

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 wydzieliło 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.)

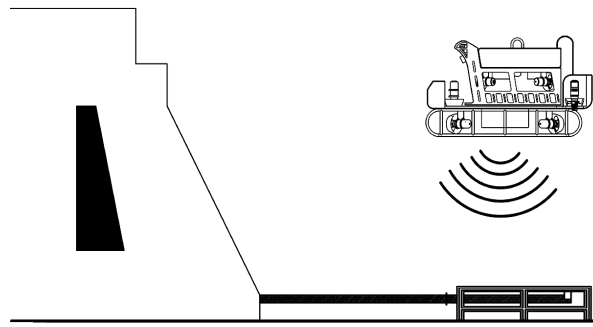
Kolejny program realizowany w UE to na przykład „Asimov” – rozpoznanie akwenu przy pomocy podwodnej półautonomicznej jednostki głębinowej sterowanej wiązką hydroakustyczną przez bezzałogową autonomiczną jednostkę powierzchniową, z możliwością radiowego przekazywania informacji do różnych użytkowników 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).

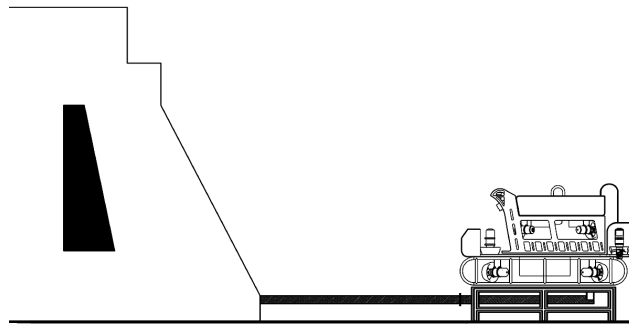
Ciekawym rozwiązaniem integrującym europejskie środowiska badawcze był realizowany w ramach 6FP projekt o akronimie FREESUBNET - Europejska sieć badawcza dla kluczowych technologii, dla interwencyjnych autonomicznych pojazdów podwodnych. W ramach programu zbudowano wirtualne narzędzia do komunikowania 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.

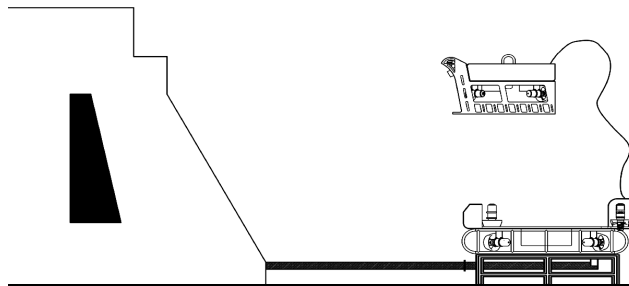
A.



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 Università 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 POLMOAIC⁸ (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 produkującą 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.

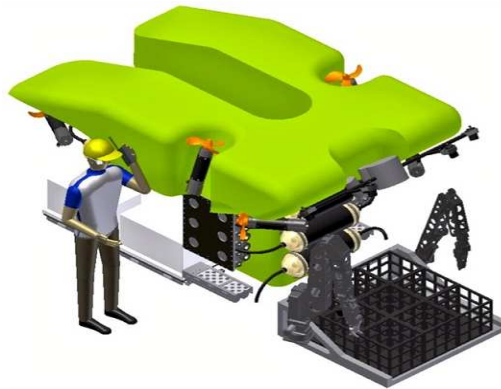
Polegało to na dostosowaniu konstrukcji pojazdu ROV do badań miejsc potencjalnie skażonych, z możliwością pobierania próbek materiału dennego i wody z warstwy naddennej. Projekt realizowało 11 jednostek naukowych pochodzących z Polski, Szwecji, Finlandii, Niemiec i Litwy. Koordynatorem projektu był Instytut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

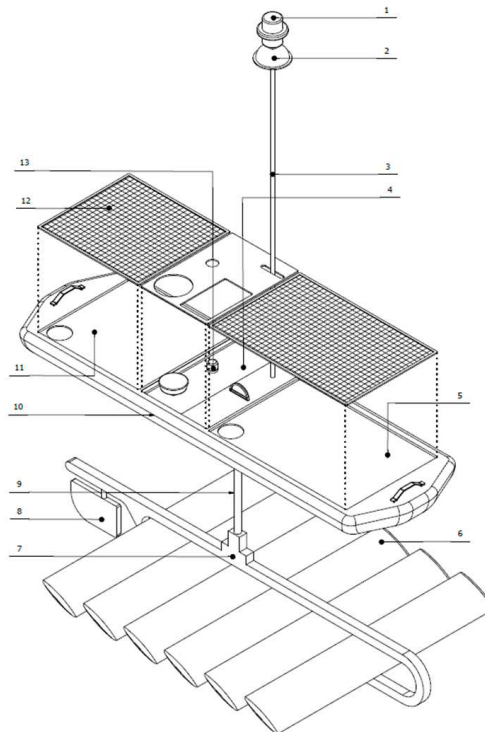


Rys. 2.1. Koncepcja głębowodnego pojazdu hybrydowego opracowana w Schmidt Ocean Institute [30b].

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.



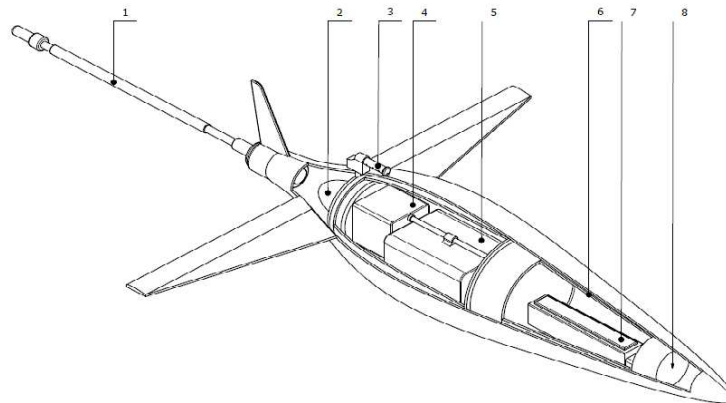
Rys. 2.2. Pojazd Wave Glider opracowany przez firmę Liquid Robotics.

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 *Oceanoigraphy* 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.

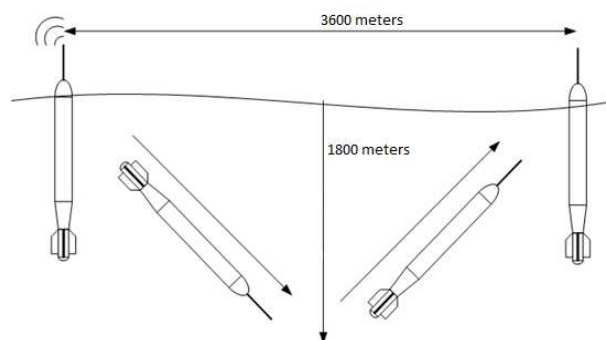


Rys. 2.3. Pojazd SeaGlider opracowany na University of Washington [30d].

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].

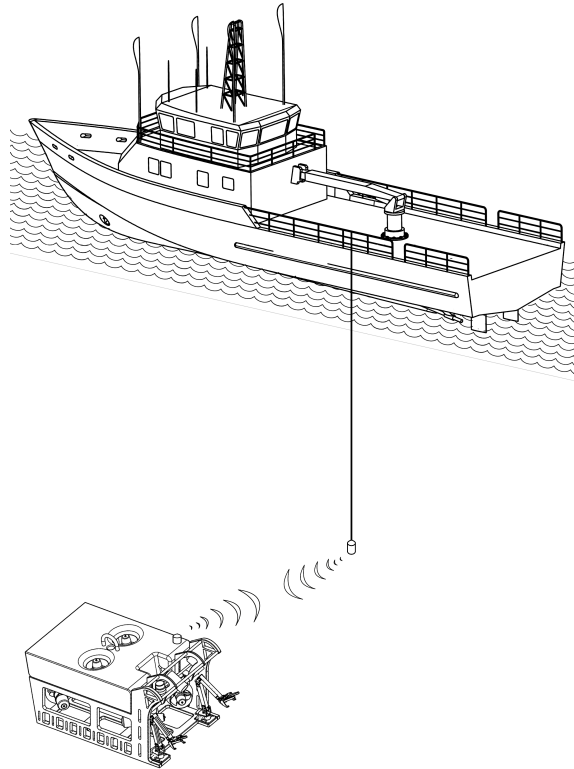
Najnowsze rozwiązania Teledyne Webb Research to pojazd o masie do 60 kg, głębokości roboczej do 1200 metrów, z autonomicznością energetyczną do 5 lat i możliwością pokonania w tym czasie drogi około 40 000 km. Pojazd Slocum G2 Glider porusza się za pomocą silnika wypornościowego z prędkością 0,35 m/s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

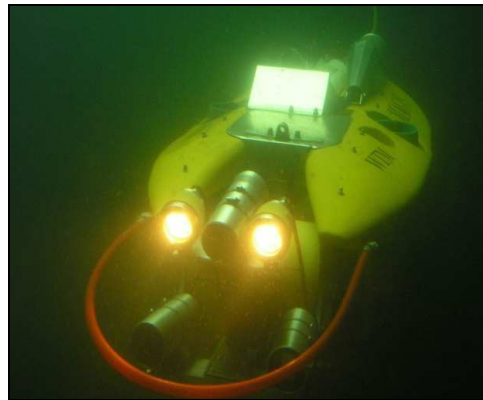
Mimo skromnej jak na dzisiejsze czasy konstrukcji, były to jednak rozwiązania pozwalające na gruntowne badania w zakresie weryfikacji modeli matematycznych ruchu i doboru regulatorów. Podobny obszar badań jest dziś kontynuowany na Wydziale Informatyki ZUT przez prof. A. Tariova i mgr S. Krusko [11].

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].

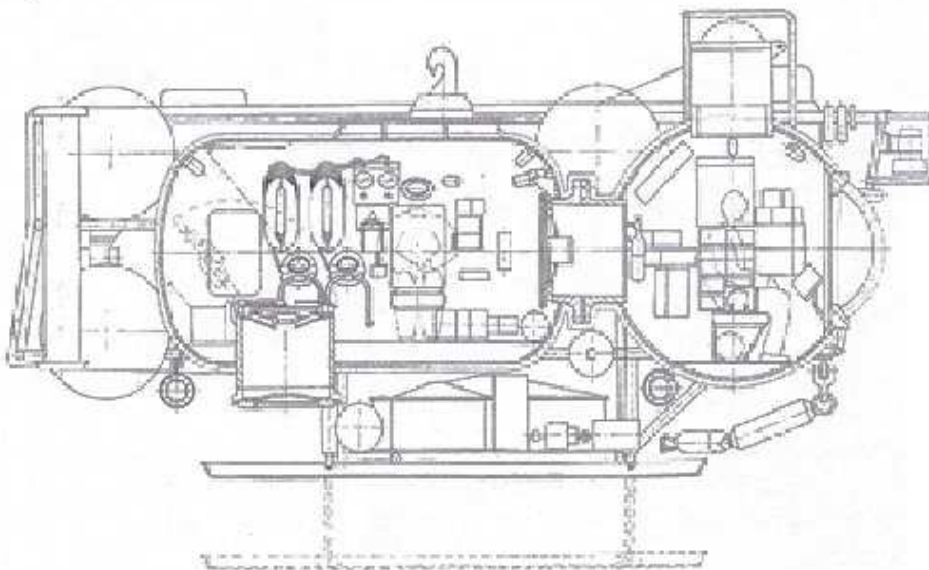
Inne osiągnięcia tego środowiska naukowego, to podwodny aparat obserwacyjny PAO-100, nurkowe pojazdy głębinowe NPG-600 i NPG-300 (Rys. 3.3) oraz transporter urządzeń monitorujących TUM-600 [14]. Aktualne prace zespołu to zagadnienia związane z problematyką automatycznego sterowania urządzeniami zanurzalnymi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

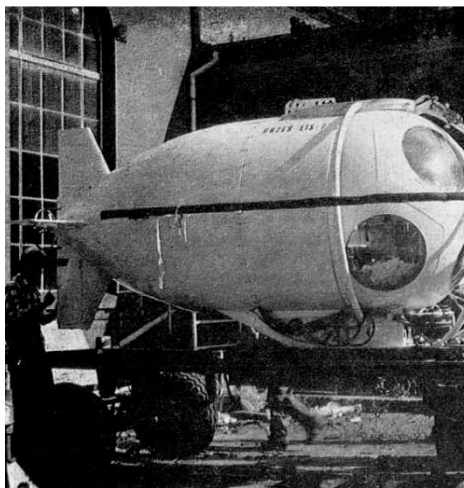
Osiągnięcia tego ośrodka badawczego są znaczące i cechuje je duży wskaźnik wdrożeń, głównie udokumentowane wyniki prac tego zespołu z lat 1974–2000 przedstawiono w tabeli 1.1. Jedną z ciekawszych konstrukcji opracowanych w zespole był załogowy pojazd LTS-7 „Grześ” zbudowany w 1975 roku na zlecenie Morskiego 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).

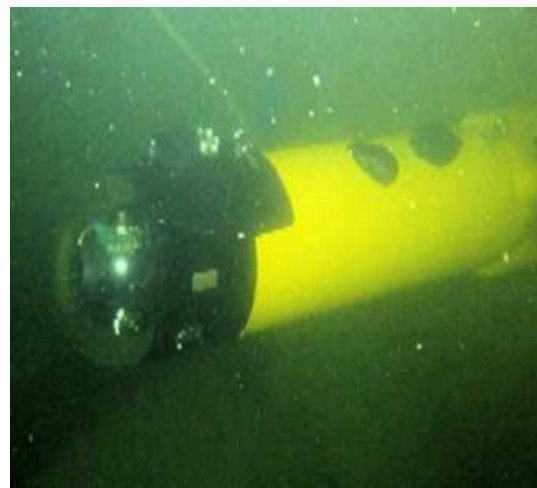
Tab. 1.1

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 antykolizyjnego 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.



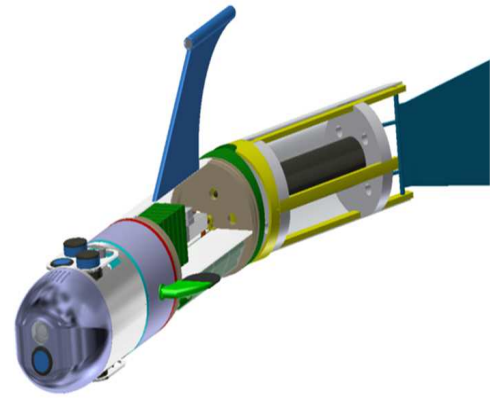
Rys. 3.8. Koncepcja pojazdu USV Gambir.



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].

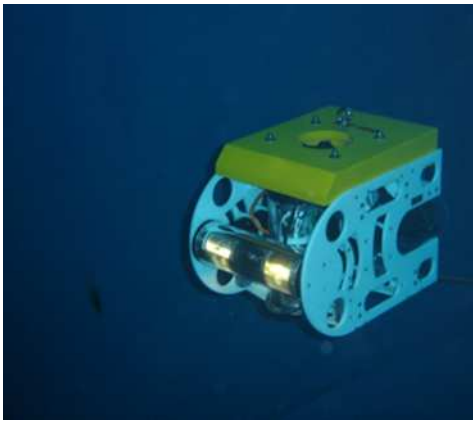
Ostatnie lata zaowocowały w Polsce nowym zjawiskiem, polegającym na tym, że swoje konstrukcje pojazdów podwodnych zaczęły opracowywać podmioty gospodarcze, znajdując w tej działalności szansę na zwiększenie swojej konkurencyjności na rynku. Jednym z takich przykładów jest działające w obrębie Pomorskiego 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.



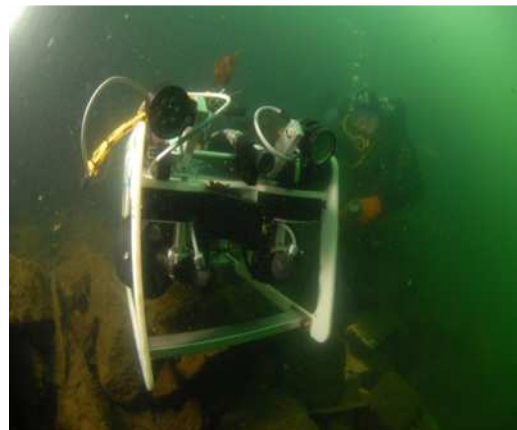
Rys. 3.13 Pojazd miniROV KH-100 opracowany przez PBP Forkos Sp. z o.o. z Gdyni.



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 bezzałogowej 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.

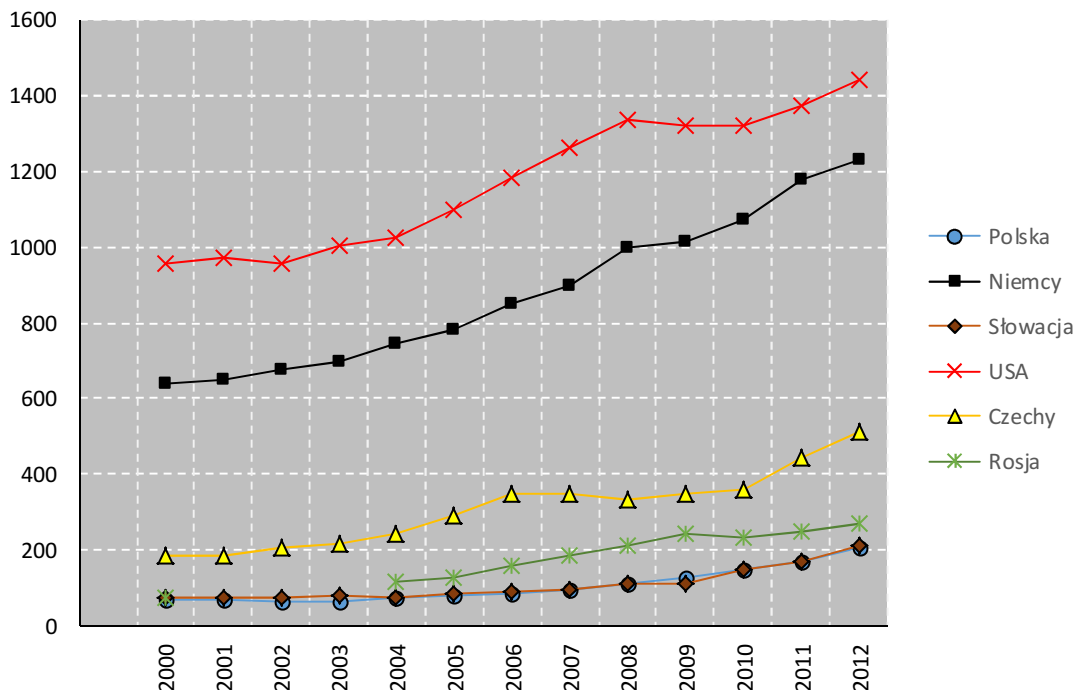
W tym przypadku, modułowość należy interpretować jako konstrukcję hybrydową, umożliwiającą częściowe wykonanie zadania jako pojazd autonomiczny lub semiautonomiczny, a realizację zasadniczej części misji jako pojazd zdalnie sterowany. Kolokwialnie rzecz ujmując, chodzi o to, aby urządzenie zanurzalne 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 bezzałogowych 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, Transcomp 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),