

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

rok 2018, nr 107, s. 33–46

DOI: 10.24425/123723

Rafał MIĘTKIEWICZ¹

Możliwości monitorowania stanu gazociągu podmorskiego relacji złoże B8 – Władysławowo przez siły marynarki wojennej

Streszczenie: Celem artykułu jest zaprezentowanie opinii autora na temat potencjalnych możliwości monitorowania stanu gazociągu podmorskiego w relacji złoże B8 (wydobycie surowca) – Władysławowo (odbiór i wykorzystanie gazu) przy wykorzystaniu zasobów Marynarki Wojennej RP. Z uwagi na specyficzne uwarunkowania batymetryczne posadowienia gazociągu pożądanym jest posiadanie wydajnych i bezpiecznych dla załóg okrętowych systemów odpowiedzialnych za monitorowanie stanu podmorskich linii przesyłowych. Kluczowymi elementami determinującymi prowadzenie działań poszukiwania obiektów niebezpiecznych w toni wodnej jest skrócenie czasu misji oraz wysokie prawdopodobieństwo wykrycia. Artykuł przedstawia zbiór głównych zagrożeń dla funkcjonowania obiektu ważnego dla niezależności energetycznej państwa (dywersyfikacja dostaw). W tym ujęciu przeanalizowany został przykład wykrycia pojazdu bezzałogowego w pobliżu gazociągu Nord Stream wraz z określeniem negatywnego wpływu dla użytkowników morza i stan bezpieczeństwa. Obserwowany w ostatniej dekadzie dynamiczny rozwój technologii bezzałogowych (powietrznych, nawodnych, podwodnych) kreuje nowe możliwości wykorzystania systemów autonomicznych w działaniach na rzecz bezpieczeństwa i nadzoru środowiska morskiego. Siły przeciwminowe Marynarki Wojennej RP zostały wzmocnione poprzez wprowadzenie do służby nowego typu niszczyciela min (Kormoran II) w ramach programu modernizacyjnego sił morskich. Zaprezentowane w opracowaniu systemy bezzałogowe wyposażone w zaawansowane technologicznie sonary oraz wysokie poziomy autonomiczności tworzą nowe możliwości dla efektywnego wykrywania, klasyfikacji, identyfikacji oraz neutralizacji obiektów niebezpiecznych znajdujących się na dnie morza oraz w toni wodnej. Artykuł wskazuje główne zalety wykorzystania technologii bezzałogowych zapewniających skrócenie czasu działania i zapewnienie bezpieczeństwa załogom. Marynarka Wojenna RP posiada już doświadczenie z bojowego użycia tego typu systemów w działaniach na rzeczywistych obiektach historycznych. Realizacja zadań pozwala na szkolenie operatorów systemów i zebranie niezbędnego doświadczenia. Zwraca także uwagę na podwójny charakter zastosowań systemów autonomicznych zarówno dla działań z zakresu obronności, jak i bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: gazociąg, autonomiczne pojazdy podwodne, Marynarka Wojenna RP

¹ Akademia Marynarki Wojennej, Instytut Operacji Morskich, Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich, Gdynia; e-mail: r.mietkiewicz@amw.gdynia.pl

Possibilities of underwater gas line connection B8 source – Władysławowo monitoring using the Polish Naval forces

Abstract: The aim of this article is to present the author's opinion about possible underwater natural gas pipeline monitoring using Polish Navy resources. Due to the bathymetrical characteristics of the pipeline equatorials the high efficiency and safe for the deck operators systems are expected to support the bottom survey and gas line monitoring. Time and engaged resources reduction are crucial factors in this kind of mission together with high probability of possible dangerous objects detection. The paper describes main threats for the underwater transportation line as a state energetic independence vital object (supplies diversification). An example of a threat caused by lost unmanned platform technologies near Nord Stream was presented and analyzed as well. The rapid development of unmanned maritime technologies (aerial, surface and subsurface) observed in the last decade creates new possibilities in maritime security/surveillance applications. The Polish mine counter measures assets which were equipped with sophisticated AUV's as a part of the Polish Navy modernization process (new minehunters Kormoran IInd class deployable). The presented autonomous underwater vehicles (AUV) are equipped with advanced sonars and create new possibilities in the issue of effective threats detection/classification/identification and neutralization. The main advantages of such solutions were pointed in the article with the crucial one based on time reduction as well as human – deck operators threats constraints. The first successes in the operational use of unmanned systems were reached during the military exercises (historical ordnance disposal) conducted on historical mine laying areas. This creates good possibilities to train the unmanned system operators in live objects activity which improves skills and knowledge. Moreover, the double use applications of unmanned technologies both in defense and maritime security has been observed.

Keywords: pipeline, autonomous underwater vehicle, Polish Navy

Wprowadzenie

Przy wzrastającej konsumpcji gazu ziemnego w Polsce (wg rankingów BP od 13,7 mld m³ w roku 2006, przez 16,6 mld m³ w roku 2012 do 17,3 mld m³ w roku 2016) wydobycia własnego niebędącego w stanie zaspokoić popytu (od 4,3 mld m³ w roku 2006, taką samą wartość w roku 2012 do 3,9 mld m³ w roku 2016) Polska zmuszona jest sprowadzać znaczne ilości surowca ze źródeł zewnętrznych (w roku 2016 gazociągami sprowadzono łącznie 12,6 mld m³ surowca, z czego 10,2 mld m³ z Rosji i zaledwie 2,4 mld m³ od innych dostawców europejskich) (BP Statistical Review... 2017). Ważnym elementem jest utrzymanie własnych możliwości wydobycia (eksploatacji) złóż lądowych i morskich.

Jednym z elementów infrastruktury odpowiedzialnej za dywersyfikację dostaw surowca o znaczeniu strategicznym dla bezpieczeństwa energetycznego jest gazociąg podmorski łączący eksploatowane przez LOTOS Petrobaltic SA złożo B8 (Morska Kopalnia Ropy Baltic Beta) z Elektrociepłownią Władysławowo. Mierzący 82,5 km długości gazociąg stanowi bardzo ciekawy przykład linii przesyłowej wkopanej w dno morskie, a do tego posadowiony w wodach o znacznej różnicy głębokości. Powstaje więc zasadnicze pytanie: w jaki sposób monitorować stan linii przesyłowej pod kątem występowania zagrożeń w specyficznym środowisku podmorskim? Aby poszukać odpowiedzi na tak sformułowany problem badawczy, należy w pierwszej kolejności dokonać identyfikacji zbioru zagrożeń, w drugim zaś kroku dostosować odpowiednie środki mające za zadanie zagwarantować możliwość przeciwstawienia się niebezpieczeństwu. W roku 2017 został wprowadzony do linii pierwszy w pełni nowoczesny niszczyciel min proj. Kormoran II. Jednostka otwierająca serię okrętów obrony przeciwminowej wyposażona została w zaawansowane systemy auto-

onomiczne zdolne do prowadzenia samodzielnych działań w toni wodnej bez bezpośredniej ingerencji operatorów pokładowych. Na chwilę obecną tylko Marynarka Wojenna dysponuje wysoce zaawansowanymi technologiami (autonomiczne pojazdy podwodne) umożliwiającymi realizację skomplikowanych misji w środowisku morskim. Do podstawowych zadań tego typu platform w czasie pokoju zaliczamy utrzymanie bezpieczeństwa na morskich szlakach komunikacyjnych (*sea lines of communications* SLOCs) oraz rejonów, obiektów o szczególnym znaczeniu dla bezpieczeństwa państwa (porty morskie, platformy wiertnicze, infrastruktura przesyłowa). W świetle powyższego sformułowano hipotezę roboczą, iż dzięki nowoczesnym technologiom wprowadzanym na wyposażenie Marynarki Wojennej RP, morski rodzaj sił zbrojnych jest w stanie monitorować stan gazociągu podmorskiego w granicach polskich obszarów morskich.

1. Złoże, punkt wydobywania

LOTOS Petrobaltic posiada koncesje na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż ropy naftowej i gazu ziemnego obejmujące trzy obszary. Ich łączna powierzchnia wynosi 3177 km². Leżą one we wschodniej części obszaru morskiego RP. LOTOS Petrobaltic wraz ze spółkami zależnymi i współzależnymi posiadają ponadto cztery koncesje na wydobywanie kopalin ze złóż B3, B4, B6 i B8. Aktualnie eksploatacji poddane są złoża ropy naftowej B3 i B8, natomiast gazowe złoża B4 i B6 przygotowywane są do zagospodarowania. Eksploatowane złożo B8 posiada udokumentowaną głębokość sięgającą 2217 m i położone jest w obszarze polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej.

Zgodnie z przeprowadzonymi szacunkami zasoby przemysłowe przeznaczone do wydobywania na dzień 31 grudnia 2015 wynosiły 4 557,92 tys. ton ropy naftowej w kategorii B oraz 551,62 mln m³ gazu ziemnego współwystępującego w kategorii B. Zasoby nieprzemysłowe wynosiły zaś odpowiednio 8 324,86 tys. ton ropy naftowej w kat. B oraz 1 340,46 mln m³ gazu ziemnego współwystępującego w kat. B (Minister Środowiska 2017). Wraz z wydobywaniem do odwiertów wtłaczane są wody złożone.

Na potrzeby eksploatacji zasobów złoża B8 (ropa naftowa i towarzyszący jej gaz ziemny) powołano do życia spółkę B8 sp. z o.o. Baltic s.k.a (spółka komandytowo-akcyjna). Złożo B8 położone jest w rejonie koncesyjnym o nazwie Łeba, w odległości blisko 70 km na północ od Jastarni (rys. 1).

Produkcja ze złoża rozpoczęta została w roku 2015, natomiast pełne zagospodarowanie złoża przewidziane jest na czwarty kwartał 2018 roku. Co istotne znajduje się ono 2,1 km pod dnem morza. Do zagospodarowania przygotowywane są także gazowe złoża B4 i B6 (ok. 4 mld m³), z których łączny poziom wydobywania ma wynieść do 250 mln m³ rocznie (Mirowicz 2016).

Za złoża B wydobyto do roku 2017 około 34 mln baryłek ropy oraz 465 mln m³ gazu, co stanowi podsumowanie 25-letniej eksploatacji na tym złożu (Lotos 2017). Przez ostatnie lata prace wydobywcze prowadziła platforma Petrobaltic (fot. 1).



Rys. 1. Umiejscowienie złoża B8 na polskich obszarach morskich (wyłączna strefa ekonomiczna ang. *Exclusive Economic Zone* – EEZ)

Źródło: www.lotos.pl/1826/grupa_kapitalowa/nasze_spolki/lotos_petrobaltic/grupa_kapitalowa_1_otos_petrobaltic/b8_baltic

Fig. 1. Source B8 localization on Polish maritime areas (Exclusive Economic Zone)

2. Gazociąg i punkt odbioru surowca

Całkowita długość gazociągu wynosi 74,8 km. Ciśnienie surowca na platformie wynosi 13,5 MPa (temperatura 41°C) natomiast ciśnienie na wylocie spada do wartości 13 MPa (temperatura 4°C) (Werno 2015). Podstawowe dane gazociągu zaprezentowane zostały w tabeli 1.

Przekrój pionowy trasy posadowienia gazociągu charakteryzuje się znaczną stromizną. Gwałtowny spadek dna wraz ze wzrostem odległości od wybrzeża waha się od poziomu morza do wartości przekraczających 90 m w odległości około 30 km od brzegu. W dalszym odcinku głębokość dna pozostaje pofalowana, bez gwałtownych skoków.

W celu zabezpieczenia, rozwijanego z pokładu statku przeznaczonego do układania podwodnych linii przesyłowych, elastycznego gazociągu operację poprzedziło wydrążenie



Fot. 1. Prowadząca eksploatację złoża B8 platforma wiertnicza Petrobaltic
 Źródło: materiały firmy Lotos

Phot. 1. Petrobaltic oil rig on B8 source

w dnie morskim specjalnej rynny. Wąski wykop sięga od 1 do 3 m w głąb dna morskiego. Nieco inaczej przedstawia się sytuacja w strefie przybrzeżnej (głębokość wody poniżej 10 m). Tam bowiem aż do miejsca połączenia gazociągu z lądem wykonano przewiert kierunkowy (z lądu w kierunku morza). Przetransportowane drogą morską bębny z elementami gazociągu przedstawione zostały na fotografii 2.

TABELA 1. Charakterystyka techniczna gazociągu

TABLE 1. Technical gas pipeline characteristics

Lp.	Parametry [jednostka]	Wartość
1	Materiał [-]	Stal rurowa X-65-C
2	Średnica wewnętrzna ID [mm]	101,6
3	Średnica zewnętrzna ID [mm]	114,3
4	Grubość ścianki [mm]	6,35
5	Maksymalne ciśnienie robocze [MPa]	34,2

Źródło: Werno 2015.



Fot. 2. Rolki z nawiniętym rurociągiem (przeciętny ciężar każdej z 21 dostarczonych w ostatnim transporcie rolek to 50 ton – 2–2,2 km gazociągu) tuż po wyładowaniu transportu z Houston do Gdańska (łącznie zakupiono 53 rolki)

Źródło: www.zzit.pl/ostatnia-dostawa-z-75-km-rurociagu-o-cisnieniu-roboczym-130-barow-dla-b8

Phot. 2. Coil tube on transportation castor after reloading in Gdańsk

Finalnie gaz doprowadzany jest do elektrociepłowni Energobaltic (Władysławowo), gdzie ma miejsce dwuetapowy proces produkcji. W pierwszym, gaz dostarczony z platformy poddawany jest separacji frakcji ciężkich węglowodorów, rezultatem czego jest uzyskanie gazu ciekłego propan-butan (LPG), kondensatu gazu naturalnego (KGN) i gazu suchego. Etap drugi obejmuje wykorzystanie gazu suchego do produkcji energii elektrycznej i cieplnej. Elektrociepłownia Władysławowo wyposażona została w dwa turbozespoły gazowe, które odpowiadają za wytwarzanie w skojarzeniu energii elektrycznej oraz cieplnej o łącznej mocy odpowiednio 11 MWe i 17,7 MWt. Ponadto dwa kotły odzysknicowe, w które wyposażona jest elektrociepłownia, o mocy nominalnej 8,8 MWt każdy, wykorzystują gorące spaliny z turbin gazowych do podgrzania wody w obiegu pierwotnym. Wyprodukowana energia cieplna trafia do miejskiej sieci ciepłowniczej, obejmującej aktualnie 148 węzłów cieplnych i 12,2 km rurociągów. Łączna moc zamówiona to 13,2 MW (Technologie 2017).

Eksploatacja surowca (wydobycie, transport) odbywa się w specyficznym pod wieloma względami środowisku morskim. Jednym z kluczowych elementów mających bezpośredni wpływ na poziom bezpieczeństwa jest posadowienie linii przesyłowej w sposób przecinający polskie obszary morskie, co niesie ze sobą określone uwarunkowania prawne. Każdy z obszarów morskich, które obejmują: morskie wody wewnętrzne, morze terytorialne (12 mil morskich od linii podstawowej), strefę przyległą (24 mile morskie od linii podstawowej, zgodnie z tym 12 mil na zewnątrz od granicy państwa – morza terytorialnego) i wyłączną strefę ekonomiczną (ang. EEZ, pol. WSE) charakteryzuje się odrębnym statusem prawnym. Wolność morza pełnego (wolność żeglugi morskiej i powietrznej oraz układania kabli i rurociągów) obowiązuje również w strefie przyległej i wyłącznej strefie ekonomicznej, na których państwu nadbrzeżnemu przysługują suwerenne uprawnienia określone przez prawo międzynarodowe (Strategiczna koncepcja... 2016). Zauważyć w tym momencie nale-

ży, iż na znacznej długości gazociągu odbywa się swobodny ruch jednostek różnych bander (różnej przynależności).

3. Charakterystyka zagrożeń

Wśród zagrożeń bezpieczeństwa funkcjonowania dostaw surowców (ropa naftowa, gaz) transportowanych gazociągami podmorskimi, specjaliści wyróżniają kilka ich grup, jak (Hupka 2014):

- korozja (zewnętrzna i wewnętrzna), która stanowi około 50% przypadków;
- efekt prowadzonej działalności na morzu (rzucanie kotwic lub jej wleczenie, kontakt z sieciami rybackimi, kolizje ze statkami), szacowane na około 15% ogółu przypadków;
- niebezpieczeństwa naturalne (sztormy, podwodne osuwiska, ruchy tektoniczne), około 10%;
- inne (nieznane bądź trudne do identyfikacji), około 10%.

Zupełnie inną grupę zagrożeń stanowią akty terroru oraz ataki możliwe do przeprowadzenia w fazie konfliktu podprogowego wymierzone w elementy infrastruktury przesyłowej transportującej surowce o znaczeniu strategicznym. Bez wątpienia obiekty te znajdują się na liście potencjalnych celów przy planowaniu działań bojowych grup specjalnego przeznaczenia (sił specjalnych). Należy się liczyć z potencjalnymi atakami wymierzonymi w gazociągi na etapie kryzysu oraz eskalacji działań poniżej progu wojny. Jest to bowiem element zmiękczenia przeciwnika poprzez odcięcie go od dostaw surowców niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania państwa. Podmorskie akty terroru, w tym także terroryzmu państwowego, skutkować mogą napięciami społecznymi (będącymi efektem wstrzymania dostaw), powodować gwałtowne zmiany cen surowców (wzrost), a także stawek ubezpieczeniowych. Przy tym działania podwodne przeprowadzane z użyciem popularnych w arsenałach państw na całym świecie min morskich oraz morskich improwizowanych ładunków wybuchowych (ang. *Waterborne Improvised Explosive Device* – WBIED) cechują się korzystną relacją koszt-efekt, a sprawcy są trudni do ustalenia*. Dynamicznie toczą się także prace nad wieloma typami pojazdów biomimetycznych, do złudzenia przypominających stworzenia morskie (ssaki, ryby, skorupiaki). Poza zewnętrznym podobieństwem do organizmów morskich, jednostki te imitują sposób poruszania tak specyficznych zwierząt jak węgorz, żółw morski czy homar. Trwają badania nad opracowaniem zasad działania grup (tzw. stad) tego typu bezzałogowców, co w wydatny sposób przyczyni się do rozwiązania jednego z podstawowych wyzwań, jakim jest prowadzenie nawigacji pod wodą (Yildiz i in. 2011). Efektem wystąpienia opisanych powyżej przypadków może być przerwanie dostaw, wstrzymanie wydobywania oraz szereg skutków natury społecznej i politycznej.

Potwierdzeniem tego typu hipotez zdają się być doniesienia o odnalezieniu na dnie morskim Bałtyku, w bezpośredniej bliskości gazociągu Nord Stream, „drona z ładunkiem”. Obiekt został odkryty przez służby szwedzkie na południe od Gotlandii (Ładunek... 2015)

* Obecnie bronią tą dysponuje kilkadziesiąt państw na świecie (ponad 50).

podczas rutynowego sprawdzenia dna morskiego (Kwiatkowski 2015). Relacje mediów wskazywały na pochodzenie militarne jednostki bezzałogowej (zwalczanie min morskich). Wykrycie obiektu i potencjalne zagrożenie wynikające z obecności materiałów wybuchowych (pojazdy do rozminowania posiadają opeje przenoszenia ładunków do detonowania min morskich) spowodowały wstrzymanie transportu surowca na kilka dni (Dron... 2015). Władze szwedzkie wydały także ostrzeżenie dla jednostek nawigujących w rejonie wprowadzając 5,5-kilometrową strefę bezpieczeństwa (Explosive... 2015). Z uwagi na fakt, iż gazociąg jest zabezpieczony przed ruchami tektonicznymi, niewielki ładunek wybuchowy nie stanowiłby realnego zagrożenia, to jednak zadziała typowy „mechanizm” miny morskiej. Chodzi bowiem o fakt, iż już sama informacja o obecności niebezpiecznego obiektu w okolicy linii przesyłowej skutkowałą wstrzymaniem dostaw, ograniczeniami dla żeglugi oraz potrzebą zaangażowania specjalistycznych sił.

Co ciekawe, właściwie nieznanym jest przebieg zjawiska rozpraszania metanu w wodzie (zależał on będzie od intensywności uwalniania gazu). W przypadku uwolnienia gazu pod powierzchnią wody na dużej głębokości dojść może do wystąpienia smugi gazu przebijającej powierzchnię wody w postaci leja pęcherzyków (prędkość wypływania ok. 10 m/s). Całkowita ilość gazu jest emitowana do atmosfery, gdzie zimny gaz zostaje rozproszony przez wiatr. W przypadku utraty szczelności w wodzie płytkiej może nie dojść do pełnego rozwinięcia się smugi a przenoszenie masy i ciepła jest na pomijalnie niewielkim poziomie. Warto zaznaczyć, iż niektóre z badań modelowych zakładają wypływanie metanu na powierzchnię morza w postaci jednego lub kilku wielkich pęcherzy (model bąbla). Ciekawym elementem jest wpływ opisywanych zjawisk na bezpieczeństwo prowadzenia żeglugi morskiej w rejonie wystąpienia nieszczelności gazociągu. Jeśli dojdzie do sytuacji, w której statek znajdzie się w bezpośredniej bliskości dużego pęcherza gazu, o wymiarach porównywalnych lub większych od długości kadłuba, dojść może do zatonięcia jednostki. Kolejnym elementem jest wpływ metanu na funkcjonowanie organizmów żywych (ludzi oraz organizmów morskich) (Hupka i in. 2010). Ciekawym elementem jest także ewentualny wybuch, pożar na powierzchni morza. Dolna wartość stężenia par gazu przy kontakcie z powietrzem, gdzie możliwe jest powstanie zapłonu (musi wystąpić inicjator) nosi nazwę Dolnej Granicy Wybuchowości (DGW) i dla metanu przyjmuje wartość 5,3%. Z drugiej strony najwyższe stężenie par gazu w powietrzu atmosferycznym, dla którego dojść może do zapłonu nazywany jest Górną Granicą Wybuchowości (GGW), przyjmuje wartość 14%. Obszar pośredni, między wartościami DGW i GGW tworzy tzw. obszar wybuchowości (palności). Pod wpływem czynnika inicjującego zawsze nastąpi tu zapłon (Dobrowolski i Andrzejewska 2013).

Charakter obiektu stanowi więc poważne wyzwanie dla monitorowania stanu gazociągu w ujęciu zapewniania nieprzerwanych dostaw surowca do odbiorców na brzegu, łączących w sobie nowoczesne rozwiązania techniczne i technologiczne. Środowisko morskie, jako agresywne i niesprzyjające prowadzeniu działań, gwarantuje jednocześnie ich skrytość, a co za tym idzie trudność z ustaleniem sprawców. Stanowi więc ono specyficzną domenę dla systemów odpowiedzialnych za utrzymanie bezpieczeństwa funkcjonalnego (Miętkiewicz 2017). Współczesne rozwiązania systemów ochrony obiektów o znaczeniu strategicznym, oparte są na skomplikowanych architekturach systemów bezzałogowych.

4. Środki przeciwdziałania

Głębokości posadowienia oraz długość gazociągu będącego obszarem zainteresowania niniejszego opracowania uniemożliwiają wykorzystanie nurków do realizacji inspekcji jego zasadniczej części (pewien odcinek położony w bezpośredniej bliskości brzegu może być oczywiście spenetrowany kosztem dużych nakładów pracy nurków). Warto w tym momencie zauważyć, iż obok inspekcji zewnętrznej realizowane są także okresowe kontrole wewnętrzne wykonywane przy użyciu specjalnie zaprojektowanych do tego celu sond/tłoków (Hupka 2014).

Odpowiedzią w zakresie przeciwstawiania się współczesnym zagrożeniom bezpieczeństwa funkcjonowania obiektów podmorskich jest wykorzystanie wysoko zaawansowanych technologii autonomicznych (bezzałogowych). Użycie bezzałogowych systemów podwodnych w tym przypadku wydaje się być rozwiązaniem efektywnym, szybkim i relatywnie tanim. Urządzeniami tego typu dysponuje już Marynarka Wojenna RP. Autonomiczne pojazdy podwodne AUV (ang. *Autonomous Underwater Vehicle*), znajdujące się na wyposażeniu Marynarki Wojennej RP, zdolne do realizacji zadań ochrony omawianego gazociągu (głównie zgromadzone na pokładzie niszczyciela min ORP Kormoran) pokładowych tworzą:

- Double Eagle MK III, produkowany przez szwedzkie konsorcjum SAAB (antena THALES Group) o budowie modułowej ułatwiającej rekonfigurację w zależności od charakteru realizowanego zadania;
- autonomiczny pojazd podwodny Kongsberg Hugin 1000 MR;
- Gavia, produkt firmy Teledyne Marine.

Podstawowe dane wskazanych systemów znalazły odzwierciedlenie w tabeli 2. Uwzględniając ostatnie zapowiedzi, morski rodzaj sił zbrojnych wyposażony ma zostać także w bezzałogowe jednostki nawodne C-Worker, które zwiększyć mają możliwości prowadzenia działań hydrograficznych (być może także w zakresie poszukiwania obiektów niebezpiecznych).

Pierwsze doświadczenia Marynarki Wojennej RP z kilkuletniej już eksploatacji pojazdu Gavia (zakup 4 pojazdów miał miejsce w 2014 r.) pozwoliły na zidentyfikowanie silnych i słabych stron pojazdów autonomicznych operujących pod powierzchnią morza. Gavia wyposażona jest w (Grabiec 2015):

- system INS, *Inertial Navigation System*, pozwalający na określenie (wyznaczenie) pozycji pojazdu w toni wodnej (pod wodą nie działa system GPS);
- system DVL, *Doppler Velocity Log*, dostarczający danych o przebytej drodze (mierzonej względem dna) oraz pośrednio o wartościach znosu spowodowanego przez działanie prądów morskich;
- system ADCP, *Acoustic Doppler Current Profiler*, odpowiada za informację dotyczącą parametrów środowiskowych;
- system OAS, *Obstacle Avoidance Sonar*, przeznaczony do wykrywania obiektów znajdujących się na trasie przejścia jednostki, w odległości gwarantującej bezpieczne zatrzymanie pojazdu lub wykonanie manewru ominięcia przeszkody poprzez zmniejszenie zanurzenia (także wynurzenie na powierzchnię);
- moduł sterowania z sonarem wysokiej częstotliwości SSS, *Side Scan Sonar*, zasadnicze urządzenie realizujące zadania poszukiwania min morskich, umożliwiające wy-

krywanie obiektów podwodnych o wymiarach kilku, kilkunastu centymetrów (jedno z najlepszych rozwiązań na świecie);

- system łączności podwodnej i nawodnej oraz moduł napędowy i moduł zasilania z systemem balastowym;
- oprogramowanie specjalistyczne odpowiedzialne za planowanie misji, przetwarzanie danych sonarowo-nawigacyjnych.

Pojazdy dostarczone zostały przez producenta w konfiguracji sprzętowej i programowej na potrzeby morskiej walki minowej (poszukiwania i zwalczania min morskich oraz morskich improwizowanych ładunków wybuchowych). Co ciekawe, posiadają możliwość wymiany modułów, a co za tym idzie dostosowania platformy do wykonywania specyficznych misji (wydłużenie czasu misji, jako dostosowanie do warunków panujących w rejonie poszukiwań). Pojazd miał możliwość udowodnić swe zalety w trudnych pod względem hydrologicznym akwenach (Bałtyk, Morze Północne, Kanał Angielski) realizacji zadań bojowych. Podczas operacji Open Spirit 2015 wydatnie pojazd Gavia przyczynił się do wykrycia i zlokalizowania 111 obiektów niebezpiecznych (miny, torpedy, bomby lotnicze). Pomimo znacznych kosztów nabycia (jednostkowo 2,3 mln zł) pojazdy tego typu wniosły nową, światową jakość do wykonywanych zadań. Co istotne, umożliwiły wypracowanie procedur bojowego użycia kolejnych pojazdów autonomicznych. Zasięg oraz stosunkowo dużą prędkość działania (Kaniewski i Kaniewski 2012), jak i znaczny zakres głębokości osiągnięty przez tego typu platformy stanowią główne zalety tego typu systemów. Uzupełnieniem dla pojazdów podwodnych mogą być jednostki autonomiczne (bezzałogowe) operujące na powierzchni morza.

Za realizacją działań polegających na okresowej inspekcji obiektów typu gazociąg podmorski świadczy także element szkolenia załóg, a głównie operatorów systemów bezzałogowych odpowiedzialnych za planowanie misji, analizę i ewaluację zebranych danych. Udział w tego typu misjach jest elementem kluczowym dla zdobywania niezbędnego doświadczenia przez marynarzy jednostek specjalistycznych (wyszkolenie na wysokim poziomie operatora czy oficera broni podwodnej jest procesem wielostopniowym i długotrwałym – licznym w lata). Ważne jest prowadzenie działań w różnych warunkach hydrologicznych (zmienne zasolenie, zmienna głębokość, zmienna temperatura wody).



Wyniki badań prowadzonych przez czołowych producentów pojazdów AUV wskazują, iż ich rozwój osiągnął już ponad 10 lat temu poziom umożliwiający realizację zadań bojowych w strukturach regularnych sił (Bovio i in. 2006). Pojawiły się już całe koncepcje wspólnego wykorzystania systemów bezzałogowych działających w trybie autonomicznym i telesterowanych, jak SLAM F (fr. *Système de lutte nati-mines futur*), czy program ESPADON (fr. *Évaluation de Solutions potentielles d'Automatisation de Déminage pour les Opérations Navales*) (Salaciński 2014). Ich dalszy rozwój uwzględnia wyniki wcześniejszych doświadczeń i równie mocno skupia się na poziomach autonomiczności, zwiększeniu efektywności systemów napędowych, nawigacji podwodnej, komunikacji oraz opracowywaniu zasad bojowego użycia.

Bardzo interesujące z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa obiektów o znaczeniu strategicznym w środowisku morskim zdają się być obiekty trzystanowe, nad którymi prace prowadzi Politechnika Gdańska. Projekty obejmują bardzo zaawansowane technolo-

gicznie systemy zdolne operować w zależności od potrzeb w powietrzu (duża prędkość przemieszczania się), na powierzchni morza (możliwość wykorzystania łączności satelitarnej) oraz pod wodą (skrytość działań) (Gerigk 2016).

TABELA 2. Zestawienie podstawowych danych wybranych pojazdów autonomicznych używanych przez MW RP

TABLE 2. Basic characteristics of dedicated autonomous underwater vehicles used in the Polish Navy

	Double Eagle MK III	Kongsberg Hugin 1000 MR	Gavia
Wymiary podstawowe [m]	długość 3 wysokość 1,3 szerokość 1,2	długość 5,2–6,4 (wersje) średnica 0.75	długość 1,8–4,5 (wersje) średnica 0.2
Max. głębokość operowania [m]	500	3000–4500	500–1000
Masa [kg]	500	1000–1500 (wersje)	50–130
Prędkość [w ¹]	0–7	2–6	do 5,5
Autonomiczność [h]	jednostka na uwięzi 1000 m kabla zasilającego ze światłowodem	24–72 (zależnie od obciążenia systemów pokładowych)	5–6 (przy prędkości 3 w)
Wygląd			

Źródło: www.kongsberg.com, www.saab.com, www.teledynemarine.com.

Podsumowanie

Podsumowując przedstawione w artykule rozważania, można dojść do następujących wniosków:

- podmorski gazociąg posadowiony na polskich obszarach morskich pełni ważną rolę w dywersyfikacji dostaw surowca o znaczeniu strategicznym (w ujęciu regionalnym);
- podmorskie gazociągi stanowią wrażliwy element infrastruktury przesyłowej, podatny na działania terrorystyczne, oddziaływanie zamierzone (militarne, w tym podprogowe), a także innych niezamierzonych aktów uszkodzeń;
- na specyfikę linii przesyłowej, a w efekcie na jej bezpieczeństwo, wpływa zmienny status prawny wód, na dnie których posadowiony został gazociąg;

- już samo stwierdzenie obecności obiektów potencjalnie niebezpiecznych w bezpośredniej bliskości linii przesyłowej może zmusić operatora do wstrzymania dostaw, wprowadzenia ograniczeń w ruchu nawodnym oraz zaangażuje duże siły Marynarki Wojennej do akcji rozminowania;
- potencjalne skutki utraty szczelności gazociągu są trudne do oszacowania a zdania naukowców co do wpływu na środowisko i żeglugę są podzielone;
- biorąc pod uwagę niekorzystne środowisko morskie (duże głębokości) gazociąg stanowi obiekt trudny do poddawania okresowym kontrolom;
- dokonywanie inspekcji gazociągu podmorskiego wymaga stosowania specjalistycznego sprzętu technicznego (wysoko zaawansowane technologie) oraz doświadczonego personelu w celu całościowej kontroli obiektu;
- z uwagi na charakter posadowienia gazociągu na dnie morskim o znacznym nachyleniu dna (duża zmiana głębokości) systemy autonomiczne wydają się szczególnie użyteczne w tych szczególnych uwarunkowaniach;
- zwraca uwagę fakt, iż nowoczesne technologie w postaci pojazdów operujących w środowisku morskim (głównie pod powierzchnią) z jednej strony zidentyfikowane mogą być jako zagrożenie, z drugiej zaś jako środek przeciwstawiania się niebezpieczeństwom;
- pojazdy bezzałogowe znajdujące się na wyposażeniu sił okrętowych Marynarki Wojennej (posiadane i planowane do pozyskania) są w stanie skutecznie monitorować stan infrastruktury podwodnej gazociągu;
- zastosowanie systemów bezzałogowych wpływa na skrócenie czasu misji, podniesienie prawdopodobieństwa wykrycia obiektów niebezpiecznych oraz podnosi poziom bezpieczeństwa obsługi pokładowej poprzez oddalenie personelu od źródeł zagrożeń.

Literatura

- Bovio i in. 2006 – Bovio, E., Cecchi, D. and Barallis, F. 2006. Autonomous underwater vehicles for scientific and naval operations. *Annual Reviews in Control* 30, s. 128.
- BP Statistical Review... 2017 – BP Statistical Review of World Energy June 2017. 66th Edition. s. 29–34.
- Dobrowolski, J. i Andrzejewska, M. 2013. Transport gazów LNG i LPG statkami morskimi. *Bezpieczeństwo i mity. Przeciwdziałanie zagrożeniom i skutkom zamachów terrorystycznych w kontekście bezpieczeństwa Gazoprotu w Świnoujściu*. Szczecin, 159 s.
- Dron... 2015 – *Dron z ładunkiem wybuchowym przy gazociągu Nord Stream*. [Online] www.wyborcza.pl/1,75399,19155401,dron-z-ladunkiem-wybuchowym-przy-gazociagu-nord-stream-szwecja.html [Dostęp: 20.04.2018].
- Explosive 2015 – *Explosive sub found near Russian gas pipeline*. [Online] www.thelocal.se/20151107/explosive-sub-found-near-russian-gas-pipeline [Dostęp: 15.04.2018].
- Gerigk, M.K. 2016. Technologie stealth w projektowaniu innowacyjnych obiektów pływających. *Pismo PG* nr 4(211), R. XXIII. s. 23.
- Grabiec, D. 2015. Pojazdy AUV w Marynarce Wojennej. *Morze, Statki i Okręty* nr 11–12, s. 26, 29.
- Hupka, J. 2014. *Problemy techniczne z eksploatacją gazociągu*. [Online] www.researchgate.net/publication/237762875_Problemy_techiczne_związane_z_eksploatacja_gazociagu [Dostęp: 17.04.2018].
- Hupka, i in. 2010 – Hupka, J., Opara, A. i Janczarek, M. 2010. Zagrożenia środowiska podczas eksploatacji gazociągów podmorskich. *Przemysł Chemiczny* 89(8), s. 1043–1049.

- Kaniewski, P.T. i Kaniewski, P.W. 2012. Wybrane problemy związane z wykorzystywaniem AUV do monitorowania akwenów, obiektów i instalacji podwodnych., *XXVI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Ekomilitaris 2012*. Zakopane 2012, 249 s.
- Lotos 2017. [Online] www.lotos.pl [Dostęp: 25.04.2018].
- Kwiatkowski, S. 2015. *Dron z ładunkiem znaleziony przy gazociągu. „Nie jest wojskowy, nie wiadomo czyj”*. [Online] radiogdansk.pl/wiadomosci/item/31116-tajemniczy-dron-z-ladunkiem-znaleziony-przy-gazociagu-jest-inny-niz-wojskowy-nie-wiadomo-do-kogo-nalezy/31116-tajemniczy-dron-z-ladunkiem-znaleziony-przy-gazociagu-jest-inny-niz-wojskowy-nie-wiadomo-do-kogo-nalezy [Dostęp: 25.04.2018].
- Ładunek... 2015 – *Ładunek wybuchowy przy gazociągu Nord Stream. Wstrzymano dostawy gazu*. [Online] wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/1,114871,19154624,ladunek-wybuchowy-przy-gazociagu-nord-stream-wstrzymano-dostawy.html [Dostęp: 19.05.2018].
- Miętkiewicz, R. 2017. Wykorzystanie systemów bezzałogowych w zabezpieczeniu obiektów IK odpowiedzialnych za dostawę surowców energetycznych w środowisku morskim. s. 5, *Komentarz IPE nr 2/2017*. [Online] www.institutpe.pl/wp-content/uploads/2015/09/Komentarz-IPE-nr-2_2017.pdf [Dostęp: 18.05.2018].
- Minister Środowiska 2017. Minister Środowiska. Decyzja z dnia 12 września 2017 r., 4 s.
- Mirowicz, P. 2016. *Uruchomili nowe złoża na Bałtyku. Było dramatycznie*. [Online] www.gdansk.pl/wiadomosci/Uruchomili-nowe-zloze-ropy-na-Baltyku-Bylo-dramatycznie,a,47345 [Dostęp: 18.05.2018].
- Sałaciński, T. 2014. Pojazdy bezzałogowe – nowe wyzwanie dla materiałów wybuchowych. Przegląd „Materiały Wysokoenergetyczne”. Instytut Przemysłu Organicznego. t. VI, 58 s.
- Strategiczna... 2017 – *Strategiczna koncepcja bezpieczeństwa morskiego Rzeczypospolitej Polskiej*. BBN. Warszawa-Gdynia. 2017, 65 s.
- Technologie* 2017. [Online] www.energobaltic.com.pl/24/produkcja/technologie [Dostęp: 11.03.2018].
- Werno, M. 2015. Warunki posadowienia gazociągu podmorskiego ze złoża B8 do Władysławowa. *Inżynieria morska i geotechnika* nr 5, s. 698–700.
- Yildiz i in. 2011 – Yildiz, Ö., Gokal, R. i Yilmaz, A. 2011. Underwater robot swarms and their applications. *SDU International Journal of Technologic Sciencess* t. 3. nr 1, 48 s.

