



BEZZAŁOGOWE SYSTEMY MORSKIE W MONITOROWANIU BRONI CHEMICZNEJ ZATOPIONEJ NA DNIE BAŁTYKU – INNOWACYJNE NARZĘDZIE DLA OCHRONY ZDROWIA LUDZI I ŚRODOWISKA



Unmanned marine systems for monitoring chemical weapons sunk in the Baltic Sea – an innovative tool for protecting human health and the environment

Jacek Grębowski¹, Marek Skalski¹, Maurycy Rodak², Tomasz Miezancew³, Mirosław Soszyński³, Michał Bijak⁴, Jacek Fabisiak⁵

1. Wojskowy Instytut Medyczny – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Organizacji Ochrony Zdrowia Wojsk i Zdrowia Publicznego, Polska
2. Batalion Szkolny, Wojskowe Centrum Kształcenia Medycznego, Polska
3. Wojskowy Instytut Medyczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Administracyjno-Mobilizacyjny, Polska
4. Centrum Zapobiegania Zagrożeniom Biologicznym, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego, Polska
5. Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich, Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte, Polska

Jacek Grębowski –  0000-0001-5407-9533

Marek Skalski –  0009-0004-2684-3804

Maurycy Rodak –  0009-0004-8465-5780

Tomasz Miezancew –  0009-0005-1895-3664

Mirosław Soszyński –  0009-0002-4663-9099

Michał Bijak –  0000-0002-7838-4097

Jacek Fabisiak –  0000-0002-6342-7728

Streszczenie

Morze Bałtyckie jest zbiornikiem wodnym szczególnie narażonym na zanieczyszczenia ze względu na swoją niewielką głębokość i zamknięty charakter. Po II wojnie światowej, w ramach operacji alianckich, została zatopiona w nim niemiecka broń chemiczna. Szacuje się, że na dnie znajduje się około 40 tysięcy ton chemikaliów, w tym niebezpieczne środki bojowe, jak iperyt siarkowy, tabun czy fosgen. Zatopione substancje stanowią poważne zagrożenie dla środowiska morskiego i zdrowia ludzi, zwłaszcza w przypadku uwolnienia ich np. na skutek korozji korpusów amunicji czy pojemników, których stan powinien podlegać stałej kontroli. W tym kontekście rosnące zainteresowanie bezzałogowymi systemami morskimi, w szczególności pojazdami podwodnymi, powierzchniowymi oraz powietrznymi, staje się kluczowy w monitorowaniu i neutralizacji zagrożeń związanych z zatopioną bronią chemiczną. Współdziałanie tych systemów może być wykorzystywane do wykrywania, mapowania oraz analizy środowiskowej w celu zminimalizowania ryzyka związanego z tymi substancjami.

Abstract

The Baltic Sea, one of the most congested seas in Europe, is particularly vulnerable to pollution due to its shallow depth and enclosed nature. After World War II, tons of German chemical weapons were dumped there on the orders of the Allied forces. It is estimated that around 40,000 tons of these weapons and munitions – including dangerous chemical agents such as sulfur mustard, tabun, and phosgene – now lie on the sea floor. These substances pose a serious threat to both marine life and human health, especially if leaks occur as a result of corrosion in the shells or containers in which the chemicals are stored. Regular monitoring of the condition of these containers is therefore essential. In this context, unmanned maritime systems – including underwater, surface, and aerial vehicles – play a crucial role in monitoring and neutralizing the threats posed by chemical weapons on the Baltic Sea floor. Working in collaboration, these systems can be used for detection, mapping, and environmental analysis to help minimize the risks associated with these substances.

Słowa kluczowe: Morze Bałtyckie; bezpieczeństwo ekologiczne; ochrona ludności cywilnej; broń chemiczna; bezzałogowe systemy morskie

Keywords: Baltic Sea; ecological safety; civil protection; chemical weapons; unmanned maritime systems

DOI 10.53301/lw/200347

Praca wpłynęła do Redakcji: 16.12.2024

Zaakceptowano do druku: 21.01.2025

Autor do korespondencji:

Jacek Grębowski

Wojskowy Instytut Medyczny –

Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Organizacji

Ochrony Zdrowia Wojsk i Zdrowia Publicznego,

ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa

e-mail: jacek.grebowski@gmail.com

Wstęp

Historia broni chemicznej zatopionej w Morzu Bałtyckim jest ściśle powiązana z okresem działań prowadzonych podczas I i II wojny światowej. W tym czasie wyprodukowano ogromne ilości środków toksycznych przeznaczonych do elaboracji bomb lotniczych, pocisków artyleryjskich, granatów, min oraz metalowych pojemników. Szacuje się, że w latach 1914–1918 powstało około 180 000 ton bojowych środków trujących (BŚT) [1]. Masowe wówczas wykorzystywanie broni chemicznej doprowadziło do zatrucia około 1,2 miliona osób, z czego około 100 tysięcy zmarło [2]. W okresie międzywojennym oraz w czasie II wojny światowej produkcja i rozwój broni chemicznej były kontynuowane. Używane wcześniej substancje, takie jak iperyt siarkowy, luizyt i adamsyt, wciąż miały zastosowanie bojowe, poza tym opracowano nowe, bardziej toksyczne związki fosforoorganiczne, takie jak

tabun i sarin. Podczas działań wojennych prowadzonych w Europie nie zużyto wszystkich zgromadzonych zapasów, które po wojnie stworzyły problem związany z utylizacją zarówno amunicji chemicznej, jak i samych bojowych środków trujących [1]. Stosowano różne metody ich niszczenia. Część z nich zakopano, część spalono lub unieszkodliwiono, a ogromną ilość zatopiono w morzach i oceanach. Była to powszechnie akceptowana praktyka od początku XX wieku do lat 70., uznawana w tym czasie za najbezpieczniejszy i najtańszy sposób utylizacji broni chemicznej. Kluczowe znaczenie w tej kwestii miała Konferencja Poczdamśka w 1945 roku, na której zatwierdzono zatapianie broni chemicznej w Morzu Bałtyckim jako część procesu demilitaryzacji Niemiec [1, 3]. Obecnie szacuje się, że na terenie polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej (WSE), ryzyko narażenia ludzi lub skażenia statków zatopioną bronią chemiczną występuje na obszarze ok. 340 km² (ryc. 1). Wyłączna Strefa Ekonomiczna to



Rycina 1. Oficjalne i nieoficjalne trasy transportu broni chemicznej oraz miejsca jej zatopienia w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej [1]

obszar wód morskich przysługujących Polsce i zapewniający jej szeroki zakres praw suwerennych na obszarze do 200 mil morskich od linii brzegowej. Polskie służby morskie w ramach polskiej WSE wydzieliły sześć obszarów zagrożenia obejmujących: okolice Bornholmu, czyli pogranicze z duńską WSE, o powierzchni około 220 km² oraz rejon w pobliżu Dziwnowa (88 km²), Kołobrzegu (8 km²), Darłowa (8 km²), Helu (8 km²) i Głębi Gdańskiej (ok. 8 km²) [4, 5]. Ilość zatopionej amunicji chemicznej na tych terenach szacuje się na 10 000–12 000 sztuk [4, 6].

Na polskich obszarach morskich w Głębi Gdańskiej zatopiono największe ilości broni chemicznej. Trafiła ona tam w wyniku działań Niemiec weimarskich, hitlerowskich, wojsk sowieckich, NRD oraz ZSRR. Szacuje się, że w tych rejonach zatopiono około 60 ton amunicji chemicznej, głównie zawierającej iperyt siarkowy (gaz musztardowy). Dodatkowym zagrożeniem jest obecność amunicji konwencjonalnej, zatopionej razem z bronią chemiczną [4]. W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę rejonów na polskich obszarach morskich, gdzie istnieje ryzyko kontaktu z BŚT, oraz rodzaje broni chemicznej wyławianej na tych obszarach.

Chemiczna amunicja spoczywająca na dnie Morza Bałtyckiego staje się szczególnie niebezpieczna w przypadku uwolnienia toksycznych substancji do wód. Może to nastąpić w wyniku korozji metalowych pojemników lub w wyniku eksplozji podczas operacji badawczych, wydobywczych czy eksploatacyjnych. Zjawiska te mogą spowodować gwałtowne rozproszenie BŚT w postaci aerozolu, zawiesiny lub koloidu, prowadząc do skażenia środowiska [2]. Ryzyko dla zdrowia ludzi obejmuje m.in. bezpośredni kontakt rybaków z amunicją, spożycie skażonych ryb oraz zanieczyszczenie plaż przez wyrzucone na brzeg pojemniki [7, 8].

W pierwszej połowie lat 50. XX wieku zaczęły pojawiać się informacje o pojemnikach z iperytem siarkowym, wyrzucanych na brzeg wzdłuż polskiego wybrzeża, na południowy zachód od Bornholmu oraz wzdłuż tras prowadzących do miejsc zatopień w Głębi Gotlandzkiej

i Bornholmskiej [4]. Do 2012 roku incydenty związane z bronią chemiczną na Bałtyku rejestrowała Marynarka Wojenna Danii na zlecenie Komisji Helsińskiej (HELCOM). Od 2013 roku jednak Dania zrezygnowała z tego, przez co brakuje danych o takich zdarzeniach po tej dacie. W dalszym ciągu corocznie rejestruje się kilka incydentów. Analiza raportowanych zdarzeń wskazuje spadek ich liczby od 2000 roku (z wyjątkiem 2003 r.). Sugeruje się, że może to wynikać ze zmian w lokalnych zasobach ryb, ograniczenia czasu połowów oraz używania nowoczesnych narzędzi do połowu. Ponadto rybacy nie zawsze zgłaszają wyłowienie niebezpiecznych obiektów, jeśli nikt nie ucierpiał, co może zaniżać statystyki [4].

Można stwierdzić, że broń chemiczna jest rozproszona na znacznie większym obszarze niż wskazują raporty przygotowane przez grupę roboczą HELCOM CHEMU na podstawie udostępnionej dokumentacji archiwalnej. Liczne przypadki kontaktu z bronią chemiczną oraz uwolnionymi do środowiska bojowymi środkami trującymi poza oznaczonymi rejonami ich zatapiania świadczą, że broń ta była zatapiana już podczas transportu do miejsc docelowych lub w miejscach do tego nie wyznaczonych, które wciąż nie są do końca rozpoznane. W obliczu intensywnej eksploatacji Morza Bałtyckiego, które odgrywa kluczową rolę w europejskiej gospodarce, wzrasta potrzeba wdrażania nowoczesnych technologii, w tym bezzałogowych systemów morskich, do monitorowania i neutralizacji zanieczyszczeń. Skuteczne zarządzanie tym problemem wymaga zatem nie tylko dokładnej analizy istniejących zagrożeń, ale także zastosowania innowacyjnych rozwiązań technologicznych, które umożliwią ochronę tego cennego ekosystemu przed skutkami przeszłych działań związanych z bronią chemiczną.

Bezzałogowe systemy morskie

Bezzałogowe pojazdy, w tym systemy powietrzne i morskie, znajdują coraz szersze zastosowanie [9, 10]. Szczególny potencjał dostrzegany jest w badaniach i monitorowaniu mórz, gdzie te zaawansowane technologie oferują nowe możliwości zarówno podczas eksploracji środowi-

Tabela 1. Rejony polskich wód morskich, w których występuje ryzyko kontaktu z bojowymi środkami trującymi. Źródło: Fabisiak [4]

Rejon	Charakterystyka hydrogeologiczna	Rodzaj amunicji
Bornholm	- głębokość: 70–105 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	bomby, amunicja artyleryjska, miny, pojemniki, kontenery z iperytem i związkami arsenowymi
Dziwnów	- głębokość: 10–16 m - zasolenie: 7,5 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	pociski artyleryjskie z iperytem i związkami arsenowymi
Kołobrzeg	- głębokość: 65 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	bomby, amunicja artyleryjska, miny, pojemniki, kontenery z iperytem i związkami arsenowymi
Darłowo	- głębokość: 90 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	bomby z iperytem
Hel	- głębokość: do 117 m - zasolenie: niewielkie - temperatura przy dnie: 5–6°C	bomby, amunicja artyleryjska, miny, pojemniki, kontenery z iperytem i związkami arsenowymi
Głębia Gdańska	- głębokość: 80–110 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	bomby z iperytem; w rejonie zatapiano także amunicję konwencjonalną.
PSU (ang. <i>practical salinity unit</i>) – praktyczna jednostka zasolenia		

ska morskiego, jak i jego ochrony [11]. Bezzałogowe systemy morskie obejmują szeroką gamę technologii. Ze względu na charakter wykorzystania można je podzielić na trzy podstawowe grupy: pojazdy podwodne (ang. *unmanned underwater vehicles*, UUV) [12], pojazdy powierzchniowe (ang. *unmanned surface vehicles*, USV) [13] oraz systemy powietrzne (ang. *unmanned aerial vehicles*, UAV) [14], wykorzystywane do operacji morskich. Każdy z tych systemów ma unikalne zalety i ograniczenia, a ich współdziałanie może zapewnić optymalną efektywność operacyjną.

Bezzałogowe pojazdy podwodne mają zdolność do działania w trudnych warunkach głębinowych, gdzie statki załogowe nie są w stanie operować, co umożliwia monitorowanie i eksplorację niedostępnych miejsc. Dodatkowo, ich duża autonomia pozwala na prowadzenie misji trwających wiele godzin, a nawet dni, bez potrzeby powrotu na powierzchnię [12]. Dzięki zaawansowanym czujnikom i kamerom, bezzałogowe pojazdy podwodne dostarczają precyzyjnych danych z dna morskiego, pomagając w identyfikacji wraków statków [15] oraz zagrożeń, takich jak broń chemiczna [16]. Z drugiej strony, ich ograniczenia wynikają z trudności w komunikacji pod wodą, co zmusza je do działania w trybie autonomicznym, a to może powodować opóźnienia w reagowaniu na dynamiczne sytuacje. Ponadto głębokość i zmienne warunki mogą ograniczać efektywność sensorów, co negatywnie wpływa na jakość zbieranych danych [12].

Bezzałogowe pojazdy powierzchniowe oferują przewagę w postaci stałego kontaktu z bazą, co pozwala na bieżąco wymieniać dane i szybko reagować na zmieniające się sytuacje [17]. Pełnią one również rolę platform wsparcia dla innych systemów bezzałogowych, takich jak pojazdy podwodne i systemy powietrzne, dostarczając zasilanie i punkty komunikacyjne. Ich niższy koszt operacyjny, w porównaniu z załogowymi jednostkami, czyni je bardziej ekonomicznymi [10, 12, 14, 15]. Jednakże bezzałogowe pojazdy powierzchniowe są podatne na zmienne warunki atmosferyczne, co może utrudniać ich działanie, oraz mają ograniczoną mobilność w porównaniu z systemami powietrznymi, co stanowi istotne ograniczenie w przypadku dużych powierzchni wodnych [13, 17].

Bezzałogowe systemy powietrzne wyróżniają się szybkością i mobilnością, co pozwala na szybkie przemieszczanie się na duże odległości [10, 14] i czyni je idealnymi do natychmiastowego rozpoznania i monitorowania dużych obszarów morskich oraz reagowania na nagłe zagrożenia. Wyposażone w zaawansowane kamery i sensory, dostarczają obrazy i dane w czasie rzeczywistym, wspierając procesy podejmowania decyzji podczas operacji morskich. Ponadto, ich elastyczność operacyjna umożliwia szybkie rozmieszczanie jednostek i ich wycofywanie w zależności od potrzeb. Niemniej jednak, ograniczony czas lotu wynikający z pojemności baterii wymusza częste ładowanie lub wymianę, a ich efektywność może być znacznie ograniczona przez trudne warunki atmosferyczne, takie jak silne wiatry i deszcz, co stanowi istotne wyzwanie podczas długotrwałych operacji na otwartym morzu.

Każdy z wymienionych systemów bezzałogowych ma swoje mocne i słabe strony, ale ich połączenie w ramach jednej operacji tworzy optymalny system wsparcia. Bez-

załogowe pojazdy podwodne dostarczają cennych danych z głębin morskich, pojazdy powierzchniowe pełnią rolę platform komunikacyjnych i wsparcia na powierzchni, a systemy powietrzne dostarczają informacji w czasie rzeczywistym, monitorując sytuację z powietrza.

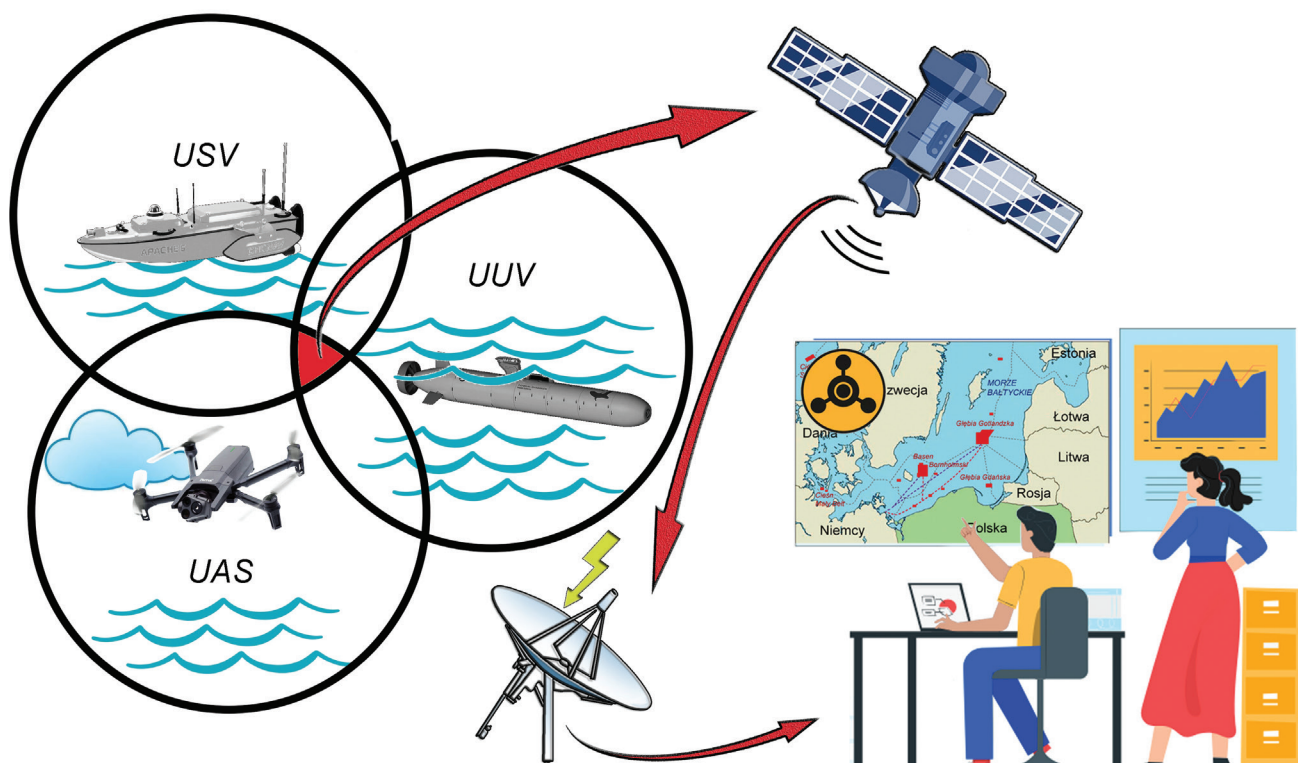
Bezzałogowe jednostki pływające odpowiadają za szczegółowe badania powierzchni wody oraz wykonywanie pomiarów w strefie przybrzeżnej. Jednostki latające zapewniają szeroki zasięg obserwacji z powietrza, monitorując rozległe obszary oraz identyfikując potencjalne miejsca zagrożenia. Z kolei drony nurkujące prowadzą badania w głębinach, zbierając dane bezpośrednio z dna morskiego i otoczenia potencjalnych źródeł zagrożenia. Informacje zebrane przez te trzy typy jednostek są przesyłane w czasie rzeczywistym do centralnego systemu analitycznego. System ten, wykorzystując zaawansowane technologie informatyczne, takie jak algorytmy sztucznej inteligencji i modelowanie przestrzenne, dokonuje wielopoziomowej analizy danych. Na podstawie uzyskanych wyników podejmowane są decyzje operacyjne zgodne z wcześniej opracowanymi protokołami bezpieczeństwa. Dzięki tej zintegrowanej architekturze system umożliwia precyzyjne mapowanie zatopionej broni chemicznej, ocenę potencjalnych zagrożeń oraz szybkie wdrażanie działań zabezpieczających, minimalizując ryzyko dla środowiska i ludzi (ryc. 2).

Współpracując ze sobą, te trzy grupy bezzałogowych systemów morskich stanowią idealne uzupełnienie, tworząc holistyczne rozwiązanie, które może sprostać najtrudniejszym wyzwaniom operacyjnym

Zastosowanie bezzałogowych systemów morskich

Zastosowanie bezzałogowych systemów do monitoringu i neutralizacji zatopionej broni chemicznej na Bałtyku obejmuje:

- **Detekcję i mapowanie.** Bezzałogowe pojazdy podwodne są wyposażone w zaawansowane sensory, takie jak sonary, magnetometry i systemy obrazowania, które pozwalają na dokładne mapowanie dna morskiego oraz identyfikację obiektów stanowiących potencjalne zagrożenie.
- **Monitoring i analizy środowiskowe.** Bezzałogowe pojazdy podwodne i powierzchniowe mogą być używane do pobierania próbek wody i osadów dennych w celu analizy chemicznej i oceny poziomu zanieczyszczenia. Dzięki regularnym pomiarom możliwe jest monitorowanie ewentualnych wycieków i ich wpływu na ekosystem. Obecnie, ze względu na ograniczenia technologiczne, bezpośrednia analiza prób na miejscu jest niemożliwa, dlatego pobrane osady, woda czy fragmenty obiektów muszą zostać dostarczone do specjalistycznych laboratoriów. Trwają jednak prace nad opracowaniem sensorów do analizy bezpośrednio w badanym rejonie. Jednym z nich jest analizator neutronowy, który umożliwi identyfikację niebezpiecznych substancji na miejscu.
- **Neutralizacja zagrożeń.** Bezzałogowe systemy mogą również uczestniczyć w operacjach neutralizacji zagrożeń, np. poprzez precyzyjne rozmieszczanie ładunków wybuchowych służących do kontrolowanego niszczenia skorodowanych pojemników z bronią chemiczną.



Rycina 2. Zintegrowany system wsparcia z wykorzystaniem bezzałogowych systemów do monitorowania zagrożeń związanych z bronią chemiczną zatopioną na dnie Bałtyku. USV (ang. *unmanned surface vehicles*) – pojazdy powierzchniowe; UUV (ang. *unmanned underwater vehicles*) – pojazdy podwodne; UAS (ang. *unmanned aircraft system*) – bezzałogowy system powietrzny

Wyzwania związane z wykorzystaniem bezzałogowców do monitorowania dna Bałtyku

Rozwój bezzałogowych systemów morskich niewątpliwie oferuje wiele korzyści, także w kontekście minimalizowania lub eliminowania zagrożeń związanych z niebezpiecznymi obiektami zatopionymi w morzach i oceanach, takimi jak broń chemiczna. Jednak systemy te niosą ze sobą także pewne ograniczenia, których przewyższenie powinno stanowić kierunek przyszłych wyzwań związanych z rozwojem tej technologii. Jednym z pierwszych jest bezpieczeństwo operacji prowadzonych z udziałem bezzałogowców. Operacje w rejonach zatopienia broni chemicznej, gdzie sytuacje mogą być dynamiczne, są niezwykle ryzykowne, wymagają szybkiego reagowania, a błędy mogą prowadzić do poważnych wypadków [18]. Ponadto, operacje w Bałtyku często wymagają współpracy wielu krajów, co może być skomplikowane ze względu na różnice w przepisach prawnych, procedurach operacyjnych i poziomie zaawansowania technologicznego [19]. Aby zminimalizować ryzyko związane z tego rodzaju operacjami, warto podjąć kilka działań prewencyjnych. Przede wszystkim, przed przystąpieniem do operacji należy przeprowadzić szczegółową analizę ryzyka, identyfikując potencjalne zagrożenia oraz opracowując plany awaryjne. Operatorzy dronów powinni przechodzić regularne szkolenia, w tym symulacje kryzysowe, aby byli przygotowani na różne sytuacje. Właściwe szkolenie personelu obsługującego bezzałogowe pojazdy morskie w zakresie analizy danych oraz prowadzenia działań w taki sposób, aby nie narażać i nie blokować ruchu na Morzu Bałtyckim, jest niezmiennie istotne. Tego rodzaju szkolenia powinny obejmować zagadnienia związane z identyfikacją zagrożeń, sposobem postępowania w sytuacjach kryzysowych, obsługą specjalistycznego

sprzętu, procedurami ewakuacyjnymi, a także zasadami minimalizowania wpływu operacji na środowisko morskie i bezpieczeństwo żeglugi. Dlatego konieczne jest opracowanie i wdrożenie ścisłych procedur bezpieczeństwa pracy z wykorzystaniem bezzałogowych systemów morskich, szczególnie w rejonach uznanych za niebezpieczne.

Kolejne wyzwanie to ograniczenia technologiczne związane z pracą sprzętu w trudnych warunkach panujących na Morzu Bałtyckim, takich jak wysokie ciśnienie, niska temperatura, ograniczona widoczność oraz obecność innych jednostek pływających [20–22]. Z tego powodu konieczne jest opracowanie systemu informatycznego, który będzie integrował i wspierał działanie różnych typów bezzałogowców – zarówno pojazdów podwodnych, jednostek poruszających się po powierzchni, jak i systemów powietrznych. Rozwój tego rodzaju systemów powinien zapewnić kompleksowe i uzupełniające się dane, umożliwiające bezbłędną detekcję i mapowanie oraz prowadzenie analiz środowiskowych dotyczących broni chemicznej i bojowych środków trujących znajdujących się na dnie Bałtyku.

Nie można również pominąć kwestii wysokich kosztów zakupu, utrzymania i eksploatacji zaawansowanych systemów bezzałogowych, co może stanowić barierę dla ich szerokiego zastosowania. Bałtyk jest międzynarodowym akwenem, dlatego rozwój programu monitorowania oraz partycypacja w jego kosztach powinny być rozłożone na wszystkie kraje bałtyckie. Konieczne jest wypracowanie wspólnej strategii finansowania bezzałogowych systemów morskich do monitorowania zagrożeń związanych z zatopioną bronią chemiczną.

Bardzo istotna jest również rola polskiej nauki oraz licznych ośrodków akademickich w Polsce, które monitorują i badają ekobezpieczeństwo dna Bałtyku. Odpowiednie finansowanie polskiej nauki jest kluczowe, ponieważ może znacząco przyczynić się do postępu w rozwoju systemów informatycznych, zapewniających lepszą ergonomię, wydajność i efektywność energetyczną bezzałogowców. Równie ważny jest udział biologów analizujących zmiany ekologiczne wywołane przez zatopioną na dnie Bałtyku broń chemiczną [23, 24].

Podsumowanie

Bezzałogowe systemy morskie stanowią nieocenioną potencjał rozwojowy w zakresie mapowania, monitorowania i neutralizacji zagrożeń związanych z bronią chemiczną zatopioną w Morzu Bałtyckim. Rozwój zaawansowanych technologii może znacząco poprawić bezpieczeństwo ekologiczne i zdrowotne w tym regionie. Konieczne są dalsze działania mające na celu integrację poszczególnych systemów bezzałogowych oraz usprawnienie współpracy między nimi. Wymaga to inwestycji w rozwój technologii oraz opracowania kompleksowych strategii i procedur, które umożliwią skuteczne i bezpieczne zarządzanie procesem eliminacji zagrożeń.

Piśmiennictwo

- Kosmacz M, Astel A. Analiza ryzyka związanego z zatopieniem broni chemicznej w Bałtyku w okresie II Wojny Światowej (cz. I). LAB Laboratoria, Aparatura, Badania, 2015; 20: 6–13
- Kasperek T. Broń chemiczna zatopiona w Morzu Bałtyckim. Europejskie Centrum Edukacyjne, Toruń, 1999
- Paka V, Spiridonov M. Research of dumped chemical weapons made by R/V "Professor Shtokman" in the Gotland, Bornholm and Skagerrak dump sites. In: Missiaen T, Henriot JP, eds. Chemical munition dump sites in coastal environment. Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, Federal Ministry of Social Affairs, Public Health and the Environment, Bruksela, 2002: 22–42
- Fabisiak J. Zatopiona broń chemiczna a bezpieczeństwo ekologiczne Morza Bałtyckiego. Wydawnictwo BP, Gdynia, 2019
- Makles Z, Śliwakowski M. Broń chemiczna zatopiona w polskiej strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego a bezpieczeństwo ludzi gospodarczo wykorzystujących zasoby morza. Biuletyn Informacyjny Wojskowego Instytutu Chemii i Radiometrii, 1997; t. 1, nr 27: 5–28
- Bełdowski J, Sosnowska A, Podściański A. Broń chemiczna zatopiona w Morzu Bałtyckim. Aura, 2013; 8: 19–22
- Kantolahti E. Broń chemiczna zatopiona w Morzu Bałtyckim w dokumentach i pracach Komisji Helsińskiej. In: Materiały z II sympozjum naukowego (15–16.12.1998 r.), Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia, 1999
- Kosmacz M, Astel A. Analiza ryzyka związanego z zatopieniem broni chemicznej w Bałtyku w okresie II Wojny Światowej (cz. II). LAB Laboratoria, Aparatura, Badania, 2015; 6: 6–12
- Mohsan SAH, Othman NQH, Li Y, et al. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intell Serv Robot*, 2023; 16: 109–137
- Laghari AA, Jumani AK, Laghari RA, et al. Unmanned aerial vehicles advances in object detection and communication security review. *Cognitive Robotics*, 2024; 4: 128–141. doi: 10.1016/j.cogr.2024.07.002
- Research drones cruising the North Sea; https://businessnorway.com/articles/research-drones-cruising-the-north-sea?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwmt24BhDPArlsAJFYKk2t18POj23dfla68TFm3EAgpl-OdFfEayNejXVrVNriaK7cy-69HkoaAsQjEALw_wcB (access: 10.10.2024)
- Watson S, Duecker DA, Groves K. Localisation of unmanned underwater vehicles (UUVs) in complex and confined environments: a review. *Sensors (Basel)*, 2020; 20: 6203
- Katsouras G, Dimitriou E, Karavoltos S, et al. Use of unmanned surface vehicles (USVs) in water chemistry studies. *Sensors (Basel)*, 2024; 24: 2809
- Álvarez-González M, Suarez-Bregua P, Pierce GJ, Saavedra C. Unmanned aerial vehicles (UAVs) in marine mammal research: a review of current applications and challenges. *Drones*, 2023; 7: 667
- Waldner JF, Sadhu A. A systematic literature review of unmanned underwater vehicle-based structural health monitoring technologies. *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, 2024; 3: 100112. doi: 10.1016/j.iintel.2024.100112
- Vanninen P, Östin A, Bełdowski J, et al. Exposure status of sea-dumped chemical warfare agents in the Baltic Sea. *Mar Environ Res*, 2020; 161: 105112. doi: 10.1016/j.marenvres.2020.105112
- Kale S. Developments in unmanned surface vehicles (USVs): a review. *International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences / Conference Papers*, 2023; 1: 596–600
- Andrulewicz E. Chemical weapons dumped in the Baltic Sea. Assessment of the fate and effects of toxic agents on water resources. NATO Security through Science Series. Springer, Dordrecht, 2007; 299–319
- Friman E. Transport and logistics in the baltic sea region by 2030. A Foresight Study Turku, 2019: 1–128
- Rokiciński K. Geograficzna i hydrometeorologiczna charakterystyka Morza Bałtyckiego jako obszaru prowadzenia działań asymetrycznych. *Zeszyty Naukowe AMW, XLVIII*, Gdynia, 2007: 65–82
- Wizualizacja ruchu statków na Bałtyku; <https://www.gospodarkamorska.pl/wizualizacja-ruchu-statkow-na-baltyku-v99> (access: 10.10.2024)
- Hac B, Koszałka J. Monitoring ruchu statków na obszarze morskiej farmy wiatrowej. *Bałtyk Środkowy II*, Jul 1;(3).
- https://www.iopan.gda.pl/Oceania_XXXV/wspomnienia-Marzec01.html (access: 08.08.2025)
- Fabisiak J. Udział i rola polskich organizacji i jednostek naukowych w międzynarodowych działaniach zmierzających do rozwiązania problemu zatopionej w morzach i oceanach broni chemicznej. *Logistyka*, 2014; 6: 586–596