skończyło się uzyskaniem stopnia doktora, a kilkadziesiąt magistra. Dostęp do informacji zawartych w sieci dla młodych naukowców był niepowtarzalną okazją do współpracy z wiodącymi pracownikami naukowymi i ośrodkami badawczymi, w dziedzinie pojazdów podwodnych.

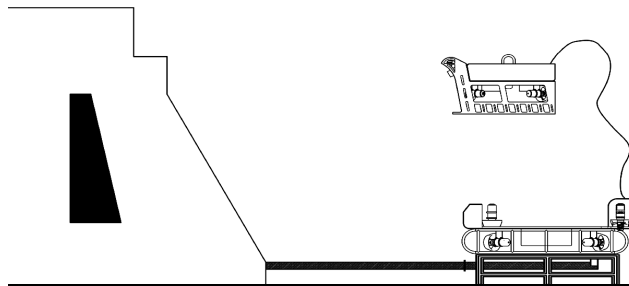
A.



B.



C.



Rys. 1.1 Modułowa konstrukcja systemu głębinowego – pojazd autonomiczny transportuje pojazd zdalnie sterowany do stacji dokującej (A), po zadokowaniu w stacji następuje połączenie z kabloliną sterującą (B) i wypłynięcie pojazdu zdalnie sterowanego w celu wykonania zadania (C).

W ramach 7FP zrealizowano kilkanaście różnych programów badawczych z obszaru bezzałogowych technik głębinowych, na łączną kwotę ponad 30 mln Euro, z uwzględnieniem wkładu własnego beneficjentów [4,30a]. Do najciekawszych z nich należały projekty o następujących akronimach: CURE, ARROWS, MORPH, PANDORA, COCORO, NOPTILUS, SURF3DSLAM, TRIDENT oraz POLMOSAIC.

Celem projektu CURE¹ realizowanego w latach 2009 – 2012 było wzmocnienie chorwackiego potencjału w dziedzinie robotyki podwodnej. Działania skupiały się na wspieraniu i aktywizacji zasobów ludzkich i materialnych, rozwijaniu partnerstwa z wiodącymi ośrodkami naukowo-badawczymi w Europie oraz poprawie infrastruktury badawczej.

Koordynatorem projektu było Sveuciliste w Zagrebu Fakultet Elektrotehnike i Racunarstva. W przypadku projektu ARROWS² (2012 – 2015), zadaniem było opracowanie niedrogich konstrukcji pojazdów podwodnych, w celu znaczącego obniżenia kosztów realizacji podwodnych badań archeologicznych. Projekt był realizowany solidarnie przez ośrodki naukowe z Włoch, Estonii, Hiszpanii i Wielkiej Brytanii. Koordynatorem projektu był Universita Degli Studi Di Firenze (Włochy).

Projekt pod tytułem *Marine robotic system od self-organizing, logically linked physical nodes* – MORPH – realizowano (2012 – 2015) w celu opracowania współpracujących oddzielnych mobilnych robotów podwodnych, zdolnych do penetracji akwenu i dostosowania swojej wielomodalnej konfiguracji do sytuacji w terenie, połączonych w inteligentną sieć za pomocą

podwodnych sieci komunikacyjnych. Zdolność ta ma za zadanie uzyskanie skutecznej metody mapowania podwodnego środowiska, z dużą dokładnością.

Projekt był realizowany przez instytucje naukowe z Niemiec, Portugalii, Francji, Hiszpanii oraz Włoch – koordynatorem projektu była niemiecka firma Atlas Elektronik GmbH. W przypadku projektu PANDORA³ realizowanego w latach 2012 – 2014 celem było opracowanie nowych metod automatycznego identyfikowania uszkodzeń i usterek pojazdów podwodnych oraz sposobów reagowania na nie. Projekt był realizowany w kooperacji instytucji badawczych z Wielkiej Brytanii, Grecji i Hiszpanii, a koordynatorem był Heriot-Watt University (Wielka Brytania). Ciekawe rozwiązania zaproponowano w ramach realizacji projektu COCORO⁴ (2011 – 2014), którego celem było opracowanie technologii roju podwodnych robotów mogących ze sobą współpracować i wspólnie wykonywać zadania wchodzą w interakcje pomiędzy jednostkami głębinowymi wchodzącymi w skład roju.

Projekt realizowało 5 jednostek naukowych z Austrii, Włoch, Wielkiej Brytanii i Belgii, a koordynatorem projektu był Universitaet Graz (Austria). W ramach projektu NOPTILUS⁵ (2011 – 2015), opracowywano nowatorski metody autonomicznego sterowania pojazdami podwodnymi. Projekt realizowało 8 jednostek naukowych z Grecji, Portugalii, Szwajcarii, Holandii i Wielkiej Brytanii, koordynatorem projektu było Centre For Research And Technology Hellas (Grecja). Projekt SURF3DSLAM⁶ (2011 – 2013) miał na celu opracowanie dokładnego systemu pozycjonowania pojazdów podwodnych bez wykorzystania zewnętrznej infrastruktury. Ten projekt samodzielnie realizował Universitat De Girona z Hiszpanii.

W ramach projektu TRIDENT⁷ (2010 – 2013) opracowywano założenia dla heterogenicznego systemu robotów składającego się z jednostek głębinowych i podwodnych. Projekt był realizowany przez 8 jednostek naukowych z Hiszpanii, Wielkiej Brytanii, Włoch i Portugalii, a koordynatorem projektu był Universitat Jaume I De Castellon (Hiszpania). Ostatni z wymienionych wcześniej projektów, to projekt o akronimie POLMOSAIC⁸ (2010 – 2012), którego celem było opracowanie techniki umożliwiającej uzyskanie wysokorozdzielczego obrazu dna do tworzenia fotomozaiki z wykorzystaniem metod polarymetrii. Projekt był realizowany samodzielnie przez Universitat De Girona w Hiszpanii.

Na oddzielną uwagę na obszarze europejskim zasługuje działalność badawczo-rozwojowa szwedzkiej firmy SAAB AB. Svenska Areoplan AktieBolaget AB to firma założona w 1937 roku jako szwedzki koncern lotniczy. Po drugiej wojnie światowej podzielono ją na część produkującą samochody Saab Automobile AB (upadłość 01.2012) i Saab AB produkująca technologie obronne głównie lotnicze i morskie.

Praktycznie od roku 1990, obydwie podmioty funkcjonujące pod prawie tą samą nazwą to odrębne przedsiębiorstwa. Obecnie firma SAAB AB funkcjonuje w pięciu obszarach biznesowych obejmujących lotnictwo, elektroniczne systemy bezpieczeństwa, technologie morskie i lotnicze oraz serwis techniczny i usługi. Na badania i rozwój firma wydaje około 2,5 miliarda PLN rocznie (dane na koniec 2011 r.) [5].

Jest to obecnie europejski lider w segmencie pojazdów podwodnych oferuje 10 różnych konstrukcji jednostek typu ROV. Działalność w zakresie produkcji pojazdów podwodnych prowadzi podmiot zależny o nazwie Saab Underwater Systems AB. Jedną z form finansowania innowacyjnych rozwiązań w Saab jest platforma Saab Ventures, po przez którą firma inwestuje w małe i szybko rozwijające się spółki typu spin-out, przejmując w ten sposób nadzór właścicielski nad spółką i jej technologiami.

Mechanizm ten wykorzystano przy przejęciu brytyjskiej spółki Seaeye Marine Ltd. założonej przez Iana i Janet Blamire w 1986 roku – tworząc SAAB Seaeye Marine Ltd. Spółka ta niedawno powiększyła swoją zdolność produkcyjną o 50% w związku z otwarciem nowego zakładu produkcyjnego w Portsmouth. Zakład ten obejmuje warsztaty techniczne, zbiorniki do testowania pojazdów, zaplecze konstrukcyjne i konferencyjno-projektowe. Saab Seaeye Marine Ltd. stał się liderem na rynku pojazdów ROV poprzez zastosowanie innowacyjnych technologii silników bezszczotkowych, polipropylenowych ram nośnych dla pojazdów oraz nowatorskim podejściem do systemów ich zasilania, sterowania i kontroli. Obecnie, jednym z podobnych projektów z zastosowaniem platformy Saab Ventures jest współpraca z duńską firmą C-Leanship APS w zakresie pojazdów ROV do czyszczenia podwodnej części kadłuba jednostek pływających.

W ramach programów współfinansowanych przez Unię Europejską, należy jeszcze wspomnieć o projekcie badawczym, którego koordynatorem była polska jednostka naukowa. To projekt o akronimie CHEMSEA⁹ (2011 – 2014) [6]. Co prawda, celem tego projektu była ocena składu i amunicji chemicznej zatopionej po II wojnie światowej w Morzu Bałtyckim, ale w ramach projektu znalazły się zadania badawcze dotyczące konstrukcji pojazdów głębinowych.

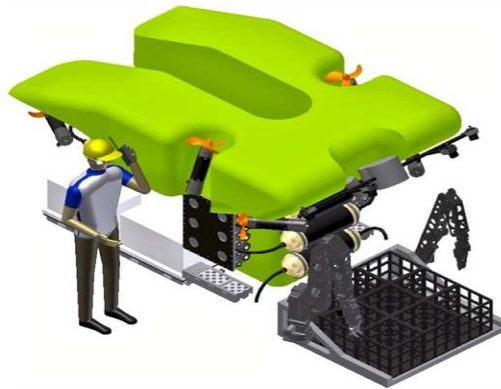
Polegało to na dostosowaniu konstrukcji pojazdu ROV do badań miejsc potencjalnie skażonych, z możliwością pobierania próbek materiału dennego i wody z warstwy naddennej. Projekt realizowało 11 jednostek naukowych pochodzących z Polski, Szwecji, Finlandii, Niemiec i Litwy. Koordynatorem projektu był Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie¹⁰.

BADANIA AMERYKAŃSKIE

Badacze oceanów na całym świecie dążą do możliwości zbierania danych o akwenach pozwalających na pozyskanie wielu informacji z dużych obszarów i za pomocą różnych rozwiązań technicznych. Tradycyjnie wykorzystywane są do tego statki oceanograficzne, wyposażone w różnorodną aparaturę. Ciekawą inicjatywą w tym zakresie jest założony w 2009 roku przez Erica Schmidta instytut badawczy pod nazwą Schmidt Ocean Institute z siedzibą w Palo Alto (Kalifornia, USA).

Misją ośrodka jest zdobywanie wiedzy o oceanach poprzez gromadzenie danych za pomocą floty podwodnych urządzeń zrobotyzowanych ich analizowanie i otwartą wymianę pomiędzy różnymi środowiskami [30b]. Przy czym należy zwrócić uwagę na fakt, że w opinii E. Schmidta problemem nie będzie raczej sposób zbierania tych danych, tylko ich przetwarzanie. Z tych powodów uważa, że tym powinny zająć się odpowiednio skonstruowane maszyny analityczne, które powinny zapanować nad ogromną ilością zebranych informacji. Podstawowym narzędziem badawczym instytutu jest statek R/V Falkor wyposażony w szereg urządzeń do badania środowiska, w tym pojazdy bezzałogowe. Obecnie instytut realizuje projekt głębokowodnego pojazdu badawczego o hybrydowej konstrukcji zdolnego do pracy na głębokościach 4500m (Rys. 2.1).

Projekt przewiduje zbudowanie całej floty takich pojazdów, z których pierwszy ma wejść do eksploatacji w roku 2016, a kolejne w następnych latach. Docelowo plan przewiduje osiągnięcie zdolności operacyjnych za pomocą tych urządzeń na głębokościach 11 000m.

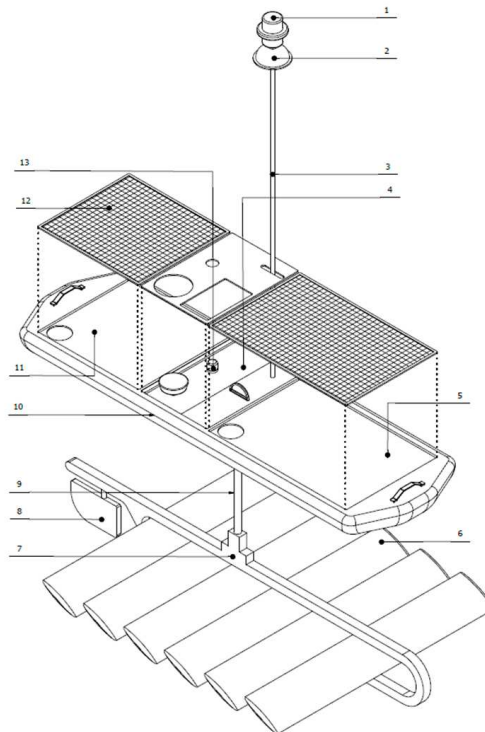


Rys. 2.1. Koncepcja głębowodnego pojazdu hybrydowego opracowana w Schmidt Ocean Institute [30b].

Tam, gdzie potrzeba polega wyłącznie na zebraniu danych o środowisku wodnym, występują próby odchodzenia od zastosowania urządzeń zdalnie sterowanych, dążąc do opracowania pojazdów jak najbardziej autonomicznych pod względem energetycznym i samodzielnych podczas realizacji zadań. Jest to możliwe, ponieważ w takim przypadku nie występuje konieczność wykonywania jakichkolwiek operacji technologicznych lub związanych z pobieraniem próbek materiału dennego, a podstawowym wyposażeniem pokładowym stają się sensory parametrów środowiskowych.

Dane zbierane przez nie mogą być przekazywane w dowolny znany technice współczesnej sposób, choćby na smartfona należącego do kierownika projektu badawczego. W takich przypadkach do badań oceanów wykorzystywane są podwodne i nawodne szybowce. Przykładowo opracowany i zbudowany przez firmę Liquid Robotics Wave Glider (Sunnyvale Kalifornia, USA) – Rys. 2.2.

Ten nawodny szybowiec porusza się z prędkością do 4 km na godzinę i nie wymaga żadnego źródła zasilania, ponieważ porusza się dzięki kołyszącym go falom. Sześć metrów poniżej kadłuba powierzchniowego znajdują się skrzydła napędzające pojazd. Ruch falowy jest przekładany na poziomy na podobieństwo poziomej płetwy ogonowej wieloryba. Zasilanie wszystkich urządzeń pokładowych w tym i łączności satelitarnej jest realizowane za pomocą zamontowanych w górnej części pojazdu ogniw słonecznych.



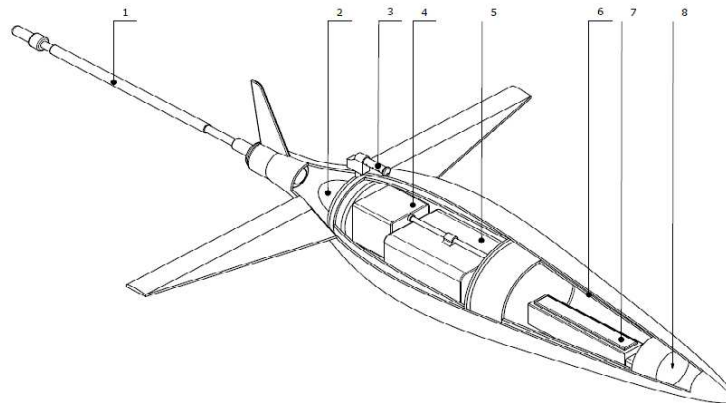
Rys. 2.2. Pojazd Wave Glider opracowany przez firmę Liquid Robotics.

1 – stacja pogodowa, 2 – światło pozycyjne, 3 – maszt, 4 – komora z wyposażeniem elektronicznym, 5 – bateria dziobowa, 6 – skrzydła napędowe, 7 – rama nośna skrzydeł, 8 – ster kierunku, 9 – żerdź łącząca część powierzchniową z podwodną, 10 – kadłub nośny, 11 – bateria rufowa, 12 – panel słoneczny (rufowy), 13 – antena urządzenia systemu automatycznej identyfikacji statków (AIS) [30c].

Wave Glider nie może jednak zanurzyć się i badać głębin oceanów. Do tego celu przeznaczony jest inny rodzaj morskiego bezzałogowego szybowca. Przykładowo zbudowany na University of Washington w Seattle (USA) pojazd Seaglider – Rys. 2.3. Pojazd zanurza się dzięki przesuwaniu balastu pomiędzy dziobem a ogonem i wytwarzaniu siły nośnej na poziomych sterach głębokości.

Zwiększenie efektu następuje dzięki przetłaczaniu przez niewielką pompę oleju, który powoduje zmianę położenia dziobu pojazdu. Jednostka porusza się w toni wodnej ruchem sinusoidalnym, przy jednym zanurzeniu pokonując w poziomie dystans około kilku kilometrów i zanurzając się na głębokość nawet jednego kilometra. Płynąc w ten sposób z prędkością około 1 km/h (0,5 kt), może pracować nawet przez kilka miesięcy, ponieważ bateria zasilająca niewielki silnik pompy nie wymaga wymiany zbyt często. Jak widać dużym wyzwaniem dla tych urządzeń jest ich sposób zasilania w energię elektryczną.

Ciekawą i nowatorską koncepcję w tym zakresie przedstawił w artykule science fiction opublikowanym w czasopiśmie *Oceanography* w 1989 roku Henry Stommel [7]. Natomiast jej realizacja to dzieło inżynierów z Teledyne Webb Research wykonana na zlecenie Woods Hole Oceanographic Institution w 1991 roku [8]. Jest topodwodny szybowiec (nazwany Slocum Glider), który napędzany jest silnikiem wypornościowym zasilanym wymiennikiem ciepła.

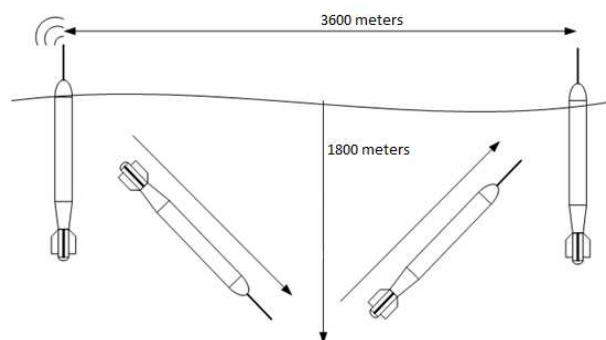


Rys. 2.3. Pojazd SeaGlider opracowany na University of Washington [30d].

1 – antena system GPS, 2 – balon pneumatyczny, 3 – czujniki pomiarowe, 4 – system hydrauliczny z olejem, 5 – baterie, 6 – osłona przeciwiśnieniowa, 7 – moduł elektroniki, 8 – transponder hydroakustyczny.

Napęd wykorzystuje różnicę temperatur pomiędzy wodami powierzchniowymi a głębinowymi. Podstawą jest materiał zmieniający swoją objętość pod wpływem zmian temperatury, który napędza małą pompę hydrauliczną zasilającą generator prądu. Dzięki temu, rozwiązaniu - jak wykazały badania, szybowiec może zanurzyć się na głębokość około 1800 metrów i przebyć w tym czasie drogę niecałych 4 km (Rys. 2.4) [30e].

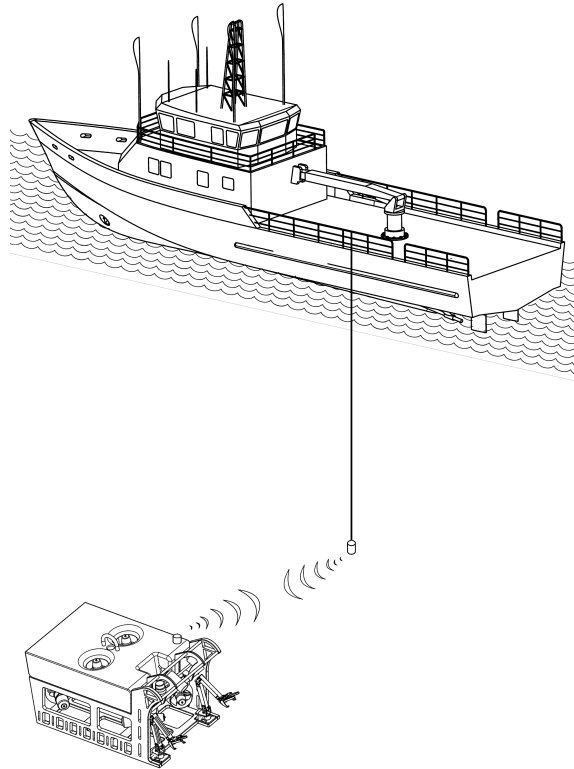
Najnowsze rozwiązania Teledyne Webb Research to pojazd o masie do 60 kg, głębokości roboczej do 1200 metrów, z autonomicznością energetyczną do 5 lat i możliwością pokonania w tym czasie drogi około 40 000 km. Pojazd Slocum G2 Glider porusza się za pomocą silnika wypornościowego z prędkością 0,35 m/s [30e].



Rys. 2.4. Profil misji pojazdu Slocum Glider [8].

Całkowity przełom w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych dotyczących technicznych sposobów zdalnej kontroli pojazdów nastąpił stosunkowo niedawno. W 2013 roku amerykański pojazd Nereus pracujący na głębokości ponad 700 metrów był sterowany z wykorzystaniem kanału hydroakustycznego z jednoczesną transmisją danych wizyjnych z prędkością i w jakości umożliwiającej sterowanie manipulatorem pojazdu w czasie rzeczywistym (Rys. 2.5).

Oczywiście do tego rozwiązania wykorzystano hydromodem zanurzany na dużą głębokość, za pomocą kabla światłowodowego i z tego powodu, taka konfiguracja jest nazywana kanałem hydroakustyczno-optycznym [9].



Rys. 2.5. Wykorzystanie kanału hydroakustyczno-optycznego do sterowania pojazdem na dużych głębokościach.

Szereg ciekawych projektów rozwojowych w obszarze morskich platform bezzałogowych jest realizowanych przez Naval Research Laboratory (NRL), a dokładnie wchodzące w jego skład Laboratory for Autonomous Systems Research.

Jednym z takich projektów jest koncepcja bezzałogowego pojazdu latająco-nurkującego – Flimmer UAV/UUV – celem projektu jest opracowanie rozwiązania łączącego bezzałogowe pojazdy latające z podwodnymi, co ma znacząco poprawić taktyczną dostępność pojazdów podwodnych w krótkim horyzoncie czasowym na niewielkich odległościach i w miejscach gdzie byłoby im trudno samodzielnie dotrzeć, np. na skutek silnych prądów (Rys. 2.6). W innej komórce badawczej NRL realizowany jest podobny program dla pojazdu typu UAV/USV – latająco-pływającego (Sail-a-Plane), który ma być wykorzystywany w celach rozpoznawczych. Innym projektem NRL z obszaru podwodnych technologii bezzałogowych jest projekt pojazdu podwodnego z tzw. „trzepoczącymi płetwami”, który ma mieć zastosowanie do rozpoznania na bardzo płytkich akwenach przybrzeżnych [10] - Rys. 2.7.

Naval Research Laboratory realizuje również program pod nazwą Adaptive testing of Autonomous Systems, którego celem jest opracowanie technologii do testowania i oceny oprogramowania sterującego dla inteligentnych systemów autonomicznych.

Kolejnym projektem NRL są badania w kierunku zwiększenia zdolności operacyjnych manipulatorów w zakresie sztucznego wrażenia czuciowego mającego zwiększyć zdolności percepcyjne manipulatorów obejmujące dotyk.



Rys. 2.6. Koncepcja pojazdu UAV/UUV Flimmer [30f].



Rys. 2.7. Pojazd UUV z napędem wykorzystującym tzw. „trzepoczące płetwy” [10].

POLSKIE PRACE BADAWCZO-ROZWOJOWE

W drugiej połowie XX wieku, prace badawcze związane z technologią bezzałogowych pojazdów podwodnych realizowane w Polsce, były domeną ośrodków położonych na wybrzeżu, przede wszystkim były to Politechnika Szczecińska, Politechnika Gdańska i Akademia Marynarki Wojennej.

Pionierskie w tym zakresie prace, realizował zespół pod kierownictwem prof. A. Piegata z Politechniki Szczecińskiej (dziś Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny – ZUT), a ich ukoronowaniem była obrona rozprawy habilitacyjnej A. Piegata na temat sterowania układem napędowym pojazdów podwodnych, obroniona w 1988 roku na Uniwersytecie Wilhelma Picka w Rostocku, ponieważ w Polsce nie było jeszcze gremium, które mogłoby ocenić ten dorobek.

Na potrzeby realizacji tych badań, zbudowano na początku lat 80-tych pierwszą tego typu konstrukcję w Polsce – pojazd AITS (Rys. 3.1). Zastosowano dość proste i dostępne w kraju wówczas rozwiązania konstrukcyjne, czasem wykorzystując nawet materiały odpadowe [12].

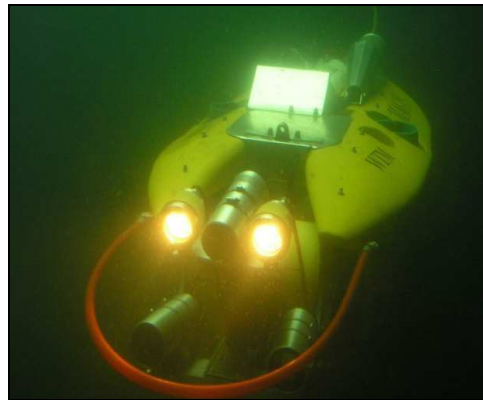
Mimo skromnej jak na dzisiejsze czasy konstrukcji, były to jednak rozwiązania pozwalające na gruntowne badania w zakresie weryfikacji modeli matematycznych ruchu i doboru regulatorów. Podobny obszar badań jest dziś kontynuowany na Wydziale Informatyki ZUT przez prof. A. Tariova i mgr S. Kruszko [11].

Natomiast na Wydziale Techniki Morskiej i Transportu ZUT obszerne i wieloaspektowe badania w tym zakresie, od lat prowadzone są w Katedrze Konstrukcji, Mechaniki i Technologii Okrętów, pod kierownictwem dr hab. inż. Tadeusza Graczyka. Udokumentowane efekty ich realizacji to demonstratory technologii i prototypy takich pojazdów podwodnych jak NUR – nośnik urządzeń do prac podwodnych, MUNA, KRAB oraz przedstawiony na Rys. 3.2 pojazd „Magis” [13].

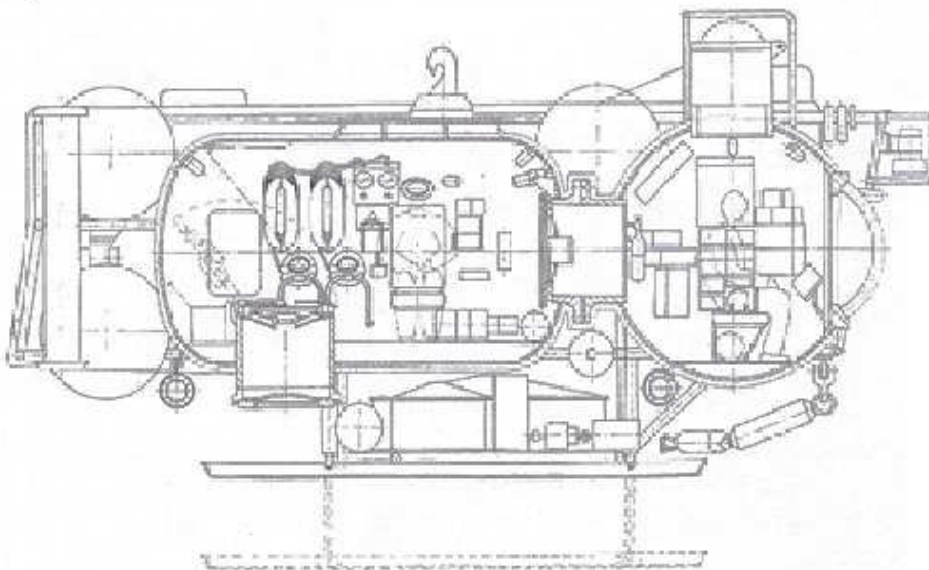
Inne osiągnięcia tego środowiska naukowego, to podwodny aparat obserwacyjny PAO-100, nurkowe pojazdy głębinowe NPG-600 i NPG-300 (Rys. 3.3) oraz transporter urządzeń monitorujących TUM-600 [14]. Aktualne prace zespołu to zagadnienia związane z problematyką automatycznego sterowania urządzeniami zanurzalnymi i ich systemem zasilania w energię elektryczną [14,15,16].



Rys. 3.1. Pojazd podwodny AITS w czasie prób nad Jeziorem Drawskim w 1982 roku [12].



Rys. 3.2. Pojazd podwodny „Magis” podczas prób w basenie doświadczalnym Wydziału Techniki Morskiej i Transportu ZUT w Szczecinie [12].



Rys. 3.3. Przekrój w płaszczyźnie symetrii przez przedział nurkowy i przedział dowodzenia Nurkowego Pojazdu Głębinowego (NPG) opracowanego na Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie [16].

Na Politechnice Gdańskiej, prace związane z urządzeniami zanurzalnymi skupiają się na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa, a dokładnie w Katedrze Projektowania Okrętów i Robotyki Podwodnej, pod której egidą funkcjonuje Zakład Techniki Głębiny. Prace prowadzą tam wychowankowie prof. Jerzego Doerffera, którzy przygodę z techniką głębinową rozpoczęli w już latach siedemdziesiątych XX wieku. Obecnie katedrą kieruje dr hab. inż. Lech Rowiński, który w 1993 roku obronił rozprawę habilitacyjną na temat projektowania urządzeń zanurzalnych z zastosowaniem technik komputerowych [17].

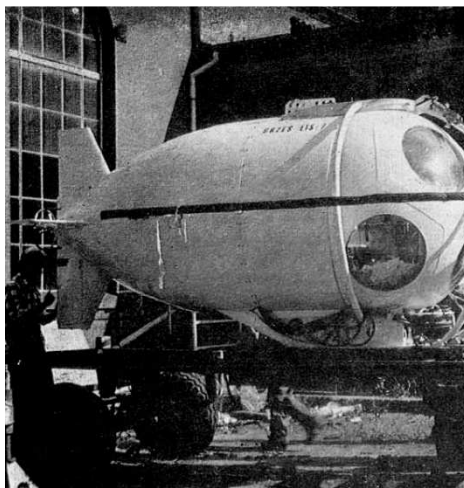
Osiągnięcia tego ośrodka badawczego są znaczące i cechuje je duży wskaźnik wdrożeń, głównie udokumentowane wyniki prac tego zespołu z lat 1974–2000 przedstawiono w tabeli 1.1. Jedną z ciekawszych konstrukcji opracowanych w zespole był załogowy pojazd LTS-7 „Grześ” zbudowany w 1975 roku na zlecenie Morskiego Instytutu Rybackiego, przeznaczony do obserwacji narzędzi rybackich podczas pracy [18,19], [20] — Rys. 3.4. Późniejsze osiągnięcia zespołu to przede wszystkim wdrożony do praktycznego zastosowania w Marynarce Wojennej RP pojazd ROV do walki przeciwminowej o nazwie „Ukwiął” [21,23,19] i nowa generacja pojazdów jednorazowego użytku o nazwie „Głuptak” — Rys. 3.5 [19,23].

Oprócz problemów związanych z konstrukcją i budową pojazdów podwodnych, zespół rozwiązuje zagadnienia dotyczące hydroakustyki, eksploatacji i wykorzystania pojazdów, na przykład do wydobywania kongrecji polimetalicznych z dna morza [20,24,30g], [30h,30i,30j,30l,30m]. Kolejnym osiągnięciem zespołu jest trenażer do nauki sterowania bezałogowym pojazdem podwodnym [22]. Jednym z ostatnich osiągnięć zespołu jest koncepcja i projekt hotelu podwodnego oraz wielozadaniowy pojazd podwodny „Morświn” (Rys. 3.6).

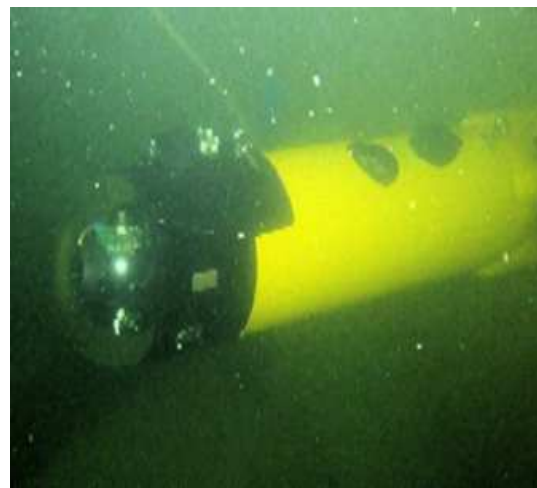
Tab. 1.1

Urządzenia i pojazdy zanurzalne opracowane i zbudowane przez zespół Politechniki Gdańskiej w latach 1974–2000 na podst. [30k].

Rok	Nazwa pojazdu	Głębokość operacyjna	Wymiary LxBxH	Masa
		[m]	[m]	[Mg]
1974	Czapla	60	2,5x1,2x0,8	0,03
1976	LTS-7	200	3,5x1,8x1,8	3000
1984	Burzyk	200	3,0x0,8x0,8	1200
1986	Kapsuła	50	4,0x4,0x7,0	20000
	Koral	400	0,6x0,6x0,6	0,150
1990	Kongrecja I	6000	4,0x1,0x2,0	3,0
	Kongrecja II	6000	20,0x20,0x5,0	1500000
	Holonur 1	50	0,7x0,4x0,3	0,035
1995	Koral AT	400	0,9x0,7x0,7	0,070
	Holonur 2	50	0,8x0,4x0,3	0,035
	AUV	brak danych	3,0x10,0x5,0	0,700
1997	Holonur 3	50	brak danych	0,035
2000	Ukwiął	200	1,5x0,7x0,75	0,200



Rys. 3.4. Pojazd LTS-7 „Grześ” [17].



Rys. 3.5. Pojazd podwodny „Głuptak” [23].



Rys. 3.6. Wielozadaniowy pojazd podwodny „Morświn” opracowany na Politechnice Gdańskiej.



Rys. 3.7. Bezzałogowy pojazd nawodny „Edredon”.

W latach siedemdziesiątych XX wieku zespół pracowników Akademii Marynarki Wojennej (AMW) pod kierownictwem prof. Władysława Wojnowskiego opracował długofalowy plan rozwoju technik głębokowodnych w Polsce na lata 1980–1995. Plan ten zakładał zbudowanie w kraju szerokiej gamy urządzeń zanurzalnych — habitatu podwodnego, pojazdu podwodnego typu mokrego i suchego, okrętu podwodnego przeznaczonego do wykonywania podmorskich badań naukowych i innych urządzeń.

W ramach realizacji tego planu zespół prof. Wojnowskiego opracował daleko zaawansowane projekty techniczne wszystkich planowanych rozwiązań, ale z różnych przyczyn w całości planu nigdy nie zrealizowano. Obecnie prace nad techniką pojazdów bezzałogowych realizowane są przez różne zespoły interdyscyplinarne skupione głównie w Instytucie Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej oraz w Zakładzie Technologii Prac Podwodnych.

Zespoły rozwiązują szeroką problematykę, począwszy od bezzałogowych pojazdów nawodnych do podwodnych, zdalnie sterowanych i autonomicznych. Na przykład zespół pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Z. Kitowskiego opracował i zbudował w ramach projektu realizowanego przez konsorcjum naukowo-przemysłowe pierwszy w Polsce bezzałogowy pojazd powierzchniowy do monitorowania strefy portowej i przybrzeżnej „Edredon”¹¹ – Rys. 3.7.

W ramach innego projektu, połączone zespoły Wydziału Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego oraz Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego w celu weryfikacji założeń projektowych modułu antykolizji dla bezzałogowego pojazdu powierzchniowego opracowały i zbudowały miniaturową bezzałogową łódź powierzchniową pod nazwą USV Gambir¹² (Rys. 3.8, Rys. 3.9). Ten sam interdyscyplinarny zespół projektowy, realizuje obecnie dwa projekty związane z opracowaniem pojazdów biomimetycznych, czyli naśladujących swoim zachowaniem i wyglądem zwierzęta morskie. W jednym przypadku jest to projekt związany z opracowaniem rozwiązań dotyczących napędu falowego pojazdów, przypominających ryby i foki¹³.

W drugim, realizowanym w ramach Europejskiej Agencji Obrony wspólnie z Centrum Technicznym Bundeswehry 71, wykorzystania ich do rozpoznania podwodnego jako ławicy pojazdów głębinowych¹⁴ (Rys. 3.10, Rys. 3.11).

Oprócz wspólnych prac, członkowie zespołu realizują indywidualne badania w zakresie na przykład systemów sterowania wykorzystujących w swoim działaniu metody logiki rozmytej, sztuczne sieci neuronowe oraz metody ewolucyjne i sztuczne sieci neuronowe w dostrajaniu struktury i parametrów wyżej wymienionych systemów sterowania jednostkami głębinowymi i ich zespołami.

Inny obszar działań indywidualnych to ocena stanu technicznego powierzchni obiektów podwodnych i ich identyfikacja z wykorzystaniem systemów wizyjnych montowanych na pojazdach bezzałogowych z wykorzystaniem komputerowej analizy podwodnych fotogramów.



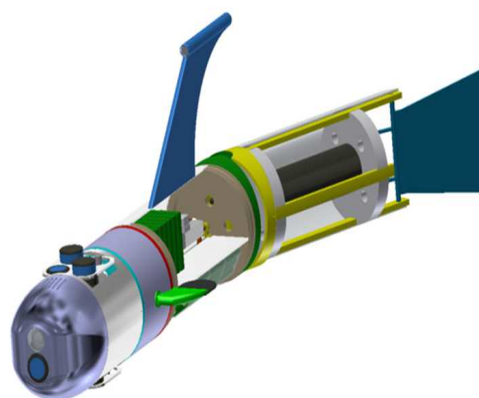
Rys. 3.8. Koncepcja pojazdu USV Gambir.



Rys. 3.9 Kadłub pojazdu USV Gambir podczas pierwszych prób w warunkach rzeczywistych.



Rys. 3.10 Jedna z opracowanych w ramach projektu „Śledzik” koncepcji podwodnego pojazdu biomimetycznego.



Rys. 3.11 Koncepcja pojazdu biomimetycznego z napędem falowym.

Ponadto, w Instytucie Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej realizowane są prace nad systemem zasilania elektrycznego autonomicznych pojazdów głębinowych opartym o ogniwa paliwowe, systemami wizyjnymi do sterowania układem pojazd-manipulator. Natomiast w Zakładzie Technologii Prac Podwodnych, oprócz prac nad nowymi konstrukcjami pojazdów z klasy micro i mini ROV, realizowane są prace związane z technologią wykorzystania tego typu urządzeń w realizacji prac podwodnych, badań środowiska i wspomagania prac nurkowych.

Pierwsza i druga dekada XXI wieku to okres, kiedy problematyka podwodnych technik bezzałogowych rozprzestrzeniła się na inne ośrodki badawcze w kraju. Obecnie, badania te realizowane są na przykład na Politechnice Krakowskiej, gdzie opracowano podstawy napędu falowego i zbudowano pierwszy prototyp CyberRyby, który następnie rozwinięto w kooperacji z Akademią Marynarki Wojennej w ramach projektu o akronimie Śledzik.

Kolejnym ośrodkiem gdzie rozpoczęto prace nad rozwiązywaniem tej tematyki jest Politechnika Poznańska (instytut Informatyki i Inżynierii Informatycznej), gdzie opracowano i zbudowano konstrukcję pojazdu „Isfar” (Rys. 3.12). Jest to pojazd klasy miniROV (masa do 50 kg) o wymiarach 0,6x0,9x0,4 m i maksymalnej głębokości operacyjnej do 15 metrów.

Został zbudowany głównie w celu weryfikacji założeń algorytmów aplikacji do sterowania pojazdem. Ponadto, zespół ten zajmuje się również zagadnieniami związanymi z optyką podwodną [26]. Natomiast na Politechnice Rzeszowskiej, w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki, rozwiązywane są problemy modelowania dynamiki robotów mobilnych, w tym podwodnych.

W pracy opublikowanej w 2012 roku, zespół przedstawił na przykład wyniki badań symulacyjnych nad modelem dynamiki podwodnego robota gaśnicowego [25]. Również w Instytucie Automatyki, na Wydziale Automatyki Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, rozpoczęto prace badawcze w zakresie podwodnych technologii bezzałogowych.



Rys. 3.12 Pojazd podwodny „Isfar” opracowany na Politechnice Poznańskiej [26].

Prace te obejmują ogólne zasady projektowania pojazdów podwodnych, z ukierunkowaniem na systemy sterowania, np. w zakresie stabilizacji i utrzymania zadanego kursu [27,28].

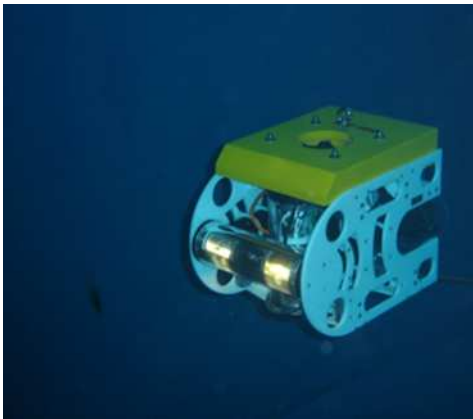
Ostatnie lata zaowocowały w Polsce nowym zjawiskiem, polegającym na tym, że swoje konstrukcje pojazdów podwodnych zaczęły opracowywać podmioty gospodarcze, znajdując w tej działalności szansę na zwiększenie swojej konkurencyjności na rynku. Jednym z takich przykładów jest działające w obrębie Pomorskiego Parku Naukowo-Technologicznego w Gdyni Przedsiębiorstwo Badawczo-Produkcyjne „Forkos” Sp. z o.o., które w kooperacji z Zakładem Technologii Prac Podwodnych AMW opracowało i zbudowało pojazd ROV KH-100, pokazany na rysunku 3.13.

Firma nawiązała szeroką współpracę z Akademią Marynarki Wojennej dzięki której w ramach projektu współfinansowanego ze środków UE w ramach POIG opracowano dwa pojazdy klasy mini i micro ROV współpracujące ze sobą jako modułowy system do badania środowiska wodnego (Rys. 3.14, Rys. 3.15). Przedsiębiorstwo Forkos bierze też czynny udział w innych projektach z tego obszaru jako członek konsorcjum naukowo—przemysłowego lub jako

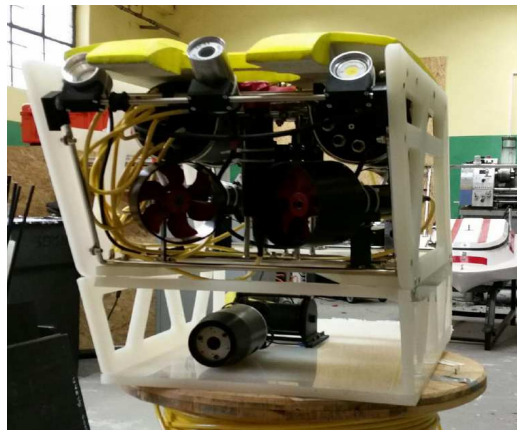
podwykonawca produkujący modele demonstracyjne technologii.

Drugim przykładem jest firma GRALmarine z Wrocławia, która opracowała i zbudowała pojazd ROV o nazwie „Humbak” (Rys. 3.16). W Gdyni funkcjonuje też inna firma, o nazwie Deep Ocean Technology Sp. z o.o., która wspólnie z Politechniką Gdańską od końca 2012 roku realizuje projekt w ramach Programu Badań Stosowanych pt.: *Badania krytycznych technologii dla podwodnego robota mobilnego dużej mocy z wielosensorowym zestawem rozpoznawczym*. Efektem tego projektu ma być pojazd do wykonywania zadań inspekcyjnych na głębokościach rzędu 1000 metrów pracujący w warunkach silnego prądu.

Kolejnym przykładem z sektora przedsiębiorstw jest działająca w ramach Akademickiego Inkubatora Przedsiębiorczości Politechniki Krakowskiej firma o nazwie Delta Prototypes. Efektem działania tego podmiotu jest bezzałogowy demonstrator technologii „Kalmar”, który wykorzystywano do weryfikacji koncepcji napędu falowego, a także projekt załogowego pojazdu podwodnego o nazwie „SR 1200 Stingray” wykorzystującego hydraulicznie sterowane pędniki o zmiennej geometrii.



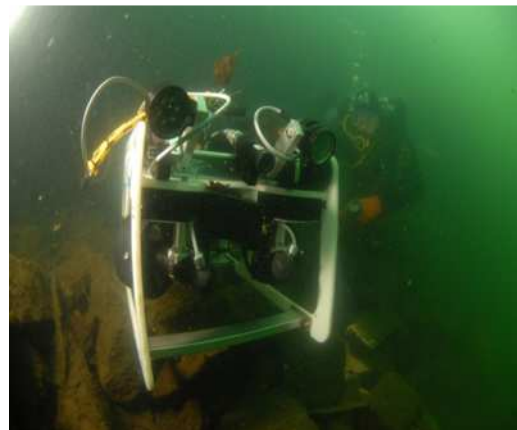
Rys. 3.13 Pojazd miniROV KH-100 opracowany przez PBP Forkos Sp. z o.o. z Gdyni.



Rys. 3.14 Modułowy system do badania środowiska wodnego i obiektów podwodnych zbudowany przez firmę Forkos Sp. z o.o. w ramach projektu POIG.01.04.00-22-069/13 (system składa się z dwóch współpracujących ze sobą pojazdów podwodnych miniROV KH-200 i microROV Frog).



Rys. 3.15 Pojazd microROV Frog zbudowany przez firmę Forkos Sp. z o.o. w ramach projektu POIG.01.04.00-22-069/13 z zautomatyzowaną wciągarką kabloliny sterującej i specjalnym systemem TV do wymiarowania obiektów podwodnych.



Rys. 3.16 Pojazd miniROV „Humbak” zbudowany przez firmę GRALmarine z Wrocławia (mat. dzięki uprzejmości firmy GRALmarine).

PODSUMOWANIE

Jak widać wysiłki w kierunku rozwoju technologii bezzałogowych na morzu będą w różnych kierunkach. Ogólnie można stwierdzić, że ze strony producentów mają one na celu przede wszystkim zmniejszenie kosztów produkcji, wzrost zdolności operacyjnych (nowe rozwiązania manipulatorów), nowe sposoby magazynowania energii oraz wzrost efektywności prac i utrzymanie przewagi konkurencyjnej na rynku, o które należy dbać, bo po jakimś czasie stają się obowiązującym standardem.

Natomiast ośrodki naukowe koncentrują się przede wszystkim na nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych, nowych sposobach wykorzystania i zastosowania pojazdów oraz nowych metodach zbierania danych środowiskowych i współpracy pomiędzy zróżnicowanymi (heterogenicznymi) konstrukcjami pojazdów podczas realizacji zadania.

Biorąc pod uwagę prezentowane w materiale powyżej projekty i działania badawcze, można wyodrębnić podstawowe kierunki rozwojowe bezzałogowej techniki morskiej.

W przypadku pojazdów autonomicznych, tu rozumianych jako urządzenia wykonujące zadania w dużym stopniu samodzielnie, przede wszystkim będą to dążenia do uzyskania możliwości długotrwałego zbierania danych środowiskowych

na dużych obszarach morskich. Co bezpośrednio wiąże się z próbami osiągnięcia maksymalnie możliwej autonomiczności energetycznej. Ponadto, dąży się do pozyskania możliwości prowadzenia badań na znacznych głębokościach. Oczywiście takie badania realizowano już wcześniej, ale wówczas miały one charakter bardziej incydentalny.

Teraz, celem jest stały monitoring badawczy na znacznych głębokościach oceanów. Takie kierunki badawcze narzucają również prace związane z osiągnięciem jak największej samodzielności w działaniu urządzeń powierzchniowych i podwodnych. Wbrew pozorom, w tym zakresie jest ciągle sporo do zrobienia, a obok tych problemów ciągle występują inne, całkowicie nie związane z rozwiązaniami technicznymi, a równie istotne. Na przykład w zakresie bezpieczeństwa pływania – odpowiedzialność użytkownika bezałogowej łodzi powierzchniowej poruszającej się w otoczeniu innych jednostek pływających.

W przypadku pojazdów zdalnie sterowanych podstawowym nasuwającym się trendem rozwojowym jest modułowość ich konstrukcji. Co przede wszystkim przejawia się zmianą podejścia do schematu misji głębinowej takiego urządzenia.

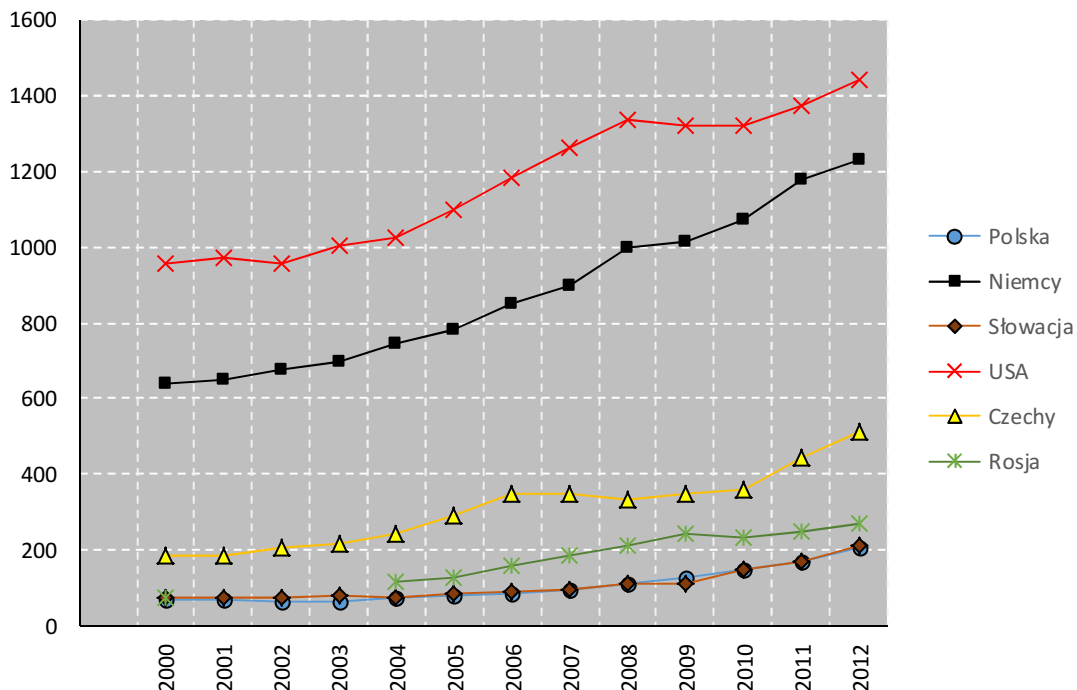
W tym przypadku, modułowość należy interpretować jako konstrukcję hybrydową, umożliwiającą częściowe wykonanie zadania jako pojazd autonomiczny lub semiautonomiczny, a realizację zasadniczej części misji jako pojazd zdalnie sterowany. Kolokwialnie rzecz ujmując, chodzi o to, aby urządzenie zanurzalne samodzielnie dotarło do podwodnego miejsca pracy, ale samą pracę wykonywało pod ścisłym nadzorem operatora. Z tych powodów, powstają rozwiązania umożliwiające przesyłanie w środowisku wodnym sygnałów sterujących i obrazu, za pomocą fali dźwiękowej.

W ten sposób dąży się do wyeliminowania setek metrów kabloliny wleczonej podczas pracy za pojazdem, co ma bezpośredni wpływ, szczególnie na wielkość i konstrukcję układu napędowego pojazdu. Modułowość konstrukcji pozwala także na dywersyfikację funkcjonalności urządzeń. Łatwa wymiana modułów funkcjonalnych zawierających urządzenia peryferyjne (czujniki, sensory, manipulatory itp.), pozwala na szybką zmianę funkcji celu dla urządzenia.

Ponadto, przyczynia się do ograniczenia kosztów modelu eksploatacji. Przykładowo, przy modułowej konstrukcji nie ma konieczności transportu całego urządzenia do naprawy u producenta. Przekazuje się jedynie uszkodzony moduł. A dywersyfikacja funkcjonalności pozwala na zakup jednego ale wielozadaniowego urządzenia. Odrębnym trendem rozwojowym są pojazdy, które swoim wyglądem i zachowaniem naśladują zwierzęta morskie, czyli konstrukcje biomimetyczne [29]. Tu przysłowiowym motorem rozwoju jest potrzeba skrytego działania i ograniczenie hałasu związanego z pracą pędników śrubowych w toni wodnej.

Bardzo ciekawym efektem powyższego przeglądu jest obserwacja, że polskie badania w obszarze bezałogowych technologii morskich znajdują się we wszystkich głównych nurtach rozwojowych tej technologii. Co może świadczyć o fachowym potencjale kadr zajmujących się w kraju tą tematyką.

Oczywiście skala tych działań jest o wiele mniejsza niż w innych krajach. Być może wynika to z faktu, że Polska jest krajem, który w przeliczeniu na jednego mieszkańca wydaje najmniej pieniędzy na badania i rozwój z pośród krajów naszego regionu. Z danych GUS wynika bowiem, że porównywalne wydatki na działalność B+R ponosi jedynie Słowacja, kraj o siedmiokrotnie mniejszej populacji niż Polska (Rys. 4. 1) [30n].



Rys. 4.1 Wydatki na działalność B+R per capita w wybranych krajach w latach 2000 – 2012 (na podstawie danych GUS [30n]). Brak danych dot. Rosji za lata 2001 – 2003. Wydatków Polski prawie nie widać, ponieważ pokrywają się z wydatkami Słowacji, tylko w roku 2009 wydaliśmy nieco więcej niż Słowacja.

Jak wynika z danych, na Rys. 4.1 przez 12 lat Polska w przeliczeniu na jednego mieszkańca wydała na badania i rozwój łącznie 1350 USD (tj. 5373 PLN), czyli prawie tyle samo co Słowacja, mniej niż Rosja, prawie trzykrotnie mniej niż Czechy, ponad osiem razy mniej niż Niemcy i jedenaście razy mniej niż Stany Zjednoczone Ameryki Północnej.

Wzrost krajowych wydatków w przeliczeniu na jednego mieszkańca po roku 2007 z poziomu 95 USD do poziomu 109 USD w roku 2008, które rosną do poziomu ponad 200 USD w roku 2012 jest najprawdopodobniej spowodowany dotacjami UE. Ciągłe jednak na aktywność w tym obszarze wydajemy najmniej. W przypadku utrwalenia takiej sytuacji bardzo trudno będzie osiągnąć w Polsce wyniki konkurencyjne dla rozwiązań opracowywanych gdzie indziej, staniemy się krajem o małej innowacyjności, zmuszonym do importowania zaawansowanych technologii.

BIBLIOGRAFIA

1. Olejnik A., Siermontowski P.: Czy nurka zastąpi kiedyś robot podwodny? Marny postęp czy wielki sukces?, PolHypRes Nr 1(53)2016,
2. Olejnik A.: Rozwój zdalnie sterowanych systemów głębinowych, PolHypRes Nr 4(33)2010, ISSN 1734-7009 str. 7-21,
3. Olejnik A.: Stan obecny techniki zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych; PolHypRes Nr 5(28)2009, ISSN 1734-7009 str. 23 - 46,
4. Praca Zbiorowa: Badania europejskie w działaniu. Siódmy Program Ramowy, Wyd. Komisja Europejska Dyrekcja Generalna ds. Badań Naukowych, Bruksela 2014 rok,
5. Praca Zbiorowa: Annual Report 2011, Saab AB Stockholm 2011 rok,
6. Praca Zbiorowa: Chemsea findings, IOPAN Sopot 2014 rok, ISBN 978-83-936609-1-9,
7. Stommel H.: The Slocum mission, Oceanography Volume 2, Issue 1 p. 22-25, ISSN 1042-8275, DOI <http://dx.doi.org/10.56670/oceanology.org>
8. Simoneti P.: Slocum Glider, Design and 1991 Filed Trials, Webb Research Corp. 1992 rok,
9. Paschoa C.: Future ROV technology – subsea wireless control, Marine Technology News; www.marinetechologynew.com,
10. Geder J., Ramamutri R., Preussner M., Palmisano J.S.: Maneuvering performance of four-fin bio-inspired UUV; Conference Proceeding, Ocean 13 Conference, San Diego USA, NRL Publication release Number 13-1231-2626,
11. Tariov A., Kruszko S.: Bezzałogowe pojazdy podwodne – stan obecny, potencjał biznesowy, perspektywy rozwoju; Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania Nr 10/2011 rok, ISSN 033-2089, str. 148-156,
12. Matejski M.: Modelowanie ruchu bezzałogowych pojazdów podwodnych w warunkach eksperymentalnych; Wyd. PTMiTH Gdynia 2011, ISBN 978-83-924989-7-1,
13. Graczyk T., Matejski M., Dramski M.: Morskie badania wdrożeniowo-eksploatacyjne systemu monitoringu głębinowego; PolHypRes Nr 2(32)2010, ISSN 1734-7009, str. 37-47,
14. Graczyk T.: Bezzałogowe zdalnie sterowane pojazdy głębinowe – konstrukcje i zastosowania; Instytut Okrętowy Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1991 rok,
15. Graczyk T.: The MAGIS remotely operated vehicle some design problems. Current report; Polish Maritime Reseach Vol. 9 Issue 3 (2002), ISSN 1233-2585, str. 8-10,
16. Graczyk T.: Zagadnienia projektowania na przykładzie bezzałogowych pojazdów głębinowych, Politechnika Poznańska, Rozprawy Nr 421, Poznań 2008 rok, ISSN 0551-6528,
17. Rowiński L.: Metodyka projektowania urządzeń zanurzalnych na etapie koncepcji przy zastosowaniu technik komputerowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej Budownictwo Okrętowe Nr 59, Gdańsk 1993 rok, ISSN 0373-869X,
18. Rowiński L.: Technika głębinowa – pojazdy głębinowe, budowa i wyposażenie, Wyd. WIB Gdańsk 2008, ISBN 978-83-928007-0-5,
19. Cichocki A.: Wykorzystanie bezzałogowych pojazdów podwodnych w szybkiej ocenie środowiskowej na potrzeby bezpieczeństwa żeglugi, Transcom XIV International Conference: Computer Systems Aided Science, Industry and Transport, Zakopane 2010, str. 595-605,
20. Rowiński L.: Wydobycie kongrekcji polimetalicznych przy użyciu autonomicznych pojazdów podwodnych, Górnictwo i Geoinżynieria Nr 35 z. 4/1 2011 rok, ISSN 1372-6702, str. 331-339,
21. Rowiński L.: Trener komputerowy dla pilotów pojazdów głębinowych, Konferencja DMW Gdynia 2001 rok, cz. 1 str. 21-27,
22. Rowiński L.: Nowy wymiar turystyki podwodnej – hotele podwodne, XIV Konferencja Naukowa Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, Sopot 2012 rok,
23. Rowiński L.: System OPM Głuptak jako element zintegrowanego systemu OPM, Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego Rok VI, 2012 rok, ISSN 1898-3189, str. 291-302,
24. Biegański W., Kasiński A.: Imagine acquisition an underwater vision system with NIR and VIS illumination, Computer Science & Information Technology Volume 4 Issue 1 2014, ISSN 2231-5403, pp. 215-224,
25. Giergiel J., Kurc K., Szybicki D., Buratowski T., Trojnecki M.: Modelowanie dynamiki robota podwodnego, Modelowanie Inżynierskie Nr 45 Tom 14 rok 2012, ISSN 1896-771X, str. 45-51,
26. Biegański W., Ceranka J., Kasiński A.: Desing, control and aplication of the underwater robot Isfar, Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems Volume 5 Issue 2, pp. 60-65,
27. Jaskot K., Babiąż A., Sroka M., Ściegienka P.: Prototyp bezzałogowego pojazdu podwodnego – konstrukcja mechaniczna, panel operatora; Przegląd Elektrotechniczny R. 83, Nr 8 2013 rok, ISSN 0033-2097, str. 52-67,
28. Sroka M., Ściegienka P., Babiąż A., Jaskot K.: Prototyp bezzałogowego pojazdu podwodnego – układ stabilizacji i utrzymania zadanego kursu, Przegląd Elektrotechniczny R.89, Nr 9 2013 rok, ISSN 0033-2097, str. 205-217,
29. Szymak P.: Zorientowany na sterowanie model ruchu oraz neuro-ewolucyjno-rozmyta metoda sterowania bezzałogowymi jednostkami pływającymi; Politechnika Krakowska, Seria Mechanika Nr 504, Kraków 2015,
30. Źródła internetowe:
 - a) CORDIS – Community Research and Development Information Service: <http://cordis.europa.eu/projects> - 01.2015 rok,
 - b) www.schmidtocean.org – 01.2016 rok,
 - c) www.liquidr.com – 12.2015 rok,
 - d) www.washington.edu – 12.2015 rok,
 - e) www.webbresearch.com – 01.2016,
 - f) www.nrl.navy.mil – 01.2016 rok,
 - g) Rowiński L.: A plastic craft for underwater observations, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011 rok,
 - h) Rowiński L.: Jettison emergency capsule, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011 rok,
 - i) Rowiński L.: Submersible conceptual desing using computer aids, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011 rok,
 - j) Kubaty L., Rowiński L.: Minecaunter vehicle for Baltic navy, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011 rok,
 - k) Matuszewski L.: New desings of underwater vehicles from Underwater Technology Department, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011 rok,
 - l) Kwapisz L., Narewski M., Rowiński L., Zrodowski C.: A measurement of 3D water velocity components turing ROV teter sumulations in test tank using hydroacoustic doppler velocimeter, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011,
 - m) Narewski M., Rowiński L.: Application of autonomous remotely operated vehicles for detailed exploration of mineral deposits, <https://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011 rok,
 - n) <http://www.stat.gov.pl>.

dr hab. inż. Adam Olejnik
Akademia Marynarki Wojennej
Zakład Technologii Prac Podwodnych
81-127 Gdynia
ul. Śmidowicza 69
e-mail: a.olejnik@amw.gdynia.pl

- ¹ Tytuł projektu: Developing the Croatian underwater robotics research potential,
- ² Tytuł projektu: Archaeological Robot systems for the world's seas,
- ³ Tytuł projektu: Persistent Autonomy through Learning, Adaptation, Observation and Re-planning,
- ⁴ Tytuł projektu: Collective Cognitive Robots,
- ⁵ Tytuł projektu: Autonomous, Self-Learning, Optimal And Complete Underwater Systems,
- ⁶ Tytuł projektu: Probabilistic 3D Surface Matching For Bathymetry Based Simultaneous Localization And Mapping Of Underwater Vehicles,
- ⁷ Tytuł projektu: Marine robots and dexterous manipulation for enabling autonomous underwater multipurpose intervention missions,
- ⁸ Tytuł projektu: Advanced Underwater Image Mosaicing through Imaging Polarimetry,
- ⁹ Tytuł projektu: Chemical Munitions Search and Assessment,
- ¹⁰ Autor był jednym z głównych wykonawców projektu z ramienia Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni odpowiedzialnych za modernizację pojazdów podwodnych wykorzystywanych przez krajowy zespół w badaniach i realizację tych badań za pomocą pojazdów ROV,
- ¹¹ Projekt badawczy rozwojowy Nr O R00 0106 12 pt.: Zintegrowany system planowania perymetrycznej ochrony i monitoringu morskich portów i obiektów krytycznych oparty o autonomiczne bezzałogowe platformy nawodne" Konsorcjum: Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych, Akademia Marynarki Wojennej i Sprint S.A.,
- ¹² Projekt rozwojowy Nr DOBR-BIO4/090/13137/2013 pt.: Autonomiczne platformy nawodne Konsorcjum: OBR Centrum Techniki Morskiej S.A., Akademia Marynarki Wojennej, Politechnika Gdańska, Politechnika Warszawska,
- ¹³ Projekt rozwojowy Nr DOBR-BIO4/033/13015/2013 pt.: Autonomiczne pojazdy podwodne z cichym napędem falowym do rozpoznania podwodnego, Konsorcjum: Akademia Marynarki Wojennej, Politechnika Krakowska, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, PBP Forkos Sp. z o.o. (akronim projektu ŚLEDZIK),
- ¹⁴ Projekt Nr B-1452-ESM1-GP pt.: Swarm of Biomimetic Underwater Vehicles for Underwater Intelligence Surveillance and Reconnaissance. (akronim projektu SABUVIS),

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF UNMANNED MARINE TECHNOLOGY

Adam Olejnik

Naval Academy Department of Underwater Works Technology, Gdynia, Poland

ABSTRACT

The article constitutes an attempt to identify current tendencies regarding the development of unmanned marine technologies such as unmanned surface and underwater vehicles. The analyses were performed on the basis of available literature, databases on research projects and internet sources. The material has been divided with regard to the location the research was conducted, the following groups being identified: the European Union, the United States of America and Poland. On the basis of the review of objectives and final effects of projects, tendencies in the development of the discussed marine technology have been identified. An interesting result of the review consists in an observation that Polish R&D works in this area are placed within the main identified developmental trends. Unfortunately, their effects are incomparable due to the minuteness of national funds allocated to R&D as opposed to other countries.

Key words: underwater work technology, marine engineering.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2016 Vol. 55 Issue 2 pp. 7-28

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2016-0008

Pages: 22, figures: 4, tables: 1

page **www of the periodical:** www.phr.net.pl

Review article

Delivery date: 14.03.2016r.

Date of approval for print: 16.06.2016r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

INTRODUCTION

An article published in Polish Hyperbaric Research No. 1 (2016) presents an analysis of development of underwater techniques and technologies enabling the conquest of depths and working under water with regard to the maximum depth reached [1].

The said material demonstrates that in the years of development of this domain, numerous difficulties had been overcome, thus resulting in preparation and construction of a number of solutions, thanks to which humans were able to descend to the maximum depth of the ocean registered on Earth. Still, attention was drawn to the fact that it was only possible due to insulating solutions. On this basis a conclusion was made that the presence and work of man at large depths will only be possible virtually.

One of the currently available methods of technical implementation of such a presence in the depths consists in the use of remotely operated vehicles (the so-called ROVs) or widely understood unmanned marine vehicles. These devices have been developing cumulatively for a long time, over four distinguishable periods of development, which had been previously described in detail in earlier publications of the author [2,3]. Today, this is one of the most dynamically developing branches of underwater works technologies.

The presented material constitutes an attempt to identify the current development trends on the basis of the available information on underwater and surface unmanned technologies. The analysis was based on the data taken from full-text databases on the content of scientific magazines and databases on the implemented projects, e.g. CORDIS – Community Research and Development Information Service – or the information available on websites of research centres. The material has been divided with regard to the territories where the research was conducted into the areas of the European Union, the United States and Poland. This division is an effect of the previously conducted analyses, whose results indicated a greater dynamics of activities in the discussed scope in the territory of the EU and the USA. Poland was considered for the obvious reasons.

RESEARCH AND DEVELOPMENT WORKS IMPLEMENTED IN THE EUROPEAN UNION

Starting from 4FP, approximately 110 different R&D projects connected with the technology of unmanned vehicles have been implemented in the EU. The objective of one of them was to design a remotely operated robot to perform cleaning activities on the hulls of watercraft ("HISMAR").

The project aim was to design a remotely operated device, pursuant to the applicable EU regulations, that would perform hull cleansing activities, removing lichen from the underside of vessels in an economically viable manner, without needed to dry dock the ship. Poland participated in this undertaking as one of the implementers (PRS S.A.).

Another programme implemented in the EU is "ASIMOV" – body of water reconnaissance with the use of an underwater semi-autonomous abyssal vessel; controlled with a hydro-acoustic beam by an unmanned autonomous surface vessel, these vehicles are capable of transmitting information to various users. Also we have

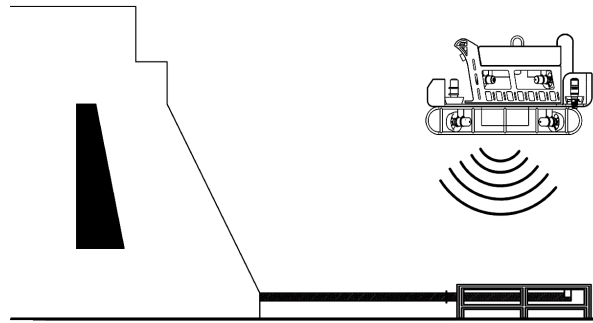
the "Swimmer" programme, whose objective was to design a hybrid autonomous vehicle to transfer an ROV to an underwater station, for instance, in an oil field, where it is docked via hydro-acoustic steering to the previously prepared underwater garage connected via an umbilical with a surface ROV control station.

Upon the completion of the docking procedure, the ROV establishes a connection with the control station, leaves the carrier and performs remotely controlled tasks (Fig. 1.1). The SAAB Company from Sweden, on the other hand, implemented a programme, whose aim consists in the construction of a modular vehicle using a periscope to facilitate observations both underwater and on the surface. Using a Saab Ventures platform, in cooperation with a Danish company C-Leanship APS, the company realises a project concerned with ROVs used for cleaning underwater parts of watercraft. A similar subject matter is covered by such projects as the Norwegian CleanHull or transcontinental DNV-Oceanering (American-Norwegian).

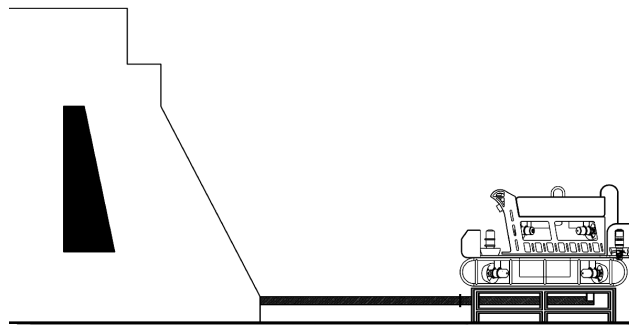
An interesting solution integrating the European research environments was a project implemented within the 6FP with the acronym FREESUBNET – European network for key technologies for intervention autonomous underwater vehicles. The programme enabled construction of virtual communication tools between scientific environments concentrating more than fifteen European scientific centres scattered around Europe.

In its course, over 170 scientific dissertations were published with the use of this tool, several of which ended with the granting of a doctoral degree, and a few dozen master's degrees. The access to information contained in the network for young scientists constituted a unique opportunity for cooperation with leading academic employees and research centres dealing with underwater vehicles.

A.



B.



C.

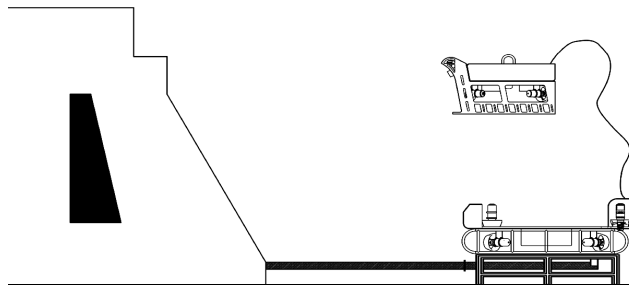


Fig. 1.1 Modular construction of an underwater system – an autonomous vehicle transports a remotely controlled vehicle to a docking station (A), after the docking in the station is completed, connection with the controlling cable is established (B), a remotely controlled vehicle leaves the station for the purpose of task performance (C).

More than a dozen research programmes in the area of unmanned underwater techniques were implemented within the 7FP for a total of over 30 million Euros including an own contribution of beneficiaries [4,30a]. The most interesting of them included projects with the following acronyms: CURE, ARROWS, MORPH, PANDORA, COCORO, NOPTILUS, SURF3DSLAM, TRIDENT and POLMOSAIC.

The objective of the CURE project¹ implemented between 2009 – 2012 was the strengthening of Croatian potential in underwater robotics. The activities focused on the support and activation of human and material resources, partnership development with leading

scientific and research centres in Europe, as well as improvement of the research infrastructure.

The project coordinator was Sveučiliste at Zagrebu Fakultet Elektrotehnike i Racunarstva. In the case of the ARROWS project² (2012 – 2015), the objective consisted in the development of cost effective constructions of underwater vehicles for the purpose of obtaining a significant reduction in the cost of implementing archaeological underwater research. The project was jointly implemented by scientific centres from Italy, Estonia, Spain and Great Britain. The coordinator was the Università Degli Studi Di Firenze (Italy).

The project entitled *Marine robotic system of self-organizing, logically linked physical nodes* – MORPH – was implemented (2012 – 2015) with the aim of designing separate cooperating mobile underwater robots capable of conducting penetration activities in bodies of water and adjusting their multi-modal configuration to the situation in the field, combined into an intelligent network with the use of underwater communication networks. Such a capability enables an efficient and highly accurate method of mapping of an underwater environment.

The project was implemented by scientific institutions from Germany, Portugal, France, Spain and Italy – the coordinator was a German company – Atlas Elektronik GmbH. In the case of the PANDORA project³ realised in the years 2012 – 2014, the goal was to develop new methods of automatic identification of damage and failures in underwater vehicles as well as ways of reacting to them.

The project was implemented in cooperation between research institutions from Great Britain, Greece and Spain, and the coordinator was the Heriot-Watt University (Great Britain). Interesting solutions were proposed in the implementation of the COCORO project⁴ (2011 – 2014), whose objective consisted in the development of swarm technologies for underwater robots ensuring their cooperation and joint task performance by establishing interactions between underwater vehicles being a part of the swarm.

The project was implemented by 5 scientific institutes from Austria, Italy, Great Britain and Belgium, and the project coordinator was Universitaet Graz (Austria). The NOPTILUS project⁵ (2011 – 2015) allowed preparation of an innovative autonomous method of controlling underwater vehicles. The project was implemented by 8 scientific units from Greece, Portugal, Switzerland, the Netherlands and Great Britain, and coordinated by the Hellas Centre for Research and Technology (Greece). The SURF3DSLAM project⁶ (2011 – 2013) was to develop an accurate positioning system for underwater vehicles without the use of an external infrastructure. It was independently implemented by Universitat De Girona from Spain.

The TRIDENT project⁷ (2010 – 2013) defined assumptions for a heterogeneous robot system comprising abyssal and underwater watercraft. The project was implemented by 8 scientific establishments from Spain, Great Britain, Italy and Portugal, and the coordinator was Universitat Jaume I De Castellon (Spain). The last of the aforementioned projects had an acronym POLMOAIC⁸ (2010 – 2012). Its objective was to develop a technology enabling the obtainment of high definition image of the seabed for the purpose of creating a photomosaic with the use of polarimetry methods. The project was implemented independently by Universitat De Girona in Spain.

In the area of Europe special attention should be devoted to the research and development activities of a Swedish company SAAB AB. Svenska Areoplan AktieBolaget AB is a company established in 1937 as a Swedish aviation concern. After the Second World War it was divided into a car manufacturing part – Saab Automobile AB (liquidated in January 2012) and Saab AB producing defence technologies, mainly for aviation and marine needs.

Practically since 1990 both entities, operating under nearly identical names, had constituted separate enterprises. At present, SAAB AB operated in five

business areas encompassing aviation, electronic security systems, maritime, aviation technologies and technical services. The company annually allocates approximately 2.5 billion PLN to research and development (data as of the end of 2011) [5].

It is currently the European leader in the underwater vehicles segment offering 10 different ROV types. The activity within underwater vehicles production is conducted by a subsidiary named Saab Underwater Systems AB. One of the forms of financing innovative solutions in Saab is the Saab Ventures platform through which the company invests in small and fast developing spin-out companies, thus assuming corporate oversight over the company and its technologies.

This mechanism was utilised in the acquisition of a British company Seaeeye Marine Ltd. founded by Ian and Janet Blamire in 1986 thus establishing SAAB Seaeeye Marine Ltd. Recently the company has increased its production capacity by 50% due to the opening of a new production plant in Portsmouth. The plant encompasses technical workshops, containers for vehicle testing, construction and conference-project facilities. Saab Seaeeye Marine Ltd. has become a leader in the ROV market due to the application of innovative technologies in brushless motors, polypropylene frames and an innovative approach to the systems of power supply, steering and control. Currently, one of the similar projects implemented with the use of the Saab Ventures platform involves cooperation with a Danish company C-Leanship APS within ROVs used for cleaning of the underwater parts of watercraft hulls.

Among the projects co-financed by the European Union it is worth mentioning the research project coordinated by a Polish scientific establishment with the acronym CHEMSEA⁹ (2011 – 2014) [6]. Although its main objective consisted in performing an assessment of chemical munition dump sites remaining in the Baltic Sea since the Second World War, the project also involved research tasks concerned with the construction of abyssal vehicles.

It consisted in an adaptation of an ROV construction to conducting research in potentially contaminated sites with the possibility of taking samples of seabed material and water from the layer over the seabed. The project was implemented by 11 scientific establishments from Poland, Sweden, Finland, Germany and Lithuania. The coordinator was the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences in Sopot¹⁰.

AMERICAN RESEARCH

Ocean researcher worldwide aims towards the possibility of collecting data concerned with bodies of water, enabling the obtainment of comprehensive information from various areas and with the use of various technical solutions. Traditionally, this is done with the use of oceanographic ships equipped with diverse apparatuses. An interesting initiative in this respect is a research institute founded in 2009 by Eric Schmidt under the name of Schmidt Ocean Institute with the seat in Palo Alto (California, USA).

The Institute's mission consists in acquiring oceanographic knowledge through the collection of data with the use of a fleet of underwater robotised devices, their analysis and open exchange with various environments [30b]. At the same time, it is important to note the fact that according to Schmidt, the potential problem rests in data processing not collection.

For this reason, he believes that this should be handled by properly constructed analytical machinery capable of managing the enormous amounts of collected bezzałogowe. Obecnie instytut realizuje projekt głębokowodnego pojazdu badawczego o hybrydowej konstrukcji zdolnego do pracy na głębokościach 4500m (Rys. 2.1). information. The primary research tool of the institute is the R/V Falkor ship equipped with a number of environment analysis tools, including unmanned vehicles.

At present the institute is implementing a project of a deep water hybrid research vehicle capable of working at a depth of 4500 m (Fig. 2.1).

The project provides for the construction of an entire flotilla of such vehicles, the first of which is to become operational in 2016, and the others in the years to come. In prospect, the plan envisages reaching operational capacities with the use of these devices at depths of 11000m.

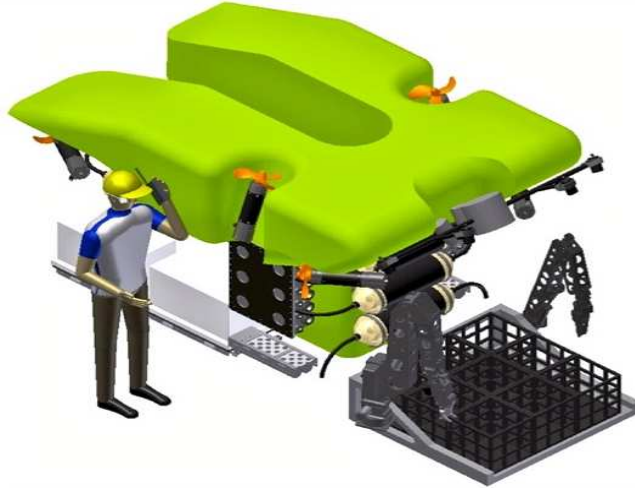


Fig. 2.1. The concept of a deep water hybrid vehicle developed at the Schmidt Ocean Institute [30b].

On the other hand, wherever there is a need solely regarding data collection on the aquatic environment, there are attempts to withdraw from the use of remotely operated devices and aim towards designing highly autonomous vehicles in terms of energy consumption and independent in task realisation. This is feasible, since in such a case there is no need for performance of any kind of technological operations or those connected with sampling the seabed material, and the basic on-board equipment consists of sensors of environmental parameters.

The data collected with their use can be transmitted in any way that is known to modern technology, for instance to a smartphone belonging to a research project manager. In such cases the systems used in ocean research comprise underwater and surface gliders like that designed and developed by Liquid Robotic Wave Glider (Sunnyvale California, USA) - Fig. 2.2.

This surface glider moves at speeds of up to 4 km per hour and, since it utilises wave movement, does not require any power source. Six meters below the surface hull there are wings that propel the vehicle. Wave movement is transferred to horizontal planes resembling the horizontal caudal fin of a whale. Power is supplied to all on-board devices, including satellite communications, with the use of solar cells installed in the upper part of the vehicle.

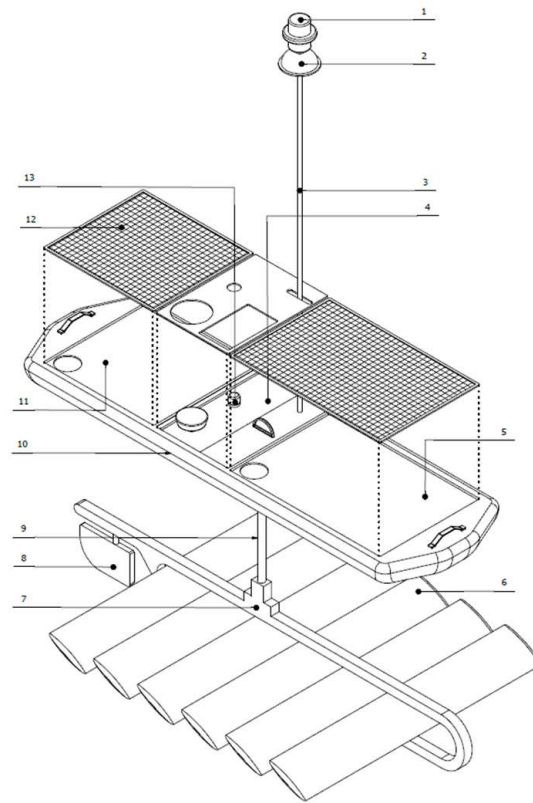


Fig. 2.2. Wave Glider vehicle developed by Liquid Robotics.

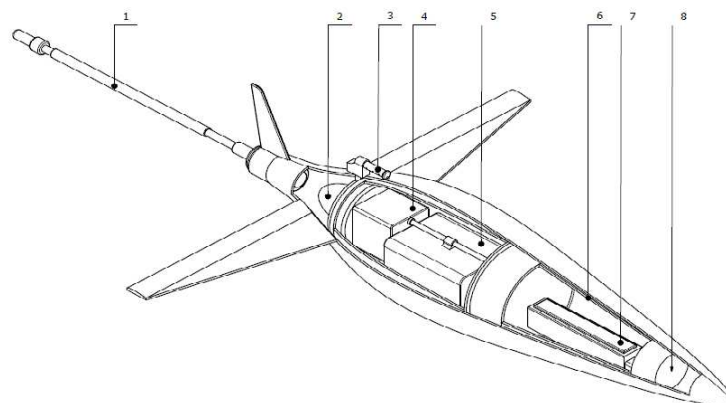
1 – weather forecast station, 2 – running lights, 3 – mast, 4 – chamber with electronic equipment, 5 – nose battery, 6 – propelling wings, 7 – wing frame, 8 – rudder, 9 – pole connecting surface and underwater parts, 10 – lifting fuselage, 11 – stern battery, 12 – solar panel (stern), 13 – automatic ship identification antenna (ASI) [30c].

However, Wave Glider cannot immerse and explore ocean depths. Such a purpose is served by a different kind of a marine unmanned glider. For instance, the one designed by the University of Washington in Seattle (USA), the Seaglider vehicle – Fig. 2.3. The vehicle is submerged by moving the ballast between the nose and the tail and generating carrying capacity in horizontal depth rudders.

The effect is intensified by pumping oil by a small pump, which changes the position of the vehicle's nose. The vehicle moves in midwater with a sinusoidal movement, covering a horizontal distance of several kilometres in a single immersion, and descending as much as one kilometre in depth. By moving this way at speeds of approximately 1 km/h (0.5 kn) it can work even for

several months, as the battery powering the small pump motor does not require too frequent a replacement. As can be seen, a real challenge for these devices is their powering with electrical energy.

An interesting and innovative concept in this respect was presented in a science fiction article published in Oceanography magazine in 1989 by Henry Stommel [7]. Its implementation, on the other hand, was the work of engineers from Teledyne Webb Research commissioned by Woods Hole Oceanographic Institution in 1991 [8]. It is an underwater glider (called Slocum Glider) powered with a displacement engine supplied with a heat exchanger.



2.3. SeaGlider vehicle developed at the University of Washington [30d].

1 – GPS antenna, 2 – pneumatic balloon, 3 – measurement sensors, 4 – hydraulic system with oil, 5 – batteries, 6 – pressure shield, 7 – electronic module, 8 – hydroacoustic transponder.

The propulsion uses temperature differences between surface and deep waters. The basis is material changing its volume under the effect of temperature changes, which powers up a small hydraulic pump feeding the current generator. As studies showed, such a solution allows the glider to descent to a depth of approximately 1800 metres and travel a distance of almost 4 km (Fig. 2.4) [30e].

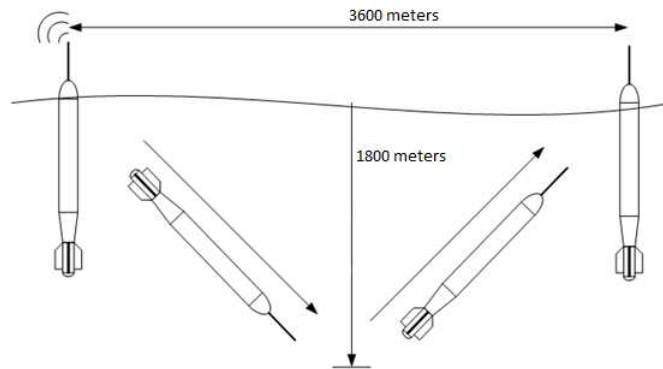


Fig. 2.4. Slocum Glider mission profile [8].

A significant breakthrough within the scope of constructional solutions concerning the technical methods of the remote control of vehicles has occurred quite recently. In 2013 an American vehicle, Nereus, working at the depth of over 700 meters was controlled with the use of a hydroacoustic channel with simultaneous visual data transmission at the speed and in

a quality enabling real time control of the vehicle's manipulator (Fig. 2.5).

Of course, this solution used a hydro modem immersible to a significant depth with the use of an fibre optic cable, and for this reason such a configuration is called a hydroacoustic-optic channel [9].

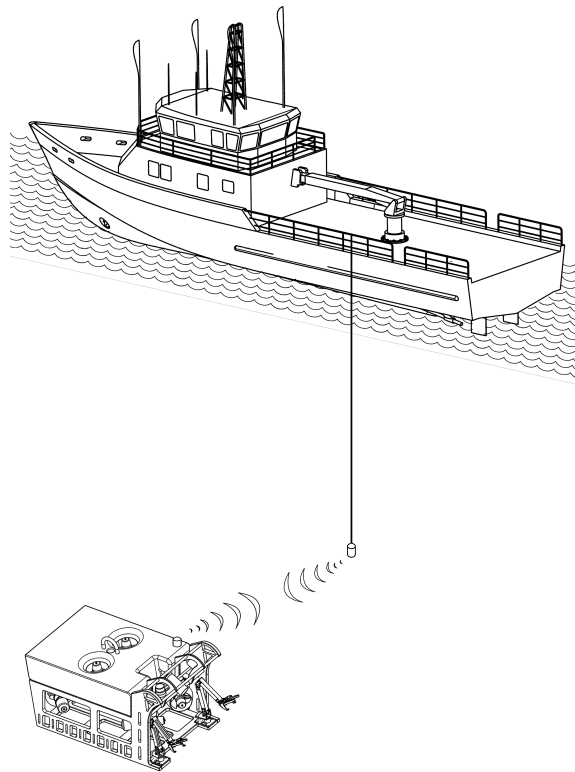


Fig. 2.5. The use of a hydroacoustic-optic channel to control a vehicle at large depths.

A number of interesting development projects in the area of marine unmanned platforms is implemented by the Naval Research Laboratory (NRL), and in particular the Laboratory for Autonomous Systems Research.

One of such projects concerns the development of a concept of an unmanned flying-diving vehicle – Flimmer UAV/UUV – its objective consists in providing a solution combining unmanned flying vehicles and underwater vehicles, which is to significantly improve the tactical availability of underwater vehicles operating within a short time horizon, at small distances and in places they would find difficult to reach independently, for instance, due to strong currents (Fig. 2.6).

Another research unit of NRL implements a similar project involving a UAV/USV vehicle – i.e. a flying-swimming vehicle (Sail-a-Plane), which is to



Fig. 2.6. The concept of UAV/UUV Flimmer vehicle [30f].

POLISH RESEARCH AND DEVELOPMENT WORKS

In the second half of the 20th century research works connected with the technology of unmanned underwater vehicles conducted in Poland were the domain of institutes located on the coast, such as the Szczecin University of Technology, the Gdańsk University of Technology and Naval Academy.

The pioneering works in this field were implemented by a team supervised by Prof. A. Piegata from the Szczecin University of Technology (today's West-Pomeranian University of Technology), and the pinnacle was the defence of Piegata's doctoral dissertation concerned with the control of the propulsion system of underwater vehicles in 1988 at the Wilhelm Pick University in Rostock, as Poland did not have a committee that could evaluate his scientific achievements.

For the purpose of implementation of this research, at the beginning of the 1980s the first construction of this type was prepared in Poland – the AITS vehicle (Fig. 3.1). It applied quite simple and then available construction solutions, even using waste materials [12].

Despite its modest construction (when compared with more recent times), these solutions allowed the thorough research which in turn verified the mathematical movement models and regulator selection. A similar research area is currently being examined at the

be used for reconnaissance purposes. A different NRL project within underwater unmanned technologies involves an underwater vehicle with the so-called "fluttering fins", which is to be used in reconnaissance of very shallow coastal bodies of water [10] – Fig. 2.7.

Moreover, the Naval Research Laboratory implements a project entitled Adaptive Testing of Autonomous Systems, aimed at the development technologies used for the testing and evaluation of control software for intelligent autonomous systems.

Another NRL project consists in conducting research towards the improvement of operational manipulator capacities within the scope of artificial sensory impression aimed at increasing the perceptive capabilities of manipulators encompassing a sense of touch.



Fig. 2.7. UUV with propulsion using the so-called "fluttering fins" [10].

Department of Information Technology of the West-Pomeranian University of Technology by Prof. A. Tariova and S. Kruszko, M.A. [11].

The Department of Maritime Technology and Transport on the other hand, for many years, has been carrying out comprehensive and multifaceted studies at the Faculty of Construction, Mechanics and Ship Technologies under the supervision of Tadeusz Graczyk, Ph.D., Eng. The documented effects of their implementation are technology demonstrators and prototypes of such underwater vehicles as NUR – a carrier of underwater works devices, MUNA, KRAB, and "Magis" – presented in Fig. 3.2 [13].

Other achievements of this academic environment include an underwater observation apparatus PAO-100, diving abyssal vehicles NPG-600 and NPG-300 (Fig. 3.3) and a transporter of monitoring devices TUM-600 [14]. Current works of the team encompass topics connected with the problematique of automatic control of submersible devices and their power supply systems [14,15,16].



Fig. 3.1. Underwater vehicle AITS during testing in Drawskie Lake in 1982 [12].

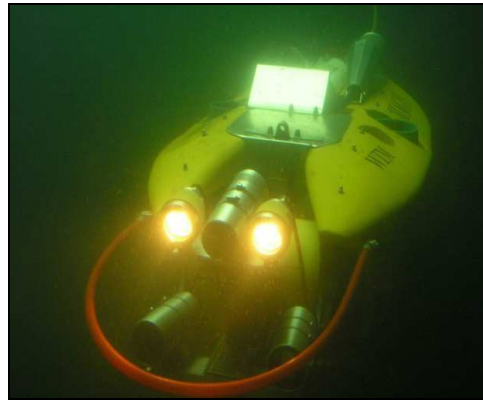


Fig. 3.2. Underwater vehicle "Magis" during testing in an experimental pool of the Department of Maritime Technology and Transport of the West-Pomeranian University of Technology in Szczecin [12].

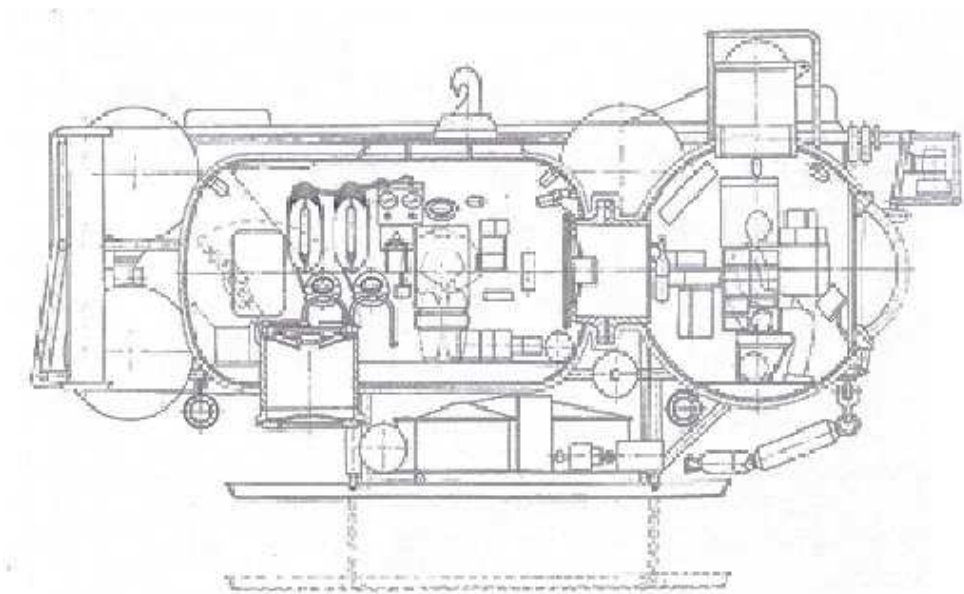


Fig. 3.3. Section in the symmetry plane through the diving and command division of the Diving Abyssal Vehicle (DAV) designed at the West-Pomeranian University of Technology in Szczecin [16].

At the Gdańsk University of Technology works connected with submersible devices are performed mainly at the Department of Ocean Engineering and Shipbuilding, and specifically at the Faculty of Ship Design and Underwater Robotics, with the Institute of Abyssal Technology operating under its aegis. They are conducted by alumni of Prof. Jerzy Doerffer, who began their adventure with abyssal techniques as early as in the 1970s. At present, the faculty is run by Lech Rowiński, Ph.D., Eng., who in 1993 defended his habilitation dissertation devoted to designing submersible devices with the use of computer techniques [17].

The achievements of this research centre are significant and characterised by a high implementation rate. The main documented results of this team's works in the period between 1974-2000 are presented in Table 1.1 below. One of the most interesting constructions developed by the team was a manned vehicle LTS-7 "Grześ" constructed in 1975 on commission of the Maritime Fishing Institute intended for the observation of fishing tools at work [18,19,20] – Fig. 3.4. Further accomplishments of the team included, first of all, an ROV

used as a mine countermeasure under the name of "Ukwiał" [21,23,19] and a new generation of disposable vehicles called "Głuptak" – Fig. 3.5 [19,23].

Apart from the problems associated with the construction of underwater vehicles the team seeks solutions concerning hydroacoustics, use and operation of vehicles, for instance, to excavate polymetallic nodules from the seabed [20,24,30g,30h,30i,30j,30l], [30m]. Another achievement of the team consists in conducting training in the instruction of controlling an unmanned underwater vehicle [22]. One of the last accomplishments involved the concept and project of an underwater hotel and a multi-task underwater vehicle called "Morświn" (Fig. 3.6).

Submersible devices and vehicles designed and constructed by a team from the Gdańsk University of Technology in the years 1974-2000 on the basis of [30k].

Year	Vehicle name	Operational depth	Dimensions LxBxH	Weight
		[m]	[m]	[Mg]
1974	Czapla	60	2.5x1.2x0.8	0.03
1976	LTS-7	200	3.5x1.8x1.8	3000
1984	Burzyk	200	3.0x0.8x0.8	1200
1986	Kapsuła	50	4.0x4.0x7.0	20000
	Koral	400	0.6x0.6x0.6	0.150
1990	Konkreca I	6000	4.0x1.0x2.0	3.0
	Konkreca II	6000	20.0x20.0x5.0	1500000
	Holonur 1	50	0.7x0.4x0.3	0.035
1995	Koral AT	400	0.9x0.7x0.7	0.070
	Holonur 2	50	0.8x0.4x0.3	0.035
	AUV	no data	3.0x10.0x5.0	0.700
1997	Holonur 3	50	no data	0.035
2000	Ukwiął	200	1.5x0.7x0.75	0.200

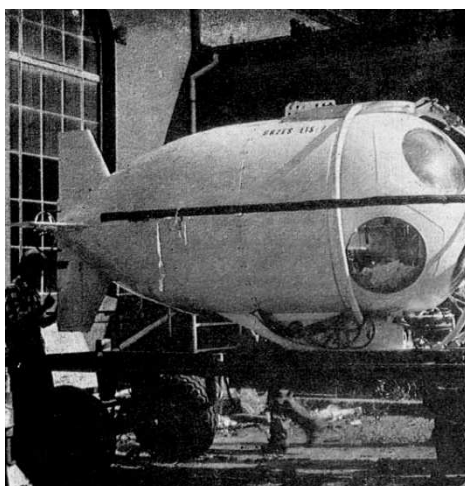


Fig. 3.4. Vehicle LTS-7 "Grześ" [17].



Fig. 3.5. Vehicle LTS-7 "Głuptak" [23].



Fig. 3.6. Multi-purpose underwater vehicle "Morświn" designed at the Gdańsk University of Technology.



Fig. 3.7. Unmanned surface vehicle "Edredon".

In 1970s a team of employees of the Polish Naval Academy (AMW) under the supervision of Prof. Władysław Wojnowski worked out a long-term development plan of underwater techniques in Poland for the years 1980-1995. The plan comprised construction of a wide range of submersible devices in the country – an underwater habitat, a wet and dry underwater vehicle, a submarine aimed at performing subsea scientific research and other devices.

In the implementation of this plan the team of Prof. Wojnowski developed well advanced technical projects of all of the planned solutions, however, for various reasons, it was never fully realised. At present, works on the unmanned vehicles technology are implemented by different interdisciplinary teams mainly concentrated at the Institute of Electrotechnology and Marine Automatics, as well as at the Institute of Underwater Works Technology.

The teams solve a broad problematique, starting with unmanned surface and underwater vehicles to those that are remotely controlled and autonomous. For example, the team guided by Prof. Z. Kitowski, Ph.D., Eng., within the framework of a project implemented by a scientific-industrial consortium, has designed and constructed the first Polish unmanned surface vehicle for monitoring ports and coastal zones – "Edredon"¹¹ – Fig. 3.7.

Within another project, combined teams from the Department of Navigation and Naval Armament and

the Mechanical-Electrical Department, for the purpose of verification of project assumptions for an anti-collision module of an unmanned surface vehicle, have developed and constructed a miniature unmanned surface boat called USV Gambir¹² (Fig. 3.8, Fig. 3.9). The same interdisciplinary project team is currently implementing two projects connected with the construction of biomimetic vehicles, i.e. mimicking an animals' behaviour and appearance. In one case it is a project connected with developing solutions concerning a wave drive of vehicles reminiscent of fish and seals¹³.

In the other, implemented within the European Defence Agency in cooperation with the Bundeswehra Technical Centre 71, their use in underwater reconnaissance as a shoal of abyssal vehicles¹⁴ (Fig. 3.10, Fig. 3.11).

Apart from collective works, team members implement individual research projects, for instance, concerned with control systems, using in their activity the fuzzy logic method, artificial neuron networks and evolutionary methods in tuning up the structure and parameters of the above mentioned control systems of abyssal vehicles and their groups.

Another area for individual activity consists in the evaluation of the technical condition of surfaces of underwater objects and their identification with the use of visual systems installed on unmanned vehicles with computer analysis of underwater photograms.



Fig. 3.8. USV Gambir concept.



Fig. 3.9. USV Gambir hull during the first tests carried out in real conditions.



Fig. 3.10. One of the concepts of an underwater biomimetic vehicles developed within the 'Śledzik' project.

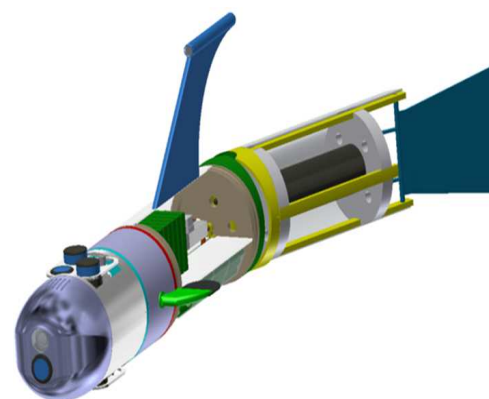


Fig. 3.11. The concept of a biomimetic vehicle with wave drive.

Moreover, the Institute of Ship Electrotechnology and Automatics implements works on the electrical power supply system in autonomous abyssal vehicles based on fuel cells as well as visual systems for controlling the vehicle-manipulator system. The Institute of Underwater Works Technologies, on the other hand, besides the works on new constructions of micro and mini ROV vehicles, implements works connected with the technology of utilisation of such devices in the implementation of underwater works, environmental research and providing support during diving activities.

The first and second decades of the 21st century is a period when the problematique of the underwater unmanned technique has spread across other research centres in the country. For instance, currently the research is realised at the Cracow University of Technology, where the bases of the wave drive have been developed along with the construction of the first prototype of a CyberFish, which was then further developed in cooperation with the Naval Academy within the Ślędzik project.



Fig. 3.12. Underwater vehicle "Isfar" developed at the Poznań University of Technology [26].

The said works encompass general principles of design of underwater vehicles with the focus on control systems, for instance, with regard to heading stabilisation and maintenance [27,28].

Recent years have brought a new phenomenon in Poland consisting in the development of our own constructions of underwater vehicles by economic entities, thus discovering an opportunity to increase their competitiveness in the market. One of such examples is a Research-Production Enterprise "Forkos" Ltd. operating within the Pomeranian Scientific and Technological Park, which in cooperation with the Department of Underwater Works Technology of the Naval Academy has developed and constructed the KH-100 ROV shown in the Figure 3.13.

The company has established extensive cooperation with the Naval Academy, thanks to which two cooperating mini and micro ROVs as a modular system used in aquatic environment exploration were developed as a part of a project co-financed with the EU funds within the IE OP (Fig. 3.14, Fig. 3.15). Furthermore, Forkos actively participates in other projects implemented in this field as a member of a scientific-industrial consortium or

Another centre where the works on this subject matter are carried out is the Poznań University of Technology (Institute of Information Technology and Engineering), where the construction of the "Isfar" vehicle was designed and developed (Fig. 3.12). It is a miniROV (weight up to 50 kg) with the dimensions of 0.6x0.9x0.4 m and maximum operational depth of 15 metres.

It was constructed mainly with the purpose of verification of application algorithms assumptions to control the vehicle. Moreover, the team deals with issues connected with underwater optics [26]. The Faculty of Applied Mechanics and Robotics at the Rzeszów University of Technology, on the other hand, solves problems connected with the modelling of mobile robots, including underwater ones.

In the work published in 2012, for instance, the team introduced simulation research results for a dynamics model of an underwater caterpillar robot [25]. Also at the Institute of Automatics, the Department of Automatics, Electrotechnology and Information Technology of the Silesian University of Technology research works concerned with underwater unmanned technologies have been initiated.

as a subcontracting party manufacturing technology demonstrators.

The second example is the GRALmarine company from Wrocław, which has developed and built an ROV called "Humbak" (Fig. 3.16). In Gdynia there is also a company named Deep Ocean Technology Ltd., which since 2012, in collaboration with the Gdańsk University of Technology, has been involved in the implementation of a project within the Applied Research Programme entitled: *Research of critical technologies for a high-power underwater mobile robot with multi-sensor reconnaissance kit*. The result of the project is to be a vehicle performing inspection activities at depths of approximately 1000 metres, working in strong current conditions.

Another examples in the enterprise sector is the Delta Prototypes company operating within the Academic Business Incubator of the Cracow University of Technology. The result of the activity of this entity is an unmanned technology demonstrator "Kalmar", which was used in the verification of the concept of a wave drive, as well as a design of a manned underwater vehicle "SR 1200 Stingray" using hydraulically controlled propulsors with variable geometry.

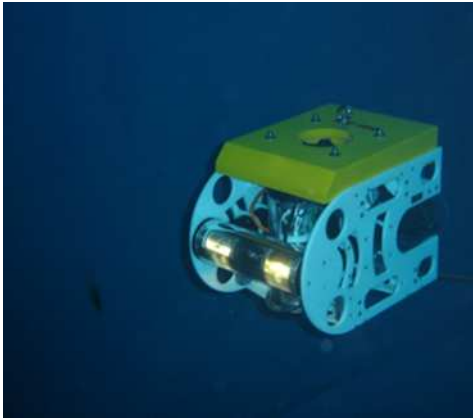


Fig. 3.13 MiniROV KH-100 developed by PBP Forkos Ltd. from Gdynia.



Fig. 3.14 Modular system for the exploration of aquatic environments and underwater objects built by Forkos Ltd. within the IE OP project no. 01.04.00-22-069/13 (the system comprises two cooperating underwater vehicles: miniROV KH-200 and microROV Frog).



Fig. 3.15 MicroROV Frog developed by Forkos Ltd. within the IE OP project no. 01.04.00-22-069/13 with an automatic cable winch and a special TV system for dimensioning underwater objects.

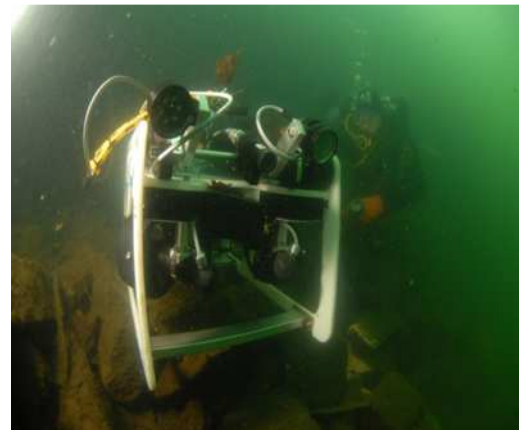


Fig. 3.16 MiniROV "Humbak" developed by GRALmarine company from Wrocław (material rendered available as a courtesy of GRALmarine company).

SUMMARY

As it was demonstrated, the efforts towards the development of unmanned technologies at sea pursue different directions. Generally speaking it can be concluded that as far as manufacturers are concerned, targets are mainly aimed at lowering production costs, increasing operational capacities (new manipulator solutions), developing new energy storage possibilities, increasing the effectiveness of works and maintaining competitive advantage in the market, all of which are important, as after a certain time the above become a binding standard.

Scientific centres, on the other hand, concentrate first of all on providing new construction solutions, new ways of utilisation and application of vehicles, as well as new environmental data collection methods and cooperation with diversified (heterogeneous) vehicle constructions during task implementation.

With the consideration of the projects and research activities presented in the material, it is possible to identify primary directions of development in maritime unmanned technology.

In the case of autonomous vehicles, understood as devices that are largely independent in performing tasks, this will mainly include aiming towards developing methods of long-standing environmental data collection over large marine areas. This is directly linked to attempts at reaching maximum possible autonomy in terms of energy. Moreover, efforts are being made towards enabling exploration at significant depths. Of course, such research has been implemented before, however they used to be more incidental in nature.

Nowadays, the target is sought in establishing continuous monitoring at significant oceanic depths. Such research directions are also imposed by works connected with obtaining the greatest attainable independence in the activity of surface and underwater devices. Contrary to what one might expect, there is still a lot to be done in this area, and apart from these problems new ones keep emerging, perhaps not connected to the technical solutions, yet equally important. For instance, with regard to the safety of swimming – it concerns the responsibility of the user of an unmanned surface boat moving among other vessels.

In the case of remotely operated vehicles, the basic trend of development is modularity of their constructions. This is what manifests a shift in the attitude to the character of an abyssal mission performed by such a device.

In this case modularity should be interpreted as a hybrid construction enabling partial task performance as an autonomous or semi-autonomous vehicle and implementation of the core part of a mission as a remotely operated vehicle. Colloquially speaking, the aim is that a submersible device should be able to independently reach the place of work, yet perform the work itself under strict supervision of the operator. For these reasons, solutions allowing for the transmission of control and image signals in the aquatic environment with the use of a sound wave are being developed.

In this way it is sought to eliminate hundreds of metres of cable lines dragged behind the vehicle during its work, which has an immediate impact on the size and construction of the propulsion system. Moreover, modularity enables diversification of the devices' functionality. Easy replacement of functional modules containing peripheral devices (sensors, manipulators, etc.) enables quick modification of the target functions in a device.

Moreover, this is conducive to the limitation of operating costs. For example, in a modular construction there is no need to transport the entire device to be

serviced at the manufacturer's premises but only the damaged module. The diversification of functionalities, on the other hand, allows for the purchase of a single multi-task device.

Another trend of development encompasses vehicles, which imitate marine animals with their appearance and behaviour, i.e. the so-called biomimetic constructions [29]. Here, the driving force consists in the need for performing covert actions and reducing the noise connected with the work of screw propulsors in midwater.

A very interesting result of the above review consists in the observation that Polish research related to unmanned marine technologies is presently in amongst all the main currents of development. This may confirm the expertise potential of the personnel dealing with this subject matter in the country.

Of course, the scale of these activities is much smaller as compared with other countries. Perhaps, this is due to the fact that Poland is a country that spends the least funds on research and development per capita among the countries in our region. According to the data obtained from the Central Statistical Office, comparable expenditure on R&D is noted only in Slovakia, a country with the population seven times smaller than Poland (Fig. 4. 1) [30n].

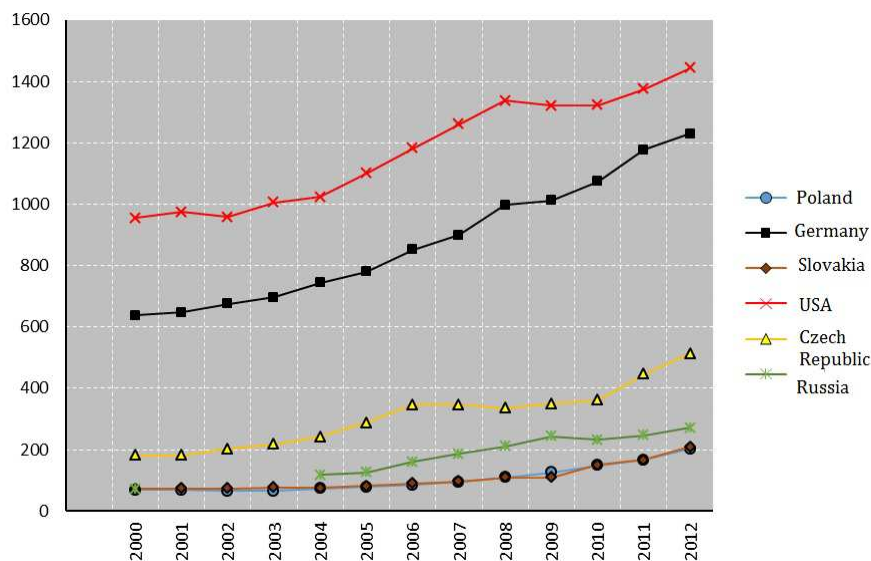


Fig. 4.1 Per capita expenditure on R&D activities in selected countries in the years 2000 – 2012 (on the basis of the data from the Central Statistical Office [30n]). There are no data concerning Russia in the period between 2001 – 2003. The expenditure in Poland is barely visible, as it is similar to the spendings of Slovakia. Only in 2009 did we spend slightly more than our neighbour.

As it stems from data presented in Fig. 4.1, for 12 years Poland spent on research and development the total of 1350 USD per capita (i.e. 5373), i.e. nearly the same amount as Slovakia, less than Russia, almost three times less than the Czech Republic, over eight times less than Germany and eleven times less than the United States of America.

The growth in the national expenditure per capita after the year 2007 from the level of 95 USD to 109 USD in the year 2008, which further grew to the amount exceeding 200 USD in 2012 is probably due to EU subsidies. Nonetheless, Poland is still the country that spends the least on the activity in this area. In the case that such a situation is maintained, it will be very difficult

for Poland to reach competitive results to solutions developed elsewhere. We will become a country of little innovation, forced to import advanced technologies.

BIBLIOGRAPHY

1. Olejnik A., Siermontowski P.: Will an underwater robot ever replace a diver? A poor progress or a great success?; PolHypRes No. 1(53)2016;
2. Olejnik A.: Development of remotely controlled abyssal systems, PolHypRes No. 4(33)2010, ISSN 1734-7009 pp. 7-21;
3. Olejnik A.: The current state of the technology of remotely controlled abyssal vehicles; PolHypRes No. 5(28)2009, ISSN 1734-7009 pp. 23 – 46;
4. Collective work: European research at work. The seventh framework programme, Ed. European Commission, General Directorate for Scientific Research, Brussels 2014;
5. Collective work: Annual Report 2011, Saab AB Stockholm 2011;
6. Collective work: Chemsea findings, IOPAN Sopot 2014, ISBN 978-83-936609-1-9;
7. Stommel H.: The Slocum mission, Oceanography Volume 2, Issue 1 p. 22-25, ISSN 1042-8275, DOI <http://dx.doi.org/10.56670/oceanology.org>;
8. Simoneti P.: Slocum Glider, Design and 1991 Filed Trials, Webb Research Corp. 1992;
9. Paschoa C.: Future ROV technology – subsea wireless control, Marine Technology News; www.marinetechologynew.com;
10. Geder J., Ramamutri R., Preussner M., Palmisano J.S.: Manoeuvring performance of four-fin bio-inspired UUV; Conference Proceeding, Ocean 13 Conference, San Diego USA, NRL Publication release Number 13-1231-2626;
11. Tariov A., Kruszko S.: Unmanned underwater vehicles – current state, business potential, prospects for development; Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania No. 10/2011, ISSN 033-2089, pp. 148-156;
12. Matejski M.: Movement modelling of underwater unmanned vehicles in experimental conditions; Publ. PTMiTH Gdynia 2011, ISBN 978-83-924989-7-1;
13. Graczyk T., Matejski M., Dramski M.: Maritime implementation research of an abyssal monitoring system; PolHypRes No. 2(32)2010, ISSN 1734-7009, pp. 37-47;
14. Graczyk T.: Unmanned remotely controlled abyssal vehicles – constructions and applications; Ship-construction Institute of the Szczecin University of Technology, Szczecin 1991;
15. Graczyk T.: The MAGIS remotely operated vehicle some design problems. Current report; Polish Maritime Reseach Vol. 9 Issue 3 (2002), ISSN 1233-2585, pp. 8-10;
16. Graczyk T.: Design issues on the example of unmanned abyssal vehicles, The Poznań University of Technology, Dissertations no. 421, Poznań 2008, ISSN 0551-6528;
17. Rowiński L.: Methodology of design of submersible vehicles at the stage of a concept with the use of computer techniques, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej Budownictwo Okrętowe No. 59, Gdańsk 1993, ISSN 0373-869X;
18. Rowiński L.: Abyssal technique – abyssal vehicles, construction and equipment, Publ. WiB Gdańsk 2008, ISBN 978-83-928007-0-5;
19. Cichocki A.: The use of unmanned underwater vehicles in a quick environmental assessment for the needs of navigation safety, Transcomp XIV International Conference: Computer Systems Aided Science, Industry and Transport, Zakopane 2010, pp. 595-605;
20. Rowiński L.: Excavation of polymetallic nodes with the use of autonomous underwater vehicles, Górnictwo i Geoinżynieria No. 35 n. 4/1 2011, ISSN 1372-6702, pp. 331-339;
21. Rowiński L.: Computer trainer for abyssal vehicle pilots, Konferencja DMW Gdynia 2001, p. 1 pp. 21-27;
22. Rowiński L.: A new dimension of underwater tourism – underwater hotels, The 14th Scientific Conference of the Polish Society of Hyperbaric Medicine and Technique, Sopot 2012;
23. Rowiński L.: OPM Guptak system as an element of an integrated OPM system, Rocznik Bezpieczeństwa Morskiego Rok VI, 2012, ISSN 1898-3189, pp. 291-302;
24. Biegański W., Kasiński A.: Imagine acquisition an underwater vision system with NIR and VIS illumination, Computer Science & Information Technology Volume 4 Issue 1 2014, ISSN 2231-5403, pp. 215-224;
25. Giergiel J., Kurc K., Szybicki D., Buratowski T., Trojnecki M.: Modelling of the dynamics of an underwater robot, Modelowanie Inżynierskie No. 45 Vol. 14 Year 2012, ISSN 1896-771X, pp. 45-51;
26. Biegański W., Ceranka J., Kasiński A.: Design, control and application of the underwater robot Isfar, Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems Volume 5 Issue 2, pp. 60-65;
27. Jaskot K., Babiaz A., Sroka M., Ściegienka P.: A prototype of an unmanned underwater vehicle – mechanical construction, operator's panel; Przegląd Elektrotechniczny R. 83, No. 8 2013, ISSN 0033-2097, pp. 52-67;
28. Sroka M., Ściegienka P., Babiarz A., Jaskot K.: A prototype of an unmanned underwater vehicle – system of stabilisation and course maintenance; Przegląd Elektrotechniczny R. 89, No. 9 2013, ISSN 0033-2097, pp. 205-217;
29. Szymak P.: A control-oriented movement model and a neuro-evolutional-fuzzy method of controlling unmanned vessels; Politechnika Krakowska, Seria Mechnika No. 504, Cracow 2015;
30. Internet sources:
 - a) CORDIS – Community Research and Development Information Service: <http://cordis.europa.eu/projects> - 01.2015,
 - b) www.schmidtocean.org – 01.2016,
 - c) www.schmidtocean.org – 12.2015,
 - d) www.schmidtocean.org – 12.2015,
 - e) www.webbresearch.com – 01.2016,
 - f) www.nrl.navy.mil – 01.2016,
 - g) Rowiński L.: A plastic craft for underwater observations, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011;
 - h) Rowiński L.: Jettison emergency capsule, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011;
 - i) Rowiński L.: Submersible conceptual design using computer aids, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011;
 - j) Kubaty L., Rowiński L.: Minecaunter vehicle for Baltic navy, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011;
 - k) Matuszewski L.: New designs of underwater vehicles from Underwater Technology Department, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011;
 - l) Kwapisz L., Narewski M., Rowiński L., Zrodowski C.: A measurement of 3D water velocity components turing ROV teter sumulations in test tank using hydroacoustic doppler velocimeter, <http://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011;
 - m) Narewski M., Rowiński L.: Application of autonomous remotely operated vehicles for detailed exploration of mineral deposits, <https://underwater.pg.gda.pl> – 01.2011;
 - n) <http://www.stat.gov.pl>

Adam Olejnik, Ph.D., Eng.

Naval Academy Department of Underwater Works Technology
81-127 Gdynia, Poland
ul. Śmidowicza 69
e-mail: a.olejnik@amw.gdynia.pl



¹ Project title: Developing the Croatian underwater robotics research potential,

² Project title: Archaeological Robot systems for the world's seas,

³ Project title: Persistent Autonomy through Learning, Adaptation, Observation and Re-planning,

⁴ Project title: Collective Cognitive Robots,

⁵ Project title: Autonomous, Self-Learning, Optimal And Complete Underwater Systems,

⁶ Project title: Probabilistic 3D Surface Matching For Bathymetry Based Simultaneous Localization And Mapping Of Underwater Vehicles,

⁷ Project title: Marine robots and dexterous manipulation for enabling autonomous underwater multipurpose intervention missions,

⁸ Project title: Advanced Underwater Image Mosaicing through Imaging Polarimetry,

⁹ Project title: Chemical Munitions Search and Assessment,

¹⁰ The author was one of the main project implementers on the part of the Polish Naval Academy of Gdynia responsible for modernisation of underwater vehicles utilised by the national team in the research conducted with the use of ROVs,

¹¹ Development research project No. O R00 0106 12, entitled: "Integrated planning system for the perimetric protection and monitoring of sea-ports and critical objects based on autonomous unmanned surface platforms" Consortium: Polish-Japanese Higher School of Computer Technology, Naval Academy and Spring S.A.,

¹² Development project No. DOBR-BIO4/090/13137/2013 entitled: Autonomous surface platforms Consortium: OBR Maritime Technology Centre S.A., Naval Academy, Gdańsk University of Technology, Warsaw University of Technology,

¹³ Development project No. DOBR-BIO4/033/13015/2013 entitled: Autonomous underwater vehicles with a silent wave drive for underwater reconnaissance, Consortium: Naval Academy, Cracow University of Technology, Industrial Institute of Automatics and Measurements, PBP Forkos Sp. z o.o. (project acronym ŚLEDZIK),

¹⁴ Project No. B-1452-ESM1-GP entitled: Swarm of Biomimetic Underwater Vehicles for Underwater Intelligence Surveillance and Reconnaissance. (project acronym SABUVIS).