

Przemysław Pozański

mgr inż. Przemysław Pozański
Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej S.A.
81-109 Gdynia, ul. Dickmana 62
tel.: (58) 666 5376, fax.: (58) 665 6487
e-mail: Przemyslaw.Pozanski@ctm.gdynia.pl

WSPÓŁCZESNE ZAGROŻENIA ELEMENTÓW INFRASTRUKTURY MORSKIEJ ORAZ SYSTEMY ICH DETEKCJI

W artykule przedstawiono przykłady obiektów stanowiących potencjalne zagrożenie terrorystyczne dla elementów infrastruktury morskiej. Opisano ich cechy charakterystyczne istotne z punktu widzenia projektowania systemów monitorowania. Omówiono podstawowe technologie wykorzystywane w zintegrowanych systemach detekcji tych zagrożeń.

Słowa kluczowe: zagrożenia podwodne, systemy detekcji, monitorowanie.

CONTEMPORARY THREATS OF MARINE INFRASTRUCTURE OBJECTS AND THEIR DETECTION SYSTEMS

The article presents examples of objects of potential terrorist threat to maritime infrastructure. It describes their characteristics relevant to the design of monitoring systems. This paper also presents the basic technologies used in integrated detection systems of those threats.

Key words: underwater threats, detection systems, monitoring.

WSTĘP

Monitorowanie stref przybrzeżnych, akwenów portowych, kotwicowisk itp. ma duże znaczenie dla ich ochrony. Działania te są szczególnie ważne w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa transportu morskiego. Wielkie imprezy masowe, takie jak festiwale muzyczne (np. Opener) czy też zawody sportowe w randze mistrzowskiej (Euro 2012), ściągających ludzi z całego świata, wymagając tym samym przedsięwzięcia odpowiednich środków bezpieczeństwa.

W ostatnim czasie obserwuje się wzmożone zagrożenie terrorystyczne, które przenosi się także na akweny. Spektrum potencjalnych zagrożeń terrorystycznych jest stosunkowo szerokie. Wynika to między innymi z możliwości podjęcia zróżnicowanych działań, działań rozwiązań taktycznych oraz dolegliwości i rozległości ewentualnych skutków oddziaływania terrorystycznego.

Istotny wpływ na poziom bezpieczeństwa i możliwość przeciwdziałania zagrożeniom ma czynnik geograficzny¹ oraz ekonomiczny². Skomplikowane ukształtowanie terenu i czynniki klimatyczne uniemożliwiają prosty monitoring wykonywany przez obserwatorów, dodatkowo wykorzystanie ich jest obecnie mało opłacalne ze względu na znaczne koszty pracy ludzkiej. Wynika stąd potrzeba wykorzystania odpowiednich urządzeń, umożliwiających wspomaganie oddziałów prewencyjnych czy Sił Zbrojnych, przykładowo w postaci wielosensorowych systemów detekcji i monitoringu. Obiekty stanowiące zagrożenie bezpieczeństwa infrastruktury portowej mogą różnić się takimi cechami jak: wielkość, prędkość i głębokość poruszania się, możliwy zasięg działań, siła rażenia, ilość i rodzaj przenoszonej broni lub innych niebezpiecznych materiałów, rodzaj napędu, możliwość wykrycia, skuteczność działania itp. Z tego względu żaden pojedynczy system detekcji czy pojedynczy typ sensorów, nie zagwarantuje wystarczającego prawdopodobieństwa wykrycia a tym samym odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Ochrona obszarów portowych, kotwicowisk oraz sąsiadujących stref przybrzeżnych wymaga bardziej złożonych, zintegrowanych, wielosensorowych rozwiązań.

Podstawowym kryterium pozwalającym na klasyfikację obiektów zagrożenia bezpieczeństwa akwenów morskich jest ich podział na nawodne i podwodne³. Do grupy zagrożeń nawodnych można zaliczyć następujące obiekty:

- szybkie, małe jednostki pływające, łodzie motorowe, np. typu RHIB⁴
- miny oraz inne obiekty dryfujące, jak IED⁵, które mogą być uznane za niegroźne i zostać zdetonowane przy kontakcie lub zdalnie
- małe platformy pływające⁶ z uzbrojonym intruzem
- uzbrojony pływak na powierzchni
- nisko latający samolot bezzałogowy z ładunkiem wybuchowym, który sterowany zdalnie może dotrzeć np. do zacumowanego/zakotwiczonego okrętu itp.

¹położenie, ukształtowanie terenu, otoczenie, zjawiska klimatyczne itp.

²infrastruktura przemysłowa, natężenie ruchu jednostek pływających

³ Ze względu na charakter i temat pracy zagrożenia nawodne zostaną przytoczone tylko dla porządku a szerszą uwagą zostaną objęte zagrożenia podwodne

⁴ RHIB – ang. Rigid-Hulled Inflatable Boat – szybka łódź motorowa o sztywnych kadłubie oraz kołnierzu napełnionym powietrzem jako element nadburcia.

⁵ IED – ang. Improvised Explosive Devices – improwizowane (dryfujące) ładunki wybuchowe.

⁶ jak łódź wiosłowa, kajak lub windsurfing

INTRODUCTION

Monitoring littoral zones, port basins, anchorages, etc. is of considerable significance to their protection. These activities are particularly important in the context of ensuring maritime transport security. Big mass events, such as music festivals (e.g. Open'er) or sports championships (Euro 2012), which attract people from all over the world, require appropriate security measures to be taken.

The increased terrorist threat observed recently also affects waters. The spectrum of potential terrorist threats is relatively broad. This is, among other things, due to the possibility of undertaking diverse actions and adopting various tactical solutions, and also due to the spread of terrorism.

The geographic¹ and economic² factors have a significant impact on the level of security and the ability to prevent threats. Complex landform features and weather conditions make it impossible for observers to monitor the area; in addition, this method is not profitable due to high labour costs. Hence the need to use appropriate equipment to support preventive units or the Armed Forces, for example in the form of multisensory detection and monitoring systems. The objects posing a threat to the safety of port infrastructure may differ in such features as size, speed and depth of movement, possible operation range, striking power, amount and type of weapons or other dangerous materials transported, propulsion type, detectability, effectiveness, etc. Therefore, no single detection system or single type of sensor will guarantee a sufficient level of detection probability and a sufficient level of security. Protecting port areas, anchorages and adjacent littoral zones requires more complex, integrated, and multisensory solutions.

The basic criterion allowing to classify objects posing threats to the security of sea areas is their division into above and under water objects³. The surface threat group includes the following objects:

- fast, small crafts and motor boats, such as the RHIB⁴
- mines and other floating objects, such as the IED⁵, which can be considered harmless and may be detonated on contact or remotely
- small floating platforms⁶ with armed intruder
- surface drifting explosive devices
- low-flying unmanned aircraft with explosives, which (while controlled remotely) can reach, for example, a moored or anchored ship.

ABOVE WATER OBJECTS

The main advantage of motor boats and other small units, powered by combustion engines, is their high speed and good manoeuvrability, which greatly reduces the reaction time and the distance from which they are visible. They are usually propelled by outboard motors and leave a visible wake, which provides good echo strength for radars operating on band X.

¹ location, landform features, environment, weather conditions, etc.

² industrial infrastructure, vessel traffic intensity

³ due to the subject of the article, the surface threats will be quoted only for forms' sake as the underwater threats will be given more attention

⁴ RHIB – Rigid-Hulled Inflatable Boat – a fast motor boat with a solid hull and tubes filled with air at the gunwale

⁵ IED – Improvised Explosive Devices

⁶ such as a rowing boat, a kayak, or a windsurf

OBIEKTY NAWODNE

Silną stroną łodzi motorowych oraz innych małych jednostek, napędzanych silnikami spalinowymi, jest ich duża prędkość i dobre zdolności manewrowe, co znacznie skraca czas reakcji i ogranicza odległość, z jakiej są widoczne. Zazwyczaj napędzane są silnikami zaburtowymi, pozostawiając widoczny ślad torowy. Dzięki temu charakteryzują się dużą siłą echa dla systemów radarowych pracujących w paśmie X. W warunkach o niskiej wilgotności powietrza detekcję ze znacznej odległości może ułatwić kontrast termiczny, jaki powstaje wskutek pracy silnika napędowego. W przypadku opadów deszczu lub wystąpienia mgły kontrast termiczny maleje. Warunki klimatyczne mają również znaczenie w procesie odbijania promieni podczerwieni lub wiązki lasera od kadłuba. Rozmiar łodzi charakteryzuje dobre właściwości odbijające, ale w warunkach o większej wilgotności powietrza zasięg systemów optycznych będzie ograniczony. Generowane pod wodą szумы mogą być łatwo rozróżnialne w cichym otoczeniu. Nieco gorzej jest w przypadku dużego zagęszczenia ruchu statków, jak w porcie lub strefie przybrzeżnej. Podobnie wygląda sprawa dla szumów ponad wodą. Dla określonych warunków praca silnika napędowego może być mniej lub bardziej słyszalna, zależnie od natężenia ruchu i warunków otoczenia. W przypadku dużego ruchu w akwenie, holowników, szybkich łodzi oraz aktywności przemysłowej prawdopodobieństwo detekcji na torze akustycznym maleje. Oprócz terrorystów, na pokładzie jednostek typu RHIB możliwy jest transport nawet kilkuset kilogramów ładunków wybuchowych lub innych niebezpiecznych materiałów, które mogą być zdetonowane w bliskim sąsiedztwie statku lub w chwili zderzenia. Kadłub może być wykorzystany również, jako platforma nośna dla różnego rodzaju broni maszynowej lub raketowej.

Pozycja poniżej poziomu wody i ilość przenoszonych ładunków wybuchowych sprawia, że takie obiekty jak miny dryfujące lub IED stanowią duże zagrożenie. Ich skuteczność i możliwość użycia zależy od warunków klimatycznych, w szczególności wiatrów oraz prądów morskich. Dryfują z małą prędkością, a zanurzenie sprawia, że wykazują mały przekrój czynny dla sygnałów radarowych⁷. Obmywanie przez wodę i brak silnika napędowego jest przyczyną bardzo niskiego kontrastu termicznego. Odpowiednio dobrany kształt i kolor sprawia, że są bardzo słabo widoczne. Brak napędu sprawia, że trudne jest również wykrycie urządzeniami hydroakustycznymi.

OBIEKTY PODWODNE

Ze względu na zróżnicowanie właściwości i cech charakterystycznych wśród potencjalnych zagrożeń podwodnych można wyróżnić takie obiekty, jak:

- swobodny nurek⁸
- pojazd dostarczający nurków lub pływaków SDV/DDV⁹ lub nurek wspomagany przez małe urządzenia transportujące, np. skuter
- bezzałogowy pojazd podwodny UUV¹⁰, bezzałogowe pojazdy denne
- małe łodzie podwodne
- torpedy itp.

⁷trudne do wykrycia radarem

⁸z zamkniętym lub otwartym obiegiem czynnika oddechowego

⁹SDV/DDV – ang. Swimmer/Diver Delivery Vehicle

¹⁰UUV – ang. Unmanned Underwater Vehicle

In the conditions of low humidity, the thermal contrast which arises from the motor work may facilitate detection from a distance. In case of rain or fog, the thermal contrast decreases. Weather conditions are also important in the process of reflecting infrared rays or a laser beam off the hull. The boat, because of its size, has good reflective properties, but in conditions of greater humidity, the range of optical systems will be limited. UW noise can be easily distinguishable in a quiet environment, which is not that easy when there is a high density of harbour traffic (e.g. in the harbour or littoral zone). The situation is similar when it comes to AW noise. In certain conditions, motor work may be more or less audible, depending on the traffic and the environment conditions. In the case of heavy harbour activity, tugs, fast boats, and industrial activity, the detection probability on the acoustic track decreases. Apart from terrorists, the RHIB units can transport up to several hundred kilograms of explosives or other hazardous materials that can be detonated in the vicinity of a ship or at the time of collision. The hull can also be used as a platform for supporting various kinds of machine guns or rocket guns.

The position below the surface of the water and the amount of explosives carried by such objects as drifting mines or IEDs make them pose a major threat. Their effectiveness and the possibility to use them depend on the weather conditions, especially the wind and sea currents. They drift at a low speed, and the fact that they are semi-submerged causes a low cross section⁷. The facts that waves keeps washing them and there is no engine result in a very low thermal contrast. Appropriately-selected shape and colour make them hardly visible. The lack of a propulsion system also makes it difficult for hydroacoustic devices to detect them.

UNDER WATER OBJECTS

Due to the diversity of properties and characteristics of potential underwater threats, we can distinguish such objects as:

- free divers⁸
- vehicles transporting divers or swimmers SDV / DDV⁹ or divers assisted by a small transport unit such as a jet ski
- UUV¹⁰, unmanned underwater vehicles operating on the bottom
- small submarines
- torpedoes, etc.

In terms of hydroacoustics, a diver is an object with a relatively low target strength and small size. This determines the need to use specialized sonar systems, designed specifically to detect objects such as a diver, i.e. DDS sonars¹². These devices have a limited detection range, which, depending on propagation conditions, may range from 300 to 800 meters. However, a well-selected resolution allows observing objects of small dimensions and tracking their behaviour in the light of a probing beam with precision. Because the speed of a diver is small at such ranges of DDS, the detection and reaction time may be sufficient. A diver assisted by a small transport unit¹³ can conduct operations over a greater distance.

⁷ it makes them hard to detect

⁸ either closed circuit or scuba

⁹ SDV/DDV – Swimmer/Diver Delivery Vehicle

¹⁰ UUV – Unmanned Underwater Vehicle

¹² DDS – Diver Detection Sonar

¹³ e.g. a jet ski

Pod względem hydroakustycznym nurek stanowi obiekt o stosunkowo małej sile celu¹¹ oraz małych gabarytach. Determinuje to konieczność zastosowania wyspecjalizowanych systemów sonarowych, zaprojektowanych specjalnie do detekcji takich obiektów jak nurek – sonary DDS¹². Urządzenia te charakteryzują się ograniczonym zasięgiem rzeczywistym, który w zależności od warunków propagacji może wynosić w granicach od 300 ÷ 800 metrów. Jednak odpowiednio dobrana rozdzielczość umożliwia obserwację obiektów o niewielkich wymiarach oraz precyzyjne śledzenie ich zachowania w świetle wiązki sondującej. Ponieważ prędkość poruszania się nurka jest nieduża przy takich zasięgach DDS, czas wykrycia i reakcji może być wystarczający. Nurek wspomagany przez małe urządzenia transportujące¹³ może prowadzić operacje na większych dystansach. Jednak pojazdy takie mogą być przyczyną wzrostu poziomu szumów oraz siły celu nurka, a co za tym idzie, mogą zwiększyć prawdopodobieństwa detekcji. Pomimo ograniczonych zasięgów działania oraz prędkości poruszania się w toni wodnej przemawia nurkowie stwarzają duże zagrożenie ze względu na rodzaj przenoszonej broni czy materiałów wybuchowych, które mogą stanowić ich wyposażenie przy jednoczesnym ograniczeniu możliwości detekcji.

Zmiany ciśnienia wprowadzane przez nurka są obecnie niemożliwe do wykrycia, zaś rejestracja zmian pola magnetycznego wymaga bardzo bliskiej odległości od sensorów, stąd najskuteczniejszymi metodami detekcji tego typu obiektów wydają się być obecnie metody oparte o systemy hydrolokacyjne.

Pojazdy transportujące nurków SDV/DDV są obiektami, które posiadają znacznie lepsze możliwości manewrowe, większy zasięg i udźwig w porównaniu do nurka. Opuszczane z macierzystych jednostek transportowych¹⁴ pozwalają na pokonanie znacznie większych dystansów oraz przeniesienie większej ilości niebezpiecznych materiałów wybuchowych, substancji chemicznych lub broni. Zastosowanie elektrycznych silników napędowych sprawia, że są trudne do wykrycia w otoczeniu o wysokim poziomie zakłóceń¹⁵. Prawdopodobieństwo detekcji silnie zależy od warunków otoczenia i podobnie jak w przypadku nurków najbardziej skutecznym¹⁶ jest również zastosowanie sonarów wysokoczęstotliwościowych lub poprzez położone na dnie akustyczne systemy pasywne lub/i sensory pola magnetycznego. Prawdopodobne jest również wykrycie zmian ciśnienia spowodowanych ruchem pojazdu w pobliżu czujników ciśnienia.

Przykładem takiej jednostki może być pojazd opracowany przez Submersible Systems Technology – Reef Ranger¹⁷ [13].

¹¹ -25 ÷ -20 dB re 1 μ Pa/V, dla porównania siła celu pojazdów bezzałogowych UUV może wynosić ok. -15 dB re 1 μ Pa/V

¹² DDS – ang. Diver Detection Sonar

¹³ np. skuter

¹⁴ okręty nawodne, podwodne, samoloty transportowe czy transportowane lądem

¹⁵ wykazują niskie szумы własne

¹⁶ jako kryterium oceny skuteczność należy wziąć pod uwagę prawdopodobieństwo detekcji przy zachowaniu odpowiednio dużych zasięgów

¹⁷ źródło: <http://www.submarinebuilders.com>

However, these units can cause an increase in the noise level and the target strength of the diver, and thus may increase the likelihood of detection.

Despite a limited range of action and speed of movement in the water, divers pose a major threat due to the types of transported weapons or explosives, which may be part of their equipment while reducing the possibility of detection.

As the pressure footprint introduced by a diver is now impossible to detect and recording changes in the magnetic field requires the sensor to be at a very short distance from a diver, the most effective methods of detecting such objects nowadays seem to be the ones based on hydrolocation systems.

Vehicles transporting divers (SDVs / DDVs) are objects which have a much better manoeuvrability, a greater range and a bigger load capacity in comparison with a diver. They are launched from transport units¹⁴ and are able to cover much greater distances and to transport larger amounts of dangerous explosives, chemicals or weapons. The use of electric engines makes them difficult to detect in an environment with a high level of interference¹⁴. The probability of detection depends strongly on the conditions of the environment and, as in the case of divers, the most efficient way of detecting them¹⁵ is using high-frequency sonars or bottom laid passive acoustic devices and/or bottom laid magnetic anomaly detectors. It is also likely to detect pressure footprint caused by the movement of a vehicle near pressure detection devices.

Submersible Systems Technology have developed such a unit, called the Reef Ranger¹⁶ [13].



Fig 1. DDV unit, the Reef Ranger, developed by Submersible Systems Technology.

It is a vehicle built of fibreglass and aluminium. It is driven by a circa 10 kW electric motor. At a speed of 2.5 knots, it allows transporting three divers at a distance of 20 NM.

The solution presented by Columbia Research Corporation, Barracuda¹⁷, could be another example of such a vehicle.

¹⁴ surface ships, submarines, cargo aircraft, transported on the land

¹⁴ they have a low level of self-noise

¹⁵ the probability of detection while maintaining an appropriately large range should be taken into account while defining a criterion of effectiveness

¹⁶ source: <http://www.submarinebuilders.com>

¹⁷ source: <http://www.columbiagroup.com>



Rys. 1 Pojazd DDV Reef Ranger opracowany przez Submersible Systems Technology.

Jest to pojazd zbudowany z włókna szklanego i aluminium. Napęd stanowi silnik elektryczny o mocy ok. 10 kW. Przy prędkości 2,5 węzłów pozwala to na transport trzech nurków na odległość 20 mil morskich.

Innym przykładem może być rozwiązanie prezentowane przez Columbia Research Corporation – Barracuda¹⁸.



Rys. 2 Pojazd SDV typu Barrakuda.

Pojazd ten został zaprojektowany do transportowania trzech uzbrojonych nurków, zwiększając tym samym możliwy zasięg ich działań nawet do 70 mil morskich. Z wyjątkiem silnika, SDV zbudowany jest z materiałów niemagnetycznych, a wyeliminowanie z konstrukcji przekładni czy też przetwornic sprawia, że jednostka ta charakteryzuje się bardzo słabą sygnaturą akustyczną. Może być dostarczany na pokładzie zarówno okrętów podwodnych jak i nawodnych, a nawet z pokładu śmigłowca. Uzupełnienie wyposażenia o sprzęt nawigacyjny (GPS, log dopplerowski, łączność podwodna, sonar) stanowi o precyzji, z jaką mogą być podejmowane działania.

Podobną kategorię stanowią bezzałogowe pojazdy podwodne (UUV) lub miniaturowe łodzie podwodne. Charakteryzują się przede wszystkim znacznie lepszymi właściwościami manewrowymi, co ogranicza czas reakcji i możliwości wykrycia. Utrudnieniem jest również niski poziom szumów własnych, szczególnie przy napędzie elektrycznym.

¹⁸ źródło: <http://www.columbiagroup.com>



Fig 2. SDV unit, Barracuda.

This vehicle was designed to transport three armed divers, thereby increasing the possible range of their actions up to 70 nautical miles. With the exception of the engine, this SDV is built from non-magnetic materials, and the elimination of a gearbox and converters resulted in a very poor acoustic signature. This unit can be transported on the board of both submarines and surface ships, and even on the deck of a helicopter. The navigation devices with which it is equipped (GPS, doppler log, underwater communication system, sonar) contribute to the precision with which actions can be taken.

Unmanned underwater vehicles (UUVs) or miniature submarines are in a similar category. They are, above all, characterized by a much better manoeuvrability, which reduces the reaction time and detection possibilities. Detection is also hampered by low self-noise, especially in the case of an electric drive. It has an important impact on reducing the distance from which it is possible to detect (active systems operating at high frequencies 500 ÷ 1000 m). The effectiveness of detection can be improved by supplementing the acoustic channels with magnetic barriers and pressure sensors, mounted on the bottom surface of the sea.

These objects are also characterized by a much higher load capacity. They can transport a relatively large amount of explosives and other hazardous substances. As a result, they pose a significant threat to units deployed in the port and port infrastructure elements.

Typically, the modular design of the units of this type enables using them both as autonomous vehicles transporting divers or transport platform for mines, explosives or other weapons. In a combat version, torpedoes could be part of the weaponry.

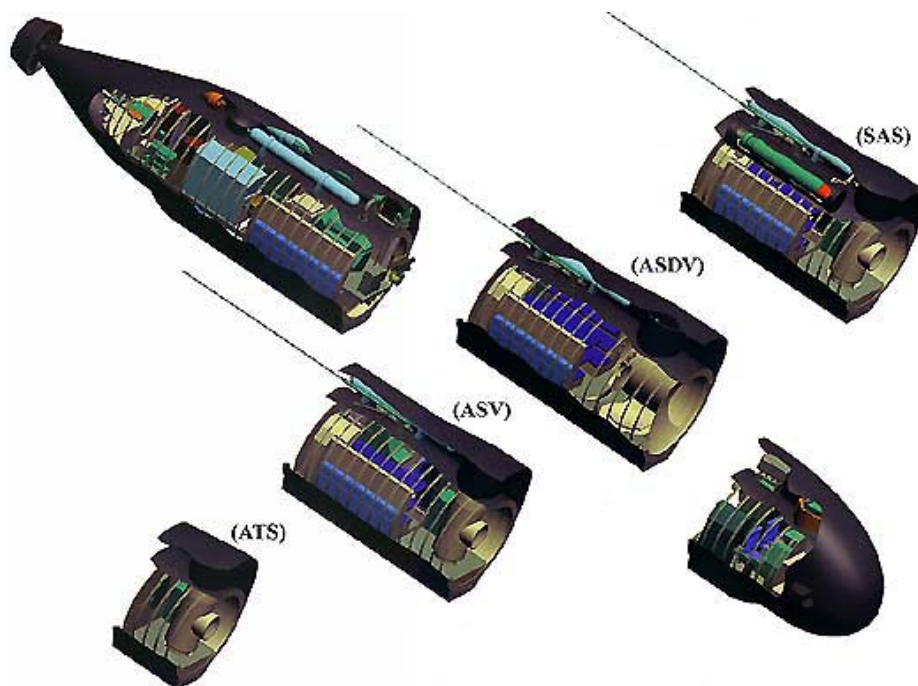
Manoeuvring is also supported by marine electronics systems in the form of navigation and hydroacoustic equipment. The following illustration shows the solution of a Swedish company, Kockums, called the Sea Dagger¹⁸, with an engine allowing to move at a speed up to 8 knots at a large distance (about 70 NM). The variant designed to transport divers can extend the operation time of a unit up to several days, and on board, in addition to a four-man crew, there may be a group of six armed divers.

¹⁸ source: <http://www.naval-technology.com/projects/dagger/>

Ma to istotny wpływ na zmniejszenie odległości, z jakich możliwa jest detekcja (systemy aktywne pracujące na wysokich częstotliwościach 500 ÷ 1000 m). Skuteczność wykrycia można poprawić poprzez uzupełnienie kanałów akustycznych o bariery magnetyczne oraz czujniki ciśnienia, montowane przy powierzchni dna.

Obiekty te charakteryzują się również znacznie większą nośnością. Mogą przenieść stosunkowo dużą ilość ładunków wybuchowych i innych niebezpiecznych substancji. W wyniku tego stanowią duże zagrożenie dla jednostek stacjonujących w porcie i elementów infrastruktury portowej.

Zwykle modułowa konstrukcja sprawia, że jednostki tego typu mogą posłużyć zarówno jako autonomiczny pojazd transportujący nurków lub platforma nośna dla min, ładunków wybuchowych lub innej broni. W wersji bojowej na system uzbrojenia mogą składać się również torpedy. Manewrowanie wspierane jest również przez systemy elektroniki morskiej w postaci urządzeń hydroakustycznych i nawigacyjnych. Poniższa ilustracja przedstawia rozwiązanie szwedzkiej firmy Kockums, nazywany Sea Dagger¹⁹, w którym zastosowany silnik pozwala na poruszanie się z prędkością do 8 węzłów na znacznym dystansie (ok. 70 mil morskich). Konfiguracja przeznaczona do transportu nurków umożliwia wydłużenie czasu operacyjnego jednostki nawet do kilku dni, a na pokładzie, oprócz czteroosobowej załogi, może znajdować się grupa sześciu uzbrojonych nurków.



Rys. 3 Szwedzka miniaturowa, modułowa łódź podwodna Sea Dagger, moduły: ATS – Advanced Target Submarine, ASV – Advanced Surveillance Vehicle, ASDV – Autonomous Swimmer Delivery Vehicle, SAS – Small Attack Submarine.

Ze względu na zasięg i siłę rażenia największe zagrożenie dla bezpieczeństwa portów i zacumowanych jednostek stanowią torpedy. Duża prędkość poruszania się torped (od 10 do 50 węzłów) determinują bardzo krótki czas reakcji oraz konieczność wczesnego wykrycia. Utrudnieniem jest również stosunkowo mała siła celu torpedy²⁰.

¹⁹ źródło: <http://www.naval-technology.com/projects/dagger/>

²⁰ szacowana siła celu od stronu dzioby wynosi ok. -20 dB re 1 μ Pa/V

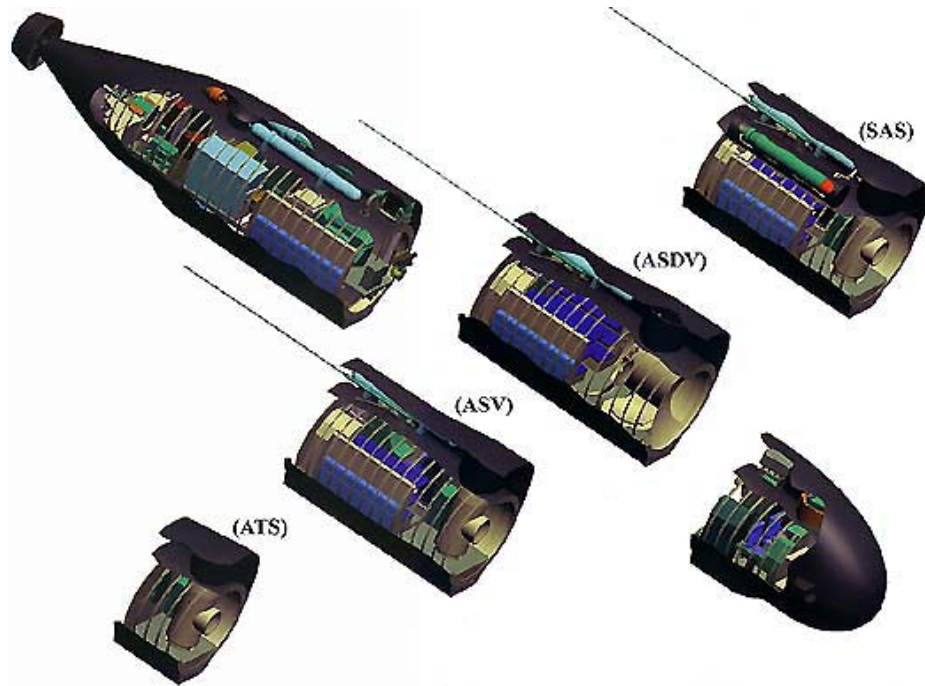


Fig 3. Swedish miniature module submarine, the Sea Dagger, modules: ATS – Advanced Target Submarine, ASV – Advanced Surveillance Vehicle, ASDV – Autonomous Swimmer Delivery Vehicle, SAS – Small Attack Submarine.

Due to the range and the striking power, torpedoes pose the greatest threat to the safety of ports and moored units. High speed of a torpedo (10 to 50 knots) determines a very short reaction time and a need for early detection. Is also hampered by a relatively small target strength of a torpedo¹⁹.

The following table summarizes the properties of underwater threats, relevant in the context of detection systems. This data has been developed on the basis of the work of expert teams cooperating with NATO structures.

Tab. 1

Table summarizing the Under Water Threats characteristics²⁰

Characteristic	SDV	Assisted Diver	Free Diver	Marine Mammal	UUV
Speed	6 kts	2 kts	0,5 kts	15 kts	6 kts
Manoeuvrability	medium	high	high	very high	high
UW noise	high	medium	low	medium	medium
Target Strength	-15 dB	-20 dB	-25 dB	-25 dB	-15 dB
Magnetic Signature (@ 6m)	20 nT	10 nT	0	0	20 nT
Electric Signature (@ 1m)	90 mA	60 mA	0	0	120

¹⁹ estimated target strength from the bow is about -20 dB re 1 μPa/V

²⁰ source: NIAG SG86 NATO Integrated Harbour Barrier System (NIHBS) report, 2005

Poniższa tabela przedstawia zestawienie istotnych z punktu widzenia systemów detekcji, właściwości zagrożeń podwodnych. Dane te zostały wypracowane na podstawie prac zespołów eksperckich, współpracujących przy strukturach NATO.

Tab.1

Zestawienie właściwości potencjalnych zagrożeń podwodnych²¹

Cechy charakterystyczne	SDV	Wspomagany nurek	Swobodny nurek	Wytrenowane ssaki morskie	UUV
Prędkość	6 kn	2 kn	0,5 kn	15 kn	6 kn
Zdolności manewrowe	średnie	wysokie	wysokie	b. wysokie	wysokie
Poziom zakłóceń podwodnych	wysoki	średni	niski	średni	średni
Siła celu	-15 dB	-20 dB	-25 dB	-25 dB	-15 dB
Sygnatura magnetyczna (@ 6m)	20 nT	10 nT	0	0	20 nT
Sygnatura elektryczna (@ 1m)	90 mA	60 mA	0	0	121

1.2 WYKORZYSTANIE TRANSPORTU MORSKIEGO JAKO ZAGROŻENIA

Zasadniczo statki handlowe są nieuzbrojone i mają małą załogę. Fakt ten sprzyja możliwościom łatwego przejęcia kontroli nad jednostką, nawet niewielką grupą uzbrojonych ludzi. Transportowane towary, zazwyczaj w kontenerach, często pochodzą z różnych źródeł oraz różnych rejonów świata. Pociąga to za sobą długi łańcuch operacji związanych z przekazywaniem i odbieraniem ładunków. Łatwo przy takiej okazji znaleźć lukę lub dopuścić do fałszerstwa w celu przemytu niebezpiecznych materiałów, broni lub terrorystów. Słaby punkt stanowi również zabezpieczenie terenów portowych, które często wchodzi w skład infrastruktury przemysłowej oraz mieszkalnej miast. Może to ułatwić ewentualną drogę ucieczki intruzów. Ruch ciężarówek na terenie portu, łodzie rybackie lub rekreacyjne mogą stanowić zasłonę lub posłużyć również do transportu broni lub niepożądanych osób.

Poniżej przedstawiono kilka możliwych scenariuszy zagrożeń związanych z transportem morskim:

- Wykorzystanie transportu handlowego do przemytu terrorystów, broni nuklearnej, chemicznej lub biologicznej, ich komponentów lub innych niebezpiecznych materiałów. Szczególnie przemyt i użycie broni atomowej może być tragiczne w skutkach, doprowadzając do masowej zagłady tysięcy ludzi, skażenia i degradacji środowiska, ale również może sparaliżować komunikację morską;
- Przejęcie kontroli nad dużym statkiem handlowym i wykorzystanie do zniszczenia mostu, rafinerii, platformy wiertniczej, kolizja z inną jednostką – atak samobójczy;
- Zatopienie dużego statku handlowego na jednym z głównych kanałów transportowych, blokując tym samym ruch z i do portu;
- Atak na duży statek przewożący paliwa ciekłe (np. gaz ziemny) i detonacja paliwa na terenie portu;

²¹ źródło: Raport NIAG SG86 NATO Integrated Harbour Barrier System (NIHBS), 2005

1.2 SEA TRANSPORT AS A THREAT

Basically, merchant ships are unarmed and have a small crew. This fact creates favourable conditions for even a small group of armed men to take control over it. Transported goods, usually stored in containers, often come from different sources and different regions of the world. This entails a long chain of operations connected with handing over and receiving cargoes. On such occasions, it is easy to find a gap or allow a fraud to happen in order to smuggle dangerous materials, weapons or terrorists. Another weak point is also the security of harbour areas, which are often part of an industrial infrastructure and a residential area. This may facilitate a possible escape of intruders. Truck traffic in the harbour, fishing boats or recreational boats can be a cover or be used for transporting weapons or undesirable persons.

Some possible scenarios of sea transport threats are listed below :

- Using commercial transport to smuggle terrorists, nuclear, chemical or biological weapons, their components or other hazardous materials. Smuggling and using nuclear weapons could have particularly disastrous consequences, leading to a mass extermination of thousands of people, environment contamination and degradation, but can also cripple sea communication;
- Taking control of a large merchant ship and using it to destroy a bridge, refinery, oil rig; a collision with another unit - suicide attack;
- Sinking a large merchant ship on one of the main transport channels and blocking the traffic to and from the port;
- Attacking a large ship carrying liquid fuels (e.g. natural gas) and detonating the fuel in the harbour area;
- Attacking a tanker in a harbour or in the littoral zone - distortions in the world trade in oil, ecological disaster;
- Taking control of a ferry or cruise ship - using passengers and crew as hostages (up to several thousand people);
- Attacking Navy ships - death of the crew, a loss of a valuable ship, equipment, and (in case of nuclear ships) also environmental pollution.

1.3 CHARACTERISTICS OF PROTECTED AREAS

Among the elements of harbour infrastructure, the following parts can be distinguished²¹:

- water part - fairways, anchorages (roadstead), wet docks;
- land part - harbour areas: piers, jetties, storage yards, warehouses, loading machines, transport routes, petrol stations, etc.

The basic element in the process of designing a system monitoring the situation underwater is determining the characteristics of the protected area. The environment of a harbour and the surrounding littoral zone is a dynamic one. Changes of its properties affect the propagation conditions and the effectiveness and capabilities of the detection system. Hence the need to take into account several factors while designing a monitoring system.

²¹ source: Ficoń K.: *Metodyka budowy zintegrowanego systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów portowych*. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technika i Uzbrojenie Morskie NATCon’07”, 2007.

- Atak na tankowiec w porcie lub strefie przybrzeżnej – zakłócenia w światowym handlu ropą, katastrofa ekologiczna;
- Przejęcie kontroli nad promem lub statkiem wycieczkowym – wykorzystanie pasażerów i załogi jako zakładników (do kilku tysięcy osób);
- Atak na okręty marynarki wojennej – śmierć załogi, utrata cennego okrętu, sprzętu, a w przypadku okrętów atomowych również skażenie środowiska.

1.3 CHARAKTERYSTYKA CHRONIONYCH OBSZARÓW

Wśród elementów składających się na infrastrukturę portów morskich można wyróżnić²²:

- część wodna – tory wodne, kotwicowiska (reda portowa), baseny portowe;
- część lądowa – tereny portowe: pirsy, mola, place składowe, budynki magazynowe, urządzenia przeładunkowe, szlaki komunikacyjne, stacje paliw, itp.

Podstawowym elementem w procesie projektowania systemu monitorowania sytuacji podwodnej jest określenie charakterystyki chronionego obszaru. Środowisko portu i sąsiadujących stref przybrzeżnych jest środowiskiem dynamicznym. Zmiany jego właściwości wpływają na warunki propagacji oraz na skuteczność i możliwości systemu detekcji. Wynika z tego konieczność uwzględnienia w projekcie systemu wpływu kilku czynników.

Zmiany klimatyczne, meteorologiczne mają znaczący wpływ na warunki propagacji w danym akwenu. Zgodnie z zależnością Medwin'a²² określającą prędkość rozchodzenia się fal akustycznych w wodzie, na zmianę jej wartości wpływają m.in. różnice temperatury, poziomu zasolenia oraz głębokości. Dodatkowo wzrost siły wiatru, poprzez wzrost poziomu szumów hydroakustycznych oraz rewerberacji w ośrodku, również stanowi czynnik pogarszający skuteczność oraz warunki pracy systemów hydroakustycznych.

Sposób i miejsce montażu sensorów systemu musi uwzględniać ukształtowanie terenu oraz charakter i profil dna morskiego czy też obecność obiektów znajdujących się na dnie. Ma to zapobiec powstawaniu ewentualnych tzw. stref cienia²³, co skutkuje osłabieniem skuteczności wykrywania obiektów. Wskazanie i analiza statycznych elementów chronionego akwenu pozwala na określenie i wyeliminowanie stałych ech, co poprawia jakość i skuteczność pracy systemu detekcji.

Ważnym elementem, jaki należy uwzględnić w procesie projektowania systemu monitorowania sytuacji podwodnej, jest określenie charakteru prowadzonej w porcie działalności. Przemysł stoczniowy oraz duże natężenie ruchu jednostek handlowych i pasażerskich są znaczącym czynnikiem wzrostu poziomu zakłóceń w akwenu. Duże i głośne jednostki mogą stać się przykrywką dla mniejszych obiektów próbujących wedrzeć się do strzeżonego portu.

²² źródło: Ficoń K.: *Metodyka budowy zintegrowanego systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów portowych*. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technika i Uzbrojenie Morskie NATCon'07”, 2007.

²² źródło: Salamon R.: *Systemy hydrolokacyjne*. GTN, Gdańsk 2006

²³ pojęcie strefy cienia używane jest w odniesieniu do systemów hydrolokacyjnych; zjawisko to jest skutkiem braku widoczności przez te systemy obiektów podwodnych znajdujących się w cieniu większych obiektów; strefą cienia określanym jest również obszar, który nie jest monitorowany przez systemy sonarowe wskutek ograniczonej szerokości wiązki sondującej; w wyniku tego efektu na obrazowaniach z sonarów bocznych występuje czarny pas, w którym nie jest możliwa detekcja obiektów;

Climate and weather changes have a significant influence on the propagation conditions in a given basin. According to the Medwin's dependence theory, determining the speed at which acoustic waves travel in water, a change in the speed is affected by, among other things, differences in temperature, salinity and depth. In addition, wind power growth through an increase in hydroacoustic noise level and reverberation is also a factor which is deteriorating the performance and working conditions of hydroacoustic systems.

The place and way of installing system sensors must take into account the landform features and the profile of the seabed or the presence of objects on the bottom. This should prevent the formation of the so-called potential shadow zones²², resulting in weakening the effectiveness of detecting objects. The identification and analysis of the static elements of a protected area allow to specify and eliminate fixed echoes, which improves the quality and efficiency of a detection system.

An important element that must be considered in designing a system for monitoring the situation underwater is determining the nature of harbour operations. Shipbuilding and heavy traffic of commercial and passenger units are a significant factor in the growth of the level of interference in the basin. Big and loud units can become a cover for smaller objects trying to penetrate the secured harbour. Therefore, close collaboration of above-water and underwater systems, their mutual verification and complementing each other is essential.

1.4 REQUIREMENTS AND STANDARDS OF DETECTION AND MONITORING SYSTEMS IN HARBOUR AREAS, ANCHORAGES AND PARTS OF HARBOUR INFRASTRUCTURE

The objects of potential threat mentioned above may occur in various combinations and tactical versions. As a result, the system of harbour security must also be a combination of several subsystems that cover the area of the entire water depth, at safe distances from the protected area. At the same time, multisensory systems will ensure the required level of detection probability regardless of the type and properties of an object.

The basic tasks of harbour security systems are the following:

- detecting and tracking objects at a safe distance from the protected objects;
- classifying and distinguishing intruders from friendly facilities;
- verifying the detection system on several platforms and several channels;

By the notion of safe distance we understand such a distance that allows quick and effective reaction to a threat. It strictly depends on the monitoring system capabilities and the characteristic features of the intruder (e.g. movement speed, operation range, striking power).

It means that the presence of unwanted objects is signalled in a relatively short period of time, allowing to take the appropriate steps by relevant departments or units. It is also important that the system is able to distinguish between friendly and unwanted objects.

²² The term *shadow zone* is used with reference to hydrolocation systems; this phenomenon refers to the fact that such systems cannot see underwater objects which are in the shadow of larger objects; *shadow zone* also refers to an area which is not monitored by sonar systems because of a limited probing beam; as a result of it, on the images from a side-scan sonar, there is a black stripe in which object detection is impossible

Dlatego też konieczna jest ścisła współpraca systemów nawodnych i podwodnych, ich wzajemna weryfikacja i uzupełnianie się.

1.4 WYMAGANIA I STANDARDY SYSTEMÓW DETEKCJI I MONITOROWANIA NA OBSZARACH PORTÓW, KOTWICOWISK ORAZ ELEMENTÓW INFRASTRUKTURY PORTOWEJ

Przybliżone w poprzednich punktach obiekty potencjalnego zagrożenia mogą występować w różnych kombinacjach i wariantach taktycznych. Wynikiem tego system ochrony portu musi być również kombinacją kilku podsystemów, które zapewnią pokrycie danego obszaru na całej głębokości wody, w bezpiecznych odległościach od chronionego obszaru. Jednocześnie systemy wielosensorowe zapewnią wymagany poziom prawdopodobieństwa detekcji niezależnie od rodzaju i właściwości obiektu.

Podstawowymi zadaniami systemów ochrony portów są:

- wykrywanie i śledzenie obiektów w bezpiecznej odległości od chronionych obiektów;
- klasyfikacja i rozróżnienie intruzów od obiektów przyjaznych;
- weryfikacja wykrycia na kilku platformach systemu, na kilku kanałach;

Pod pojęciem bezpiecznej odległości należy rozumieć taką odległość, która pozwoli na szybką i skuteczną reakcję na zagrożenie. Ścisłe zależy od możliwości systemu monitorowania oraz charakterystycznych właściwości intruza (np. prędkość poruszania się, zasięg działania, siła rażenia). Oznacza to sygnalizowanie alarmu o niepożądanych obiektach w stosunkowo krótkim czasie, pozwalając na podjęcie reakcji przez odpowiednie służby lub jednostki. Ważne jest również to, aby system potrafił samodzielnie rozróżnić obiekty przyjazne od tych niepożądanych. Wynika z tego konieczność ścisłej współpracy i korelacji poszczególnych elementów systemu monitorowania np. z systemem nadzoru ruchu statków na danym akwenie. Pozwoli to również na porównanie sytuacji nawodnej z podwodną i wyeliminowanie przypadków, w których wrogi obiekt będzie próbował skryć się w cieniu znanych jednostek. Rozwiązania takie polegają między innymi na porównaniu odczytów z systemów radarowych i systemów sonarowych czy też magnetycznych. Wszelkie rozbieżności mogą świadczyć o istniejącym zagrożeniu i ewentualnej konieczności podjęcia działań.

Proces detekcji, śledzenia, klasyfikacji i weryfikacji wykrytych obiektów powinien być zautomatyzowany. Nie można wymagać od operatora, aby przykładowo przez 8 godzin dziennie wpatrywał się w ekran komputera, a przy tym skutecznie i niezawodnie rozróżniał, z jakiego typu obiektem ma do czynienia. Jednocześnie to człowiek powinien mieć możliwość zadecydowania czy należy podnieść alarm i powiadomić odpowiednie służby.

Jednym z podstawowych sposobów klasyfikacji systemów podwodnych jest podział na urządzenia akustyczne i nieakustyczne. W dalszej części zostaną przybliżone przykłady niektórych z rozwiązań stosowanych przy monitorowaniu sytuacji podwodnej.

1.4.1 HYDROAKUSTYCZNE SYSTEMY MONITOROWANIA SYTUACJI PODWODNEJ

Ze względu na charakter i właściwości rozchodzących się w wodzie fal akustycznych, systemy hydroakustyczne zapewniają największe zasięgi wykrywania obiektów przy dużej skuteczności.

It results in the need for close cooperation and correlation of individual monitoring system elements with e.g. a vessel traffic surveillance system in a given basin. It will also allow to compare the situation above and under water and eliminate cases in which the intruding object is trying to hide in the shadow of known units. Such solutions depend, among other things, on comparing readings from the radar, sonar, and magnetic systems. Any discrepancies may indicate a risk and a possible need to act.

The process of detecting, tracking, classifying and verifying detected objects should be automated. The operator cannot be required to, for example, stare at the computer screen for 8 hours a day while maintain the same level of effectiveness and being able to reliably distinguish what type of object he is dealing with. At the same time, this person should be allowed to decide whether to raise the alarm and inform relevant departments.

One of the primary ways of classifying underwater systems is the division into acoustic and non-acoustic underwater devices. In the following paragraph, some examples of the approaches used to monitor the situation underwater will be described.

1.4.1 HYDROACOUSTIC UNDERWATER MONITORING SYSTEMS

Due to the nature and characteristics of acoustic waves travelling in water, hydroacoustic systems provide the largest ranges of detecting objects together with a high efficiency. Therefore, they constitute basic elements of a system monitoring the situation underwater. Three basic types of such devices are used for observing objects on the hydroacoustic track:

- passive acoustic aerials;
- medium-range active sonars;
- high-frequency active sonar with small range.

Passive acoustic aerials are usually found in the form of linear hydroacoustic transducers, placed permanently on the seabed. In order to minimize the impact of interference and noise created in the harbours, aerials are placed at a considerable distance from the protected area. This ensures detecting objects at large distances (from several up to tens of kilometres). For this reason, passive acoustic aerials constitute a basic part of underwater harbour and anchorage security systems.

Complex processing algorithms and syntheses of signals received simultaneously from each element of an aerial array play an important role in passive systems. This enables a precise analysis of harbour traffic, location and even classification of several objects simultaneously.

Due to the passive nature of their work, the aerial elements are hard to detect by unwanted objects. This gives an advantage over an intruder and enough time to verify other components of the system and take effective steps.

Active sonars operating at medium frequencies are usually used to confirm the detection and determine the exact bearing and distance of objects from the protected area. Their range is estimated from few to several kilometres. They work at shallower depths than passive systems, which means that the impact of reverberation on the effectiveness of the system needs to be taken into account and reduced, especially in shallow waters. Apart from this, as they are active, they can be detected by threatening objects, which are often equipped with equipment designed especially for this purpose.

Dlatego też stanowią podstawowe elementy systemu monitorowania sytuacji podwodnej. Do obserwacji obiektów na torze hydroakustycznym wykorzystuje się trzy podstawowe typy urządzeń:

- pasywne anteny akustyczne;
- sonary aktywne średniego zasięgu;
- wysokoczęstotliwościowe sonary aktywne małego zasięgu.

Pasywne anteny akustyczne zwykle występują w postaci szyku liniowego przetworników hydroakustycznych, umieszczanych na stałe, na dnie morza. W celu zminimalizowania wpływu powstających w portach zakłóceń i szumów anteny są umieszczane w znacznej odległości od chronionego obszaru. Zapewnia to detekcję obiektów na dużych odległościach (rzędu kilku do kilkudziesięciu kilometrów). Z tego względu stanowi pierwszy z elementów podwodnych systemów ochrony portów i kotwiczowisk.

Istotną rolę w systemach pasywnych odgrywają złożone algorytmy przetwarzania i syntezy sygnałów, odbieranych jednocześnie z poszczególnych elementów szyku antenowego. Umożliwia to precyzyjną analizę ruchu, lokalizację i klasyfikację nawet kilku obiektów jednocześnie.

Ze względu na pasywny charakter pracy wykrycie elementów anteny przez obiekty niepożądane jest bardzo utrudnione. Daje to przewagę nad intruzem oraz czas na weryfikację za pomocą innych elementów systemu i podjęcie skutecznej reakcji.

Sonary aktywne, pracujące na średnich częstotliwościach, służą zwykle do potwierdzenia wykrycia oraz ścisłego określenia namiaru i odległości obiektów od chronionego obszaru. Ich zasięg szacuje się w okolicach od kilku do kilkunastu kilometrów. Pracują na mniejszych głębokościach niż systemy pasywne, co oznacza konieczność uwzględnienia i ograniczenia wpływu rewerberacji na skuteczność systemu. Szczególnie na płytszych wodach. Po za tym, jako systemy aktywne mogą zostać wykryte przez zagrażające obiekty, często wyposażone w specjalnie przeznaczony do tego celu sprzęt.

Ze względu na silne tłumienie sygnałów w wodzie, wysokoczęstotliwościowe sonary aktywne mają najmniejszy zasięg spośród systemów akustycznych (zwykle nie przekracza 300 ÷ 800 metrów, zależnie od warunków panujących w akwenie). Charakteryzuje je jednak większa dokładność i rozdzielczość, co umożliwia detekcję, identyfikację i śledzenie wolno poruszających się, mniejszych obiektów. Uzupełnione o zaawansowane układy przetwarzania sygnałów pozwalają na rozróżnienie zagrażających obiektów od elementów fauny morskiej. Praca na wyższych częstotliwościach zapewnia również dobrą skuteczność w warunkach silnych zakłóceń i szumów w ośrodku.

Innym rozwiązaniem, będącym uzupełnieniem zaprezentowanych systemów akustycznych, mogą być aktywne bariery akustyczne. Zależnie od konfiguracji bariery składają się z układu kilku lub kilkunastu hydroakustycznych przetworników nadawczo-odbiorczych, uzupełnionych o układy przetwarzania i akwizycji danych. Odpowiedni dobór parametrów przetworników i sygnałów sondujących do chronionych obiektów, umożliwia wykrycie obiektów o stosunkowo niedużej sile celu²⁵ w odległościach ok. kilkuset metrów. Jest to rozwiązanie prostsze, a co za tym idzie tańsze, od urządzeń sonarowych DDS.

Ostatnią grupą urządzeń, stanowiącą uzupełnienie akustycznych systemów monitorowania sytuacji podwodnej, są boje pomiarowe lub hydroboje. Boje pomiarowe mogą stanowić niezależne systemy pomiarowe, zakotwiczone w pobliżu podejścia do portu.

²⁵ swobodny nurek lub wyposażony w pojazd holujący

Due to strong signal attenuation in the water, high-frequency active sonars have the smallest range of all acoustic systems (typically less than 300 - 800 metres, depending on the conditions in the basin). However, they are characterized by a greater accuracy and resolution, enabling detecting, identifying and tracking slow-moving, small objects. If they are complemented by advanced signal processing systems, they allow to distinguish threatening objects from the elements of sea fauna. The work at higher frequencies provides good performance in the conditions of strong interference and noise in the centre.

Another solution, which is complementary to the presented acoustic systems, may be active acoustic barriers. Depending on the configuration of the barriers, they may consist of a few or several hydroacoustic transceiver transducers, accompanied by integrated processing and data acquisition systems. A proper selection and adjustment of transducer and probe signal parameters to the protected objects can allow detecting objects with a relatively target strength²³ at distances of about several hundred metres. This solution is simpler and thus cheaper from DDS sonar devices.

The last group of devices which are complementary to acoustic underwater systems monitoring the situation underwater consists of measuring buoys or hydro-buoys. Measuring buoys could act as independent measuring systems, anchored near the harbour entry. They are equipped with sensors²⁴ and radio communication systems²⁵ and systematically transmit information about meteorological, chemical, and radiation changes, etc. Hydro-buoys work in a slightly different way; they are dropped from a helicopter or airplane. These devices are usually disposable, and their main task is additional sound amplification of the area in which threatening objects may be found. This is a great facility in the process of object detection using stationary or ship passive systems.

The high level of interference and noise, being a result of harbour traffic or industrial activity, often cause a reduction in the effectiveness of acoustic systems. Searching methods to verify the acoustic track results in a growing interest in non-acoustic sensors and they are becoming a more and more frequent subject of research in the world. Due to the ranges achieved, non-acoustic systems are found mainly as a complement to acoustic devices, which greatly improves the efficiency of monitoring a complex system of harbours and anchorages. The group of non-acoustic systems for monitoring the situation underwater includes, among others, underwater magnetic and electric field sensors, and electro-optical systems.

1.4.2 SYSTEMS USING MAGNETIC FIELD SENSORS (MAGNETIC ANOMALY DETECTORS)

The source of forming the components of a magnetic field coming from threatening objects depends strongly on the characteristics and nature of existing equipment. This is a very weak field²⁶, which determines a limited range of systems built on the basis of magnetic sensors, despite their high sensitivity and resolution. The source of the magnetic field coming from a diver is a permanent or induced magnetization of diving equipment and weapons transported.

²³ free diver or diver assisted by a towing vehicle

²⁴ and hydroacoustic sensors as well

²⁵ modern protocols and wireless transmission standards can be used there, with maintaining an appropriate degree of confidentiality of transmitted data; transmission can be realized for example via a radio modem or a wired or wireless Ethernet;

²⁶ useful signals' values are measured in picoteslas

Wyposażone w czujniki pomiarowe²⁶ oraz radiowe systemy komunikacji²⁷ przesyłają na bieżąco informacje dotyczące zmian meteorologicznych, chemicznych, promieniowania radioaktywnego, itp. Na nieco innych zasadach pracują natomiast hydroboje zrzucające na przykład ze śmigłowca lub samolotu. Są to urządzenia zwykle jednorazowego użytku, których głównym zadaniem jest dodatkowe nadźwiękowanie obszaru, w którym mogą znajdować się zagrażające obiekty. Stanowi to znaczne ułatwienie w procesie detekcji obiektów stacjonarnymi lub okrętowymi systemami pasywnymi.

Wysoki poziom zakłóceń i szumów, będących wynikiem natężenia ruchu jednostek w porcie i na obszarach przylegających czy też prowadzonej działalności przemysłowej, często bywa przyczyną ograniczenia skuteczności systemów akustycznych. Poszukiwania metod weryfikacji toru akustycznego skutkują coraz szerszym zainteresowaniem sensorami nieakustycznymi i stanowią one coraz częstszy temat badań i opracowań na świecie. Ze względu na osiągnięte zasięgi systemy nieakustyczne występują głównie jako uzupełnienie urządzeń akustycznych, co w znacznym stopniu poprawia efektywność złożonego systemu monitorowania portów i kotwicowisk. Do grupy nieakustycznych systemów monitorowania sytuacji podwodnej można zaliczyć między innymi podwodne czujniki pól magnetycznych, elektrycznych oraz systemy elektrooptyczne.

1.4.2 SYSTEMY WYKORZYSTUJĄCE SENSORY PÓL MAGNETYCZNYCH

Źródło powstawania składowych pola magnetycznego pochodzącego od zagrażających obiektów silnie zależy od jego właściwości oraz charakteru posiadanego wyposażenia. Jest to pole bardzo słabe²⁸, co determinuje ograniczony zasięg systemów zbudowanych w oparciu o czujniki magnetyczne pomimo ich wysokiej czułości i rozdzielczości. Źródłem pola magnetycznego, pochodzącego od nurka jest stałe lub indukowane namagnesowanie sprzętu nurkowego oraz przeniesionego uzbrojenia. Badania wykazały, że składowe pola nie pochodzą tylko od kompletnych aparatów, ale również od poszczególnych elementów konstrukcyjnych urządzeń. Konstruktorzy pojazdów do transportu nurków czy też pojazdów bezzałogowych pracują nad minimalizacją pól magnetycznych poprzez zastosowanie materiałów niemagnetycznych, małow magnetycznej stali austenicznej oraz stopów aluminium. Jednak ze względu na to, że podstawowym napędem takich jednostek są silniki elektryczne, całkowite wyeliminowanie materiałów magnetycznych jest niemożliwe. Również zainstalowany na pojazdach sprzęt²⁹ ma wpływ na wypadkowe pole magnetyczne, charakteryzujące dany obiekt.

W rozwiązaniach stacjonarnych wykorzystywane są głównie przetworniki indukcyjne z koncentratorami pola w postaci rdzeni magnetycznych. Sensory te charakteryzuje duża przenikalność magnetyczna, szczególnie w słabych polach magnetycznych. Bariery przenośne charakteryzują podobne właściwości metrologiczne. Ze względu na przeznaczenie powinny mieć mniejszą masę oraz mniej czasochłonną, uproszczoną technikę osadzania przy warunkach panujących na kotwicowiskach.

²⁶ również sensory hydroakustyczne

²⁷ wykorzystywane mogą być współczesne protokoły i standardy transmisji bezprzewodowych, z zachowaniem odpowiedniego stopnia poufności przesyłanych danych; transmisja może być realizowana np. za pośrednictwem radiomodemów, czy też sieci Ethernet przewodowych lub bezprzewodowych;

²⁸ wartości sygnałów użytecznych są rzędu pikotesli

²⁹ kamery, sonary, modemy hydroakustyczne, itp.

Studies have shown that the components of a field do not come only from complete apparatus, but also from individual components of devices.

Constructors of vehicles for transporting divers or unmanned vehicles are working on minimizing magnetic fields through the use of non-magnetic materials, slightly magnetic austenitic steel and aluminium alloys.

However, due to the fact that the basic drive of such units are electric motors, complete elimination of magnetic materials is impossible. Also, the equipment installed on vehicles²⁷ affects the resultant magnetic field, characterizing a given object.

In stationary solutions, inductive transducers with field concentrators in the form of magnetic cores are primarily used. These sensors are characterized by a high magnetic permeability, especially in weak magnetic fields. Portable barriers are characterized by similar metrological features. Due to the purpose for which they are used, they should weigh less and have a less time-consuming, simplified embedding method in the conditions prevailing in an anchorage.

As in the case of acoustic systems, magnetic detection methods require some support from the algorithm and analysis and signal processing software.

1.4.3 SYSTEMS USING ELECTRIC FIELD SENSORS

Metallic objects moving in the sea environment demonstrate the presence of the so-called electrical signature, which is the result of emitting static and dynamic components of the electric field. A static component is called an UEP²⁸ and presents an impact of in the near field. The measurement is performed when the target passes an electric field sensor, or an array of them. The result of the measurement depends on the size and speed of a moving object. The variable low-frequency electric field (ELFE²⁹) is a dynamic factor here. Both components have different sources of the origin.

UEP static factors are associated with electric currents emerging in the process of corrosion. Each of the metal objects acts as an anode or cathode and the sea water is an electrolyte. Because of some electrochemical reactions³⁰, electric currents connected with corrosion are generated. These currents flow from the materials behaving like anodes to the one behaving like cathodes through the electrolyte. As a result of the seawater conductivity, the electrical potential is created at different points in the sea. The measurement of the electric potential between the two points leads to measurements of the electric field.

One of the reasons behind the emergence of underwater alternating electric field is corrosion current modulation. This current is modulated by propeller rotations. The consequence of this is linking the frequency of an alternating electric field to the screw rotation. If the unit is driven by two screws, rotating at the same time, the frequency of an electric field corresponds to the screw with the highest rotation value, and the amplitude modulation is associated with the smallest rotation value

Another source of forming ELFE are the pulses of the sources of power in the machinery section of an object or the pulses connected with demagnetization systems and active cathode protection systems. Corrosion currents are created for different metals connected electrically.

²⁷ cameras, sonars, hydroacoustic modems, etc.

²⁸ UEP – Underwater Electric Potential

²⁹ ELFE – Extremely Low Frequency Electric

³⁰ reduction at the cathode and oxidation at the anode

Podobnie jak w przypadku systemów akustycznych, magnetyczne metody detekcji wymagają wsparcia od strony algorytmów i oprogramowania analizy i przetwarzania sygnałów.

1.4.3 SYSTEMY WYKORZYSTUJĄCE SENSORY PÓL ELEKTRYCZNYCH

Obiekty metaliczne poruszające się w środowisku morskim wykazują obecność tzw. sygnatury elektrycznej³⁰ (), będącej skutkiem emitowania statycznych i dynamicznych składowych pola elektrycznego. Komponent statyczny nazywany jest podwodnym potencjałem elektrycznym UEP³¹ i prezentuje wpływ w polu bliskim. Pomiar jest wykonywany, gdy cel przebiega nad sensorem pola elektrycznego lub ich szykiem. Wynik pomiarów zależy od wielkości i prędkości poruszającego się obiektu. Czynnikiem dynamicznym jest zmienne niskoczęstotliwościowe pole elektryczne ELFE³². Oba składniki mają różne źródła powstawania.

Czynnik statyczny UEP jest związany z powstającymi w procesie korozji prądami elektrycznymi. Każdy z metalowych elementów obiektu działa jako anoda lub katoda a elektrolitem jest woda morska. Z powodu reakcji elektrochemicznych³³ generowane są prądy elektryczne, związane z korozją. Prądy te płyną od materiałów będących anodami do katod przez elektrolit. W wyniku różnej od zera przewodności wody morskiej potencjał elektryczny powstaje w różnych punktach morza. Pomiar potencjału elektrycznego pomiędzy dwoma punktami prowadzi do pomiarów pola elektrycznego.

Jedną z przyczyn powstawania podwodnego, zmiennego pola elektrycznego jest modulacja prądu korozyjnego. Prąd ten jest modulowany przez obroty śruby napędowej. Konsekwencją tego jest powiązanie częstotliwości zmiennego pola elektrycznego z obrotami śruby. W przypadku, gdy jednostkę napędzają dwie śruby, obracające się w tym samym czasie, częstotliwość pola elektrycznego odpowiada śrubie o najwyższej wartości obrotów, natomiast modulacja amplitudy jest związana z najmniejszą wartością obrotów. Innym źródłem powstawania ELFE są tętnienia źródeł zasilania w przedziale maszynowym obiektu lub tętnienia związane z systemami demagnetyzacji oraz aktywnymi, katodowymi systemami ochrony. Prądy korozyjne powstają dla różnych metali połączonych elektrycznie.

Wśród przytoczonych potencjalnych obiektów zagrożenia, tylko niektóre mogą zainicjować powstanie pola elektrycznego. Są to przede wszystkim pojazdy holujące nurków, nurek wspomagany np. przez skuter lub bezzałogowe pojazdy podwodne.

Można wyróżnić trzy podstawowe typy sensorów pól elektrycznych:

- sensory potencjału elektrycznego – pogrupowane w pary dla każdej osi, oddzielnie na znanej odległości; pole elektryczne jest otrzymywane jako różnica potencjałów elektrycznych, mierzona na każdej parze czujników i dzielona przez odległość pomiędzy nimi; uzyskany wynik odpowiada temu, jaki znajduje się na wyimaginowanej linii łączącej sensory;
- sensory osiowe – dostarczają wyniki bezpośrednich pomiarów pola elektrycznego dla danej osi;
- sensory trójosiowe – dostarczają dane pomiarowe pola elektrycznego dla trzech osi.

Wymagana rozdzielczość tych sensorów jest szacowana na poziomie setek nV.

³⁰ w literaturze anglojęzycznej stosowane jest nazewnictwo *electrical signature*

³¹ UEP – ang. Underwater Electric Potential

³² ELFE – ang. Extremely Low Frequency Electric

³³ redukcja na katodzie i utlenianie na anodzie

Among the already mentioned potential threatening objects, only some may initiate the emergence of an electric field. These are primarily vehicles towing divers, divers assisted by e.g. a jet ski or an UUV.

There are three basic types of electric field sensors:

- electric potential sensors – they are grouped in pairs for each axis, separately at a known distance; the electric field is sensed as an electrical potential difference, measured at each pair of sensors and divided by the distance between them; the result obtained corresponds to the one which is located on an imaginary line connecting the sensors;
- axial sensors - provide the results of direct measurements of the electric field for a given axis;
- triaxial sensors - provide the electric field measurement data for three axes.

The required resolution of these sensors is estimated at hundreds of nV.

1.4.4. UNDERWATER ELECTRO-OPTICAL MONITORING SYSTEMS

Because of their operation frequency range, optical systems monitoring the situation underwater have very small operation ranges. The main reason behind it is a rapid increase in signal attenuation together with frequency, and a strong dependence on the degree of water clarity. However, the work carried out on laser solutions and the development of transmitters in underwater television systems result in a more frequent use of optical solutions, which constitute an addition to other elements of detection systems. The main disadvantage of an underwater television system is its short range, usually from 5 to 20 metres³¹. On the other hand, underwater television has an ability to provide underwater high-resolution colour images, with a relatively small size and a low hardware cost.

The environmental factors have the biggest impact on the effectiveness of these solutions³². Also, selected camera parameters such as resolution, intensity and wavelength of light, focus, sensitivity of the detectors, field of view, transmission, etc. are of considerable importance. Another factor influencing the efficiency of optical systems is the nature of the object itself, its shape, size, and reflections.

The problem with these optical observation methods is the serious backscatter of the water in the headlight's ray. Low reflexes of a far object are over-dazzled by the scattered light. The increase of the searchlight does not solve the problem, because the small object contrasts are not recognised by the camera transmitter system. The situation is somewhat better when it comes to laser systems. The solutions based on blue-green lasers, or the ones used by the U.S. Navy, LIDAR systems³³, provide better and better results in terms of detection, identification or classification. These systems are becoming more effective in detecting bottom or moored mines. Tests also show a greater increase in the operation range and an advancement in the visualization of underwater objects, compared to underwater cameras³⁴.

In the average hydrological conditions, laser systems achieve ranges of over 30 meters. Device parameters, such as power transmitted, pulse duration, pulse frequency, and field of view have a special impact here. Basically, there are two solutions used in laser systems.

³¹ depending on the water clarity and purity

³² such as water turbidity, vegetation, bottom type / bottom sediments, absorption, dispersion, sunlight

³³ LIDAR – Laser Infrared Radar

³⁴ source: NIAG SG86 NATO Integrated Harbour Barrier System (NIHBS) report, 2005

1.4.4 PODWODNE ELEKTROOPTYCZNE SYSTEMY MONITOROWANIA

Ze względu na zakres częstotliwości pracy optyczne systemy monitorowania sytuacji podwodnej mają bardzo małe zasięgi działania. Główną przyczyną jest gwałtowny wzrost tłumienia sygnałów wraz z częstotliwością oraz silna zależność od stopnia przejrzystości wody. Jednak prace prowadzone nad rozwiązaniami laserowymi oraz rozwój przetworników w systemach telewizji podwodnej skutkują coraz częstszym wykorzystywaniem rozwiązań optycznych jako uzupełnienie dla pozostałych elementów systemu detekcji. Główną wadą systemów telewizji podwodnej jest krótki zasięg, zwykle od 5 do 20 metrów³⁴. Z drugiej strony telewizja podwodna ma możliwość dostarczania kolorowych obrazów, o wysokiej rozdzielczości, przy stosunkowo niewielkich rozmiarach i niskiej cenie sprzętu.

Największy wpływ na skuteczność tych rozwiązań mają czynniki środowiskowe³⁵. Istotny wpływ mają również dobrane parametry kamer, takie jak rozdzielczość, natężenie i długość fali oświetlenia, ogniskowanie, czułość detektorów, pole widzenia, transmisja, itp. Kolejnym czynnikiem wpływającym na efektywność systemów optycznych jest charakter samego obiektu, jego kształt, wielkość, odbicia.

Problemem przy tych metodach obserwacji optycznej są odbicia wsteczne promieni światła. Słabe sygnały, pochodzące od odległych obiektów, często bywają „zaślepiane” przez promieniowanie wsteczne wody. W znacznym stopniu utrudnia to obserwację o detekcję. Zwiększanie natężenia emitowanego przez reflektory światła nie rozwiązuje problemu, gdyż system przetworników kamery nie jest w stanie w tym przypadku rozróżnić kontrastu małych obiektów. Nieco lepiej wygląda sytuacja dla systemów laserowych. Rozwiązania oparte na niebiesko-zielonych laserach czy też stosowane przez marynarkę USA systemy LIDAR³⁵ dostarczają coraz lepsze wyniki, jeśli chodzi o detekcję, identyfikację lub klasyfikację. Systemy te wykazują coraz większą skuteczność w wykrywaniu min dennych lub kotwicznych. Próby pokazują również większy wzrost zasięgu oraz zaawansowania wizualizacji obiektów podwodnych niż w przypadku kamer podwodnych³⁶.

Dla średnich warunków hydrologicznych systemy laserowe osiągają zasięgi powyżej 30 metrów. Szczególny wpływ mają tutaj takie parametry urządzeń, jak: transmitowana moc, czas trwania impulsów, częstotliwość impulsów, pole widzenia. Zasadniczo wykorzystywane są dwa rozwiązania systemów laserowych. Pierwszy z nich oparty jest o skanowanie rastrowe³⁷. W rozwiązaniu tym nadawane są bardzo wąskie, spolaryzowane wiązki promieniowania. Dodatkowo, przed detektorem wstawiane są filtry polaryzacyjne, co w efekcie w znacznym stopniu zmniejsza wpływ odbić wstecznych. Skanowanie przebiega w sposób ciągły. Równolegle i synchronicznie przetwornik kamery, o wysokiej dynamice, rejestruje obraz.

Drugim rozwiązaniem są systemy ze skanowaniem bramkowanym³⁸. W systemie tym obraz rejestrowany jest przez pulsujący laser i przełączaną zależnie od odległości kamerę o krótkim czasie naświetlania³⁶. Minimalizacja odbić wstecznych osiągana jest przez synchronizację czasu naświetlania obiektu przez laser oraz przez sterowany bramką zasięg kamery³⁷.

³⁴ zależnie od przejrzystości i czystości wody

³⁵ np. zmętnienie wody, roślinność, rodzaj dna/osady denne, absorpcja, dyspersja, światło słoneczne

³⁵ LIDAR – ang. Laser Infrared Radar

³⁶ źródło: Raport NIAG SG86 NATO Integrated Harbour Barrier System (NIHBS), 2005

³⁷ Laser Raster Scanning

³⁸ Laser Gated Viewing

³⁶ short-time exposed camera

³⁷ camera controlled range gate

The first of them is based on Laser Raster Scanning. In this solution, very narrow, polarized beams are emitted. Additionally, before the detector, there are polarizing filters, which in turn greatly reduce the impact of backscattering. Scanning takes place in a continuous manner. Parallel and synchronously, the camera converter records the highly dynamic image.

The second solution is called Laser Gated Viewing. In these systems, the image is recorded by a pulsed laser and a distance-dependently switched, short-time exposed TV camera. The backscatter minimization is reached by synchronising the object's laser illumination time and a camera controlled range gate. Laser pulses are characterized by a high maximum peak power, a very short pulse duration (nanoseconds range), and a relatively low pulse repetition rate. The laser beam illuminates the entire field of view. Synchronously to that, a CCD camera with a Micro Channel Plate (MCP) as an optical preamplifier is recording the scene in a way that only backscattered light from a certain range gate is recorded.

Given the aims and objectives set, Laser Gated Viewing systems are preferred. Pulse lasers with low pulse repetition rate are easier to produce, while maintaining an acceptable MTBF (Mean Time Between Failures), than the ones with very high repetition rate. The technology of optical amplifiers used there is available, developed and proved. Even with expanding the laser beam, safety regulations can still be kept.

On the other hand, a laser scanner is far more efficient. A Gated Viewing system is better for detecting high-contrast objects at a long range, and not for a long range identification. It results from the fact that the system is not sensitive to the brightness of the environment and its own movements. The system has problems identifying particular low-contrast objects, even at shorter distances, and such solutions require newer and more advanced methods of image processing.

Optical sensors are useful parts of underwater barriers due to their good geometrical resolution. The problem is their limited range, particularly in bad weather conditions. Due to this fact, laser systems should be used mainly as a vertical looking barrier systems for pre-detection and early warning, installed in front of a second sensor-system, responsible for redetection and tracking.

1.4.5 PHYSICAL BARRIERS

These solutions can constitute a complementary part to the advanced detection and monitoring systems listed above. Therefore, this issue will be presented briefly.

Due to the nature of the construction and the mechanism of action of physical barriers, they form a separate group of harbour and anchorage security systems. Given the wide variety and types of possible terrorist threats, these devices may be a complement to security systems. The early detection systems mentioned earlier, despite the use of modern sensor technology, as well as data acquisition and fusion, still leave some degree of uncertainty in classifying an object as friendly or a threat. The physical barriers allow partially to complement this gap. Moreover, they can be also regarded as an indication of an internal environment in the harbour³⁵ or as an indication of a safety zone. The biggest advantage of a physical barrier is the independence of the level of security from weather conditions, visibility, or the propagation conditions. The main task of physical barriers is to prevent physical intrusion of objects into the protected area or to slow them down, depending on the speed and size of hostile objects.

³⁵ e.g. a military zone, customs zone

Impulsy laserowe charakteryzuje wysoka maksymalna moc szczytowa, bardzo krótki czas trwania, rzędu ns, oraz relatywnie niski współczynnik powtarzania impulsów. Wiązka oświetla cały obszar znajdujący się w polu widzenia. Kamera CCD ze wzmacniaczem optycznym⁴¹ synchronicznie rejestruje tylko światło odbite w pewnym zakresie bramki.

Biorąc pod uwagę stawiane cele i założenia preferowane są systemy bramkowane. Lasery impulsowe z niską częstotliwością powtarzania są prostsze do wykonania, z zachowaniem akceptowalnego średniego czasu między awariami takim jak dla bardzo wysokich częstotliwości powtarzania. Dostępna i dopracowana jest również technologia stosowanych wzmacniaczy optycznych. Rozszerzając wiązkę laserową możliwe jest zachowanie zasad bezpieczeństwa.

Z drugiej strony skaner laserowy jest bardziej efektywny. System bramkowany jest lepszy do detekcji obiektów o wysokim kontraście na dużych odległościach, nie nadaje się jednak do identyfikacji. Wynika to z małej czułości na jasność/jaskrawość środowiska oraz zmiany swojego położenia. Problem występuje przy identyfikacji szczegółów obiektów o małym kontraście, nawet na mniejszych odległościach i rozwiązania te wymagają coraz to nowszych i bardziej zaawansowanych metod przetwarzania obrazów.

Za względu na dobrą rozdzielczość geometryczną sensory optyczne stanowią użyteczny element barier podwodnych. Problemem jest ograniczenie zasięgu, szczególnie przy złych warunkach klimatycznych. W związku z tym systemy laserowe powinny być używane głównie jako patrzące pionowo, systemy wczesnego ostrzegania i predetekcji, zamontowane przed następnym systemem czujników odpowiedzialnym za potwierdzenie wykrycia i śledzenie.

1.4.5 BARIERY FIZYCZNE

Rozwiązania te mogą stanowić komplementarne uzupełnienie przytoczonych wcześniej, zaawansowanych systemów detekcji i monitorowania sytuacyjnego. Z tego też względu zagadnienie to zostanie w skrócie przedstawione.

Ze względu na charakter budowy i zasadę działania bariery fizyczne tworzą osobną grupę systemów zabezpieczeń portów i miejsc cumowania statków. Biorąc pod uwagę dużą różnorodność i rodzaj możliwych zagrożeń terrorystycznych urządzenia te mogą stanowić przydatne i użyteczne uzupełnienie systemu ochrony. Wspomniane wcześniejszej systemy detekcji, pomimo wykorzystania nowoczesnych technologii czujników a także syntezy i analizy danych, nadal pozostawiają pewien poziom niepewności przy klasyfikacji obiektu jako przyjaznego lub wrogiego. Bariery fizyczne pozwalają częściowo uzupełnić te luki. Ponadto mogą być również traktowane jako oznaczenie wewnętrznego środowiska w porcie³⁸ lub jako oznaczenie strefy bezpieczeństwa. Największą zaletą rozwiązań bariery fizycznej jest niezależność poziomu zapewnianego bezpieczeństwa od warunków pogodowych, widoczności, czy też warunków propagacji w ośrodku wodnym. Głównym zadaniem jest przeciwdziałanie fizycznemu wtargnięciu obiektów na chroniony teren lub ich spowolnienie, zależnie od prędkości i wielkości wrogich obiektów.

Podstawowy podział barier fizycznych wynika ze sposobu i metody rozmieszczania jej elementów. Na tej podstawie można wyróżnić stałe i mobilne bariery fizyczne. Stałe bariery fizyczne mogą stanowić część infrastruktury portu. Zwykle występują w postaci sekcji sieci ogrodzeniowych, zakotwiczonych na stałe na dnie zbiornika, przy pomocy ciężkich bloków betonowych lub zbiorników balastowych z tworzywa sztucznego.

⁴¹ MCP – Micro Channel Plate

³⁸ np. strefa zmilitaryzowana portu, strefa celna

The basic division of physical barriers results from the manner and method of deployment of its elements. On this basis, we can distinguish fixed and mobile physical barriers. Permanent physical barriers may be part of the port infrastructure. They can usually be found as parts of the fence, permanently anchored to the seabed, using heavy concrete blocks or plastic ballast tanks. Connections between neighbouring sections and between the fence and the ballast can be fully secured by alarm systems, which allows the detection of a possible breach of the barrier elements and an intrusion attempt. The disadvantage of the fixed barriers is the fact that they constitute a permanent installation in the harbour area and require a significant period of time for deployment and installation. If this is an important factor, mobile barriers can be used instead. They are independent of the elements of the harbour infrastructure and enable fast deployment. As in the case of permanent barriers, above water and under water parts can be distinguished here. Their size and profile depends mainly on the capacity and space on board a given unit. When the barrier is a piece of ship equipment, due to the limited space on board, it is usually limited to chains of buoys. Buoys may be supplemented by surface and underwater detection systems, alarm systems³⁶ or pollution sensors. If a mobile physical barrier is part of the equipment of harbour security management units, it may also contain some underwater parts. The barrier is deployed by units specially designed for this purpose; then its functionality is similar to the stationary solutions. In this case, the effectiveness of the mobile barriers will also depend on the mooring / anchoring.

³⁶ e.g. a lit boundary of a reserved area, a demarcation line

Połączenia między sąsiadującymi sekcjami oraz pomiędzy ogrodzeniem a balastem mogą być w pełni zabezpieczone systemami alarmowymi, co umożliwi wykrycie ewentualnego naruszenia elementów bariery i próbę wtargnięcia intruzów. Wadą barier stacjonarnych jest fakt, iż stanowią one stałą instalację na terenie portu i wymagają znacznego czasu na rozmieszczenie i montaż. Gdy jest to istotny czynnik można wykorzystać bariery ruchome. Bariery mobilne dają niezależność od elementów infrastruktury portowej i umożliwiają rozmieszczenie i złożenie zabezpieczeń w stosunkowo krótkim czasie. Podobnie jak w przypadku barier stałych, można wyróżnić część podwodną i nawodną. Ich wielkość i charakter zależy głównie od możliwości i miejsca na pokładzie jednostki. Gdy bariera stanowi element wyposażenia danego okrętu, ze względu na małą ilość miejsca na pokładzie, zwykle ogranicza się do łańcuchów boi. Boje mogą być uzupełnione o nawodne i podwodne systemy detekcji, systemy sygnalizacji⁴³ lub czujniki zanieczyszczeń. W przypadku, gdy ruchoma bariera fizyczna znajduje się na wyposażeniu jednostek zarządzających bezpieczeństwem w danym porcie może również zawierać część podwodną. Bariera jest roztawiana przez specjalnie przeznaczone do celu tego jednostki. Jej funkcjonalność jest wówczas zbliżona do rozwiązań stacjonarnych. W tym przypadku o skuteczności danej bariery mobilnej decydować będzie również sposób cumowania/kotwiczenia.

LITERATURE/BIBLIOGRAPHY

1. Dobkowski J., Cichocki R., Szarkowski F.: *Systemy magnetyczne do detekcji terrorystycznych zagrożeń podwodnych*. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technika i Uzbrojenie Morskie – NATCon’07”, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej rok XLVIII nr 170 K/1 2007, Gdynia 2007;
2. Dobkowski J.T., Cichocki R., Szarkowski F.: *Using Magnetic Barriers to Detect an Underwater Terrorist Threat*. Sea Technology, November 2007, p. 29 – 34;
3. Ficoń K.: *Identyfikacja zagrożeń rzeczywistych i potencjalnych dla miasta portowego na przykładzie Gdyni*. Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Zarządzanie Kryzysowe”, AM, UW Szczecin 2006;
4. Ficoń K.: *Metodyka budowy zintegrowanego systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów portowych*. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technika i Uzbrojenie Morskie – NATCon’07”, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej rok XLVIII nr 170 K/1 2007, Gdynia 2007;
5. Salamon R.: *Systemy hydrolokacyjne*. GTN, Gdańsk 2006;
6. Suchman D.: *Basic Do’s and Don’ts of Designing, Installing and Operating a Harbor Protection system*. TICA’05.;
7. *Raport NIAG SG86 NATO Integrated Harbour Barrier System (NIHBS)*, 2005;
8. <http://www.columbiagroup.com>;
9. <http://www.military-technology.org>;
10. <http://www.mw.mil.pl>;
11. <http://www.naval-technology.com/projects/dagger/>;
12. <http://www.port.gdynia.pl>;
13. http://www.submarinebuilders.com/diver_delivery.htm.

Material sponsorowany przez Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej

⁴³ np. sygnalizacja świetlna granicy zastrzeżonego obszaru, linia demarkacyjna