

Mieczysław Grabowski¹, Przemysław Pozański²,
Ryszard Kłos³, Maciej Konarski⁴

Pneumatyczny system przeciwdziałania zagrożeniom terrorystycznym ze strony nurków

Wstęp

Bezprawne wtargnięcie na teren portu niepożądanych osób może zakończyć się aktem sabotażu lub atakiem terrorystycznym. Wynikiem takich działań są ofiary śmiertelne, straty o charakterze gospodarczym i ekonomicznym, degradacja środowiska naturalnego, itp. W odpowiedzi na realne zagrożenia oczywistym staje się podjęcie działań mających na celu zabezpieczenie portu przed tego typu zagrożeniami poprzez budowę niezawodnych systemów monitorowania i nadzoru rejonu nadbrzeża oraz akwenu wodnego obszaru portu, umożliwiających wykrycie, rozpoznanie i lokalizację występujących zagrożeń oraz podjęcie skutecznego przeciwdziałania w celu ich neutralizacji. Systemy monitorowania i nadzoru umożliwiają wykrycie i śledzenie obiektów naruszających chroniony obszar. Pomagają również w wypracowaniu decyzji o ogłoszeniu alarmu, ale nie posiadają środków przeznaczonych do zwalczania zagrożenia. Dlatego też zalecanym uzupełnieniem systemów detekcji są urządzenia związane z przeciwdziałaniem zagrożeniom – systemy efektorów. System efektorów przeznaczonych do zwalczania zagrożeń terrorystycznych skierowanych przeciwko bazom morskim i kotwicowiskom zakłada wykorzystanie fal akustycznych jako broni obeszładniającej (ang. Non-Lethal Weapon). Broń akustyczna jest tematem prowadzonych na świecie prac badawczych i rozwojowych. Jest ona klasyfikowana jako broń obeszładniająca pozbawiająca intruza zdolności do wykonywania jakichkolwiek działań dywersyjnych, bez konieczności trwałych uszkodzeń fizycznych ciała. Jest to szczególnie istotne w czasie pokoju. Użycie siły, której wynikiem będzie śmierć człowieka, może przysporzyć trudności natury prawnej i etycznej (opinia publiczna), prowadząc tym samym do powstawania nowych źródeł agresji a nawet konfliktów zbrojnych.

Efektory akustyczne stanowią innowację z dziedziny broni obeszładniającej, która znajduje coraz częstsze zastosowanie w operacjach wojskowych i policyjnych, jak również w przypadku ataków terrorystycznych. Wprowadzenie w tematykę pracy i rezultaty.

Broń obeszładniająca w systemach ochrony portów

Systemy monitorowania i nadzoru umożliwiają wykrycie i śledzenie obiektów naruszających chroniony obszar. Pomagają w wypracowaniu decyzji o ogłoszeniu alarmu, ale nie posiadają środków przeznaczonych do zwalczania zagrożenia. Dlatego też zalecanym uzupełnieniem systemów detekcji są środki przeciwdziałania zagrożeniom w postaci systemów broni obeszładniającej. Celem działania tego typu rozwiązań powinno być natychmiastowe uczynienie intruza niezdolnym do wykonywania jakichkolwiek działań dywersyjnych, bez konieczności trwałych uszkodzeń fizycznych jego ciała. Jest to szczególnie istotne w czasie pokoju, kiedy niepożądana śmierć człowieka, może przysporzyć trudności/kłopotów natury prawnej i etycznej (opinia publiczna). Może doprowadzić do powstawania nowych źródeł agresji a nawet wybuchu lub eskalacji konfliktów zbrojnych.

W systemach broni obeszładniającej są stosowane bardzo różnorodne technologie. Jako czynnik obeszładniający może być wykorzystana energia kinetyczna, ładunek elektryczny, substancje chemiczne, skupiona i ukierunkowana fala elektromagnetyczna oraz fale akustyczne. Ze względu na właściwości i zasadę działania systemy akustyczne wydają się być najbardziej adekwatne do zastosowań podwodnych. Przykładowo warunki propagacji w środowisku wodnym są znacznie bardziej korzystne dla fal akustycznych niż dla fal elektromagnetycznych. Środki chemiczne, wykorzystywane do obeszładniania intruza, są skuteczne głównie w powietrzu a w wodzie charakteryzuje je słaba rozpuszczalność.

Pojęcie obeszładniającej broni akustycznej jest głównie kojarzone z granatami hukowymi, jak również z wyspecjalizowanymi urządzeniami, wykorzystujących właściwości psychofizyczne organi-

¹ Mieczysław Grabowski, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej S.A.

² Przemysław Pozański, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej S.A.

³ dr hab. inż. Ryszard Kłos, Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte

⁴ Maciej Konarski, Wojskowy Instytut Medyczny

zmu człowieka na oddziaływanie fal akustycznych (np. LRAD – Long Range Acoustic Device). Bardziej wyrafinowaną technologią, szczególnie w zastosowaniach podwodnych, jest wykorzystanie źródeł silnych fal ciśnieniowych w postaci działek powietrznych. Oddziaływanie takich zaburzeń, o odpowiednio dobranych parametrach, na organizm człowieka może wywołać ból, dyskomfort, nudności, zawroty głowy czy też dezorientację, nie powodując przy tym trwałych uszkodzeń słuchu.

Oddziaływanie fal hydroakustycznych na organizm nurka

Dzięki dobrym właściwościom propagacyjnym w środowisku wodnym systemy hydroakustyczne są bardzo szeroko stosowane w aplikacjach systemów monitorowania i zobrazowania sytuacji podwodnej (monitorowanie środowiska, badanie struktur dennych, detekcja obiektów podwodnych, poszukiwanie min, łączność podwodna, itp.).

Umieszczenie przetwornika nadawczego (projektora) w pobliżu chronionego obiektu, ma kilka zalet:

- cały obszar jest chroniony przy niewielkim nakładzie sprzętowym (pojedyncze przetworniki);
- fala akustyczna oddziałuje na każdy obiekt znajdujący się w danym obszarze;
- skuteczność oddziaływania rośnie wraz ze zbliżaniem się intruza do obiektu (poziom sygnału zdecydowanie wzrasta przy zmniejszaniu odległości).

Określenie efektywności i możliwości wykorzystania fal akustycznych jako elementów NLW (ang. Non-Lethal Weapon) wymaga przeprowadzenia analizy wpływu sygnałów hydroakustycznych na organizm człowieka w zależności od ich podstawowych parametrów takich między innymi jak częstotliwość, poziom ciśnienia akustycznego, czas trwania i powtarzania impulsów. W zależności od doboru wartości tych parametrów oddziaływanie zaburzeń akustycznych determinuje zróżnicowane skutki (w materiałach anglojęzycznych pojawia się często określenie bioefekty – ang. Bioeffects). W ośrodku wodnym dodatkowym atutem jest fakt, iż impedancja akustyczna ludzkiego ciała ($1,6 \cdot 10^6$ Rayl⁵) jest bliska wartości impedancji akustycznej wody ($1,5 \cdot 10^6$ Rayl). Dla porównania impedancja akustyczna powietrza w przybliżeniu wynosi 415 Rayl (wartość impedancji dla temperatury powietrza 20°C). Wyjątek stanowią płuca, których impedancję akustyczną określa się w okolicach $0,26 \cdot 10^6$ Rayl. Ta ok. 6-cio krotna różnica wartości impedancji skutkuje akustycznym niedopasowaniem impedancyjnym pomiędzy płucami a resztą ciała. W re-

zultacie powstają znaczne odbicia sygnałów akustycznych, wykorzystywane w sonarowych systemach detekcji (np. sonary DDS).

Badania nad skutkami oddziaływania fal akustycznych na organizm człowieka prowadzą głównie ośrodki badawcze związane z Armią Stanów Zjednoczonych [11] (np. Naval Experimental Diving Laboratory, Air Force Biomedical Research Laboratory, i inne). Większość prac dotyczących oddziaływania fal typu ciśnieniowego skupia się przede wszystkim na wpływie sygnałów akustycznych na narządy słuchu.

Penetrująca z otoczenia fala akustyczna musi pokonać kilka przeszkód, nim dotrze do struktur odbiorczych w uchu wewnętrznym nurka. Zależy to od stosowanego rodzaju wyposażenia nurkowego, a ściślej, od rodzaju osłony głowy nurka (Eknes 1989; Harris 1973; Reimers i Summitt 1973; Smith 1985). Najtrudniejsze do stłumienia są fale dźwiękowe niskiej częstotliwości (Molvær i Gjestland 1981; Molvær 1988). Nurkowy skafander neoprenowy typu mokrego stanowi efektywną barierę dla dźwięków o częstotliwości powyżej 1000 Hz, a skuteczność tej protekcji wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału. Równocześnie, właściwości tłumiące neoprenu zmniejszają się wraz ze wzrostem głębokości (wzrostem ciśnienia otoczenia). Doświadczalnie stwierdzono, że zastosowanie kaptura z gumy neoprenowej o grubości 5 mm podczas ekspozycji na głębokości 3,5 msw podwyższa próg słyszalności pod wodą o 27-59 dB w przedziale częstotliwości 0,5-8 kHz (Molvær 1988; Smith 1969). Bezpośrednio pod powierzchnią nie obserwowano żadnego efektu protekcyjnego dla dźwięków o częstotliwości poniżej 500 Hz, natomiast dla częstotliwości 8 kHz próg słyszalności uległ podwyższeniu o > 65 dB (Molvær i wsp. 1989). Nie bez znaczenia jest też różnica w impedancji akustycznej pomiędzy środowiskiem wodnym i gazowym; z pomiarów wynika, że na granicy ośrodków woda/powietrze, jak to ma miejsce w przypadku wykorzystania sprzętu izolującego głowę nurka od dostępu wody (sztywne hełmy nurkowe i/lub kaptury suchych skafandrów nurkowych), stłumieniu ulega znaczna część energii fali dźwiękowej, powodując redukcję odbieranego poziomu ciśnienia akustycznego o ok. 35 dB. W przypadku niektórych standardowych hełmów sztywnych i skafandrów zmierzony wynik łączny dawał wartość redukcji bliską 80 dB dla wybranych częstotliwości (Molvær i wsp. 1989). Równocześnie, zmiana składu atmosfery gazowej wewnątrz hełmu nurkowego, jak to ma miejsce podczas oddychania przez nurka helioksem (mieszanią helowo-tlenową) w istotny sposób wpływa modyfikując na opisane wyżej efekty, co związane jest z lepszą przewodnością dźwięku w atmosferze helowej (Farmer i wsp. 1971; Thomas i wsp. 1974).

⁵ 1 Rayl = 1 kg/m²s

Warto w tym miejscu wspomnieć, że pewne działania ochronne wykazują też powszechnie stosowane aparaty nurkowe o obiegu otwartym: przepływ czynnika oddechowego zaburza percepcję dźwięków pod wodą w mechanizmie generowania hałasu o wysokim natężeniu w obrębie głowy nurka oraz poprzez wytwarzanie swoistego ekranu z pęcherzyków powietrza, uchodzących z automatu oddechowego, co zmniejsza efektywny poziom ciśnienia akustycznego, oddziałującego na nurka (US Navy Diving Manual 2008).

Fala o wysokiej wartości ciśnienia, transmitowana ze środowiska wodnego, otaczającego nurka, do przestrzeni gazowych wewnątrz organizmu (uszy, zatoki, płuca) może spowodować podwyższenie ciśnienia wewnątrz tych przestrzeni, do wywołania urazu włącznie. Najczęstszym źródłem fal o parametrach, mogących zagrozić zdrowiu nurka, są wybuchy podwodne i sonary.

Sonary o niskiej intensywności wiązki, jak np. urządzenia służące do oceny głębokości pod stępką, czy echosondy do poszukiwania ryb w toni wodnej, zwykle nie generują ciśnienia akustycznego wystarczająco wysokiego, aby stanowiło ono zagrożenie dla nurka. Dane z piśmiennictwa wskazują, że zachowanie odległości 30 m od transpondera dowolnego typu sonaru cywilnego zastosowania uważane jest za bezpieczne. Dla nurka wyposażonego w kaptur neoprenowy albo hełm nurkowy, za bezpieczny uważany jest dystans ok. 10 m (Diving Medical Advisory Committee 1981). Zagrożenie takie stanowią mogą jednak urządzenia, przeznaczone do celów militarnych, np. wykrywania okrętów podwodnych w zanurzeniu, wytwarzające pulsacyjną wiązkę o wysokiej intensywności fali ciśnienia. Z tego powodu zalecanym postępowaniem jest zawiesić wszelkie operacje nurkowe w rejonie działania transpondera sonaru o wysokiej mocy na czas jego pracy. Sonary wojskowe generują energię o poziomie wystarczająco wysokim, by mogło to być szkodliwe dla nurków (NATO SACLANTCEN Instruction No. 77-98), stąd np. British Sub-Aqua Club zaleca zrzeszonym członkom utrzymywanie podczas nurkowania dystansu min. 457 m (500 jardów) od okrętów wojennych z sonarem dużej mocy na pokładzie. Dopuszczalne limity czasu ekspozycji (PEL) przy danym poziomie ciśnienia akustycznego (SPL) w funkcji odległości od źródła sygnału, dla nurków narażonych na oddziaływanie wiązki sonarowej urządzeń do zastosowań wojskowych można znaleźć w załączniku 1A US Navy Diving Manual (tabele 1A-3 do 1A-6) (US Navy Diving Manual 2008).

Próg wrażliwości sensorycznej jest wykorzystywany jako wartość wyjściowa do obliczeń minimalnej odległości od transpondera sonaru, kiedy z powodu uwarunkowań operacyjnych konieczne jest przeprowadzenie nurkowania podczas pracy

sonaru. Próg ten, wyznaczony doświadczalnie dla nurków wyposażonych w standardowy skafander neoprenowy z kapturem wynosi ok. 175 dB (re 1 μ Pa), zaś dla nurków bez skafandra lub w skafandrze bez kaptura ok. 165 dB (re 1 μ Pa), jednakże badania doświadczalne wskazują, że do niebezpiecznych dla nurka efektów niepożądanych, a szczególnie zaburzenia (utruty) orientacji przestrzennej dochodzi zazwyczaj podczas ekspozycji znacznie przekraczających wymienione wartości progowe (ADivP-2(B) 2009; Adolfson i Berghage 1974; Molvær 1988; Montague i Strickland 1961, Parker i wsp. 1968). Równocześnie, istotne znaczenie ma w tym zakresie częstotliwość: wg Fothergilla, próg postrzegania przez nurka podwodnego dźwięku opisywanego jako „bardzo uciążliwy” zwiększa się ze 148 dB (re 1 μ Pa) w paśmie 100-500 Hz do 157 dB (re 1 μ Pa) dla pasma 500-2500 Hz (Fothergill i wsp. 2000, 2001).

Kiedy poziom ciśnienia akustycznego wzrośnie powyżej 215 dB (re 1 μ Pa), u nurka wyposażonego w skafander z kapturem może wystąpić zaburzenie pola widzenia, (prawdopodobnie zależne od bezpośredniej stymulacji kanałów półkolistych), jak również zamglenie szyby czołowej maski nurkowej wskutek rozpylenia cząsteczek wody pod dowolną postacią (np. pary wodnej) wewnątrz przestrzeni gazowej maski. Z badań, przeprowadzonych w Naval Submarine Medical Research Laboratory wynika, iż nurkowie, u których wystąpiły zaburzenia podczas prowadzonych prac badawczych zgłaszali, że chociaż były to doznania nieprzyjemne, to równocześnie w pełni tolerowalne (Harris 1973; Smith 1985, 1988). Podobnych wniosków nie da się, niestety, przenieść w stosunku do nurków nie wyposażonych w skafander z kapturem (i pływaków), gdyż w tych przypadkach patofizjologiczne następstwa oddziaływania fali dźwiękowej są obserwowane przy znacznie niższych wartościach SPL – tabela 2 (Parvin i wsp. 2001).

Jeżeli istnieje uzasadniona potrzeba poddania nurków takim warunkom ekspozycji, powinni oni zostać odpowiednio poinstruowani o możliwych efektach (objawach) i – jeśli to wykonalne – poddani ekspozycjom treningowym w ściśle kontrolowanych warunkach (Smith i wsp. 1988; US Navy Diving Manual 2008).

Ponieważ prawdopodobieństwo zaistnienia niekorzystnych z fizjologicznego punktu widzenia następstw zwiększa się zmiennie wraz ze wzrostem ciśnienia akustycznego powyżej 200 dB (przy dowolnej częstotliwości), ekspozycja nurka na SPL > 200 dB jest zabroniona, o ile nie będzie on ubrany minimum w kompletny mokry skafander nurkowy z kapturem (Smith 1985, 1988; US Navy Diving Manual 2008). Przyjmuje się, że nawet w pełni zabezpieczonego nurka (kompletny mokry

skafander z kapturem) nie powinno się poddawać ekspozycji na SPL > 215 dB (przy dowolnej częstotliwości sygnału).

W przypadku narażenia na oddziaływanie impulsów sonarowych o długim czasie trwania impulsu (powyżej 1 s) można obserwować zaburzenia działania niektórych istotnych elementów wyposażenia nurkowego, jak głębokościomierze (nieprecyzyjny odczyt), czy automaty oddechowe (tendencja do swobodnego wypływu czynnika oddechowego), co może być pośrednią przyczyną niekorzystnych następstw zdrowotnych u nurków (US Navy Diving Manual 2008).

W miarę możliwości, powinno się unikać nurkowania w sąsiedztwie sonarów niskiej częstotliwości (LFS – ang. Low Frequency Sonar). Sonar niskiej częstotliwości generuje spójny puls dźwięku o wysokiej energii, który może być szkodliwy przy wyższych poziomach mocy. Z uwagi na szerokie spektrum możliwych doznań, związanych z narażeniem na LFS, niezbędne jest poinformować nurków o prawdopodobieństwie ekspozycji i zapoznać z możliwymi efektami, które mogą usłyszeć i doświadczyć fizycznie. Spektrum możliwych objawów niepożądanych jest szerokie: od (początkowo łagodnych) zawrotów głowy, przez oszołomienie, mrowienie i parastezje skóry, uczucie wibrowania w gardle, do pełności w jamie brzusznej i nudności. Wskutek ekspozycji może również dojść do zaburzenia komunikacji głosowej, co wymusza konieczność wcześniejszego przygotowania zastępczego sposobu komunikacji nurka z powierzchnią. Zaburzenia komunikacji werbalnej w mniejszym stopniu dotyczą nurków, wyposażonych w sztywny hełm nurkowy (ADivP-2(B) 2009; Diving Medical Advisory Committee 1981; NATO SACLANTCEN Instruction No. 77-98; Parker i wsp. 1968; US Navy Diving Manual 2008).

Częstotliwości używane w sonarach ultradźwiękowych przekraczają próg słyszalności ucha ludzkiego. W przypadku tego typu sonarów podstawowym efektem niekorzystnego oddziaływania na organizm jest efekt termiczny. Ponieważ moc wiązki sonaru ultradźwiękowego ulega szybkiemu zmniejszeniu w funkcji odległości od źródła, za bezpieczny dla nurka przyjmuje się dystans minimum ~9,1 m (10 jardów) od pracującego urządzenia. Operacje nurkowe mogą być prowadzone w sąsiedztwie sonaru pod warunkiem, że nurek nie będzie pozostawał w granicach wiązki sygnału ultradźwiękowego (ADivP-2(B) 2009; Diving Medical Advisory Committee 1981; NATO SACLANTCEN Instruction No. 77-98; US

Oddziaływanie zaburzeń impulsowych na organizm nurka

Silne zakłócenia impulsowe charakteryzują się krótki czasem narastania oraz wolnym (liniowym lub nieliniowym) czasem opadania. Jest to wynikiem zjawisk zachodzących w otoczeniu źródła, np. odbicia, rewerberacje, wielodrogowość, czego rezultatem jest wydłużenie czasu opadania obwiedni impulsu. Przytoczone właściwości zaburzeń impulsowych sprawiają, że ich oddziaływanie może mieć różnorodny skutek na organizm człowieka.

Z punktu widzenia oddziaływania na organizm szczególnie istotne są takie parametry zaburzeń jak: poziom szczytowy, czas trwania, charakterystykę widmową, częstotliwość powtarzania i ilość impulsów. Oprócz narządów słuchu, zakłócenia impulsowe o wysokim poziomie ciśnienia oddziałują także na niektóre organy wewnętrzne. W trakcie prowadzonych w laboratoriach badań zauważono, że oprócz urazów w ślimakowym narządzie Corti'ego, wystąpiły także uszkodzenia w narządach przedsionka (ang. *vestibular end organs*) pomimo braku widocznych zaburzeń w pracy przedsionków. Podobne urazy obserwowano u żołnierzy używających broni palnej oraz u ofiar ataków bombowych. Kolejnym organem, wrażliwym z punktu widzenia narażeń na falę ciśnieniową/uderzeniową są płuca z górną częścią przewodu oddechowego (ang. *lung with the upper respiratory tract*). Jako znacznik niebezpiecznego poziomu ciśnienia przyjmuje się wystąpienie tzw. wybroczyn (łac. *petechiae*), czyli małych czerwonych lub fioletowych plamek, spowodowanych niewielkimi krwawieniami z uszkodzonych naczyń kapilarnych traktu oddechowego (dla ciśnienia rzędu dziesiątek kPa, ~180 dB). Przy wyższych poziomach obserwowano krwawienie nie tylko tchawicy, ale także w płucach, spotykane przy stłuczeniach. Przerwanie tkanek może prowadzić do silnego krwawienia oraz obrzęku płuc.

Kolejnym skutkiem zakłóceń impulsowych jest tzw. reakcja wstrząsu, nazywana także reakcją przestrawu (ang. *Startle Response*), czyli odpowiedź/odruch ciała i umysłu na nagły, niespodziewany bodziec. W odniesieniu do nurków, zakłócenia impulsowe mogą skutkować hiperwentylacją, zawrotami głowy, dusznościami, a także strachem przed nagłą śmiercią. Ma to szczególne znaczenie z tego względu, iż nurek znajduje się w nienaturalnym, nieprzewidywalnym i niebezpiecznym środowisku.

Wyniki tych (i podobnych) badań przyczyniły się do powstania instrukcji dla nurków Marynarki Stanów Zjednoczonych odnośnie dopuszczalnych warunków ekspozycji na oddziaływanie sonarów

okrętowych. To między innymi na ich podstawie opracowano wytyczne/instrukcje dla nurków pracujących w pobliżu systemów sonarowych. Do tego stopnia, że zostały określone dopuszczalne normy dla konkretnych typów systemów hydrolokacyjnych znajdujących się na pokładzie okrętów ustalające m. in. bezpieczny czas ich ekspozycji na sygnały sonarowe w funkcji odległości od urządzenia.

Techniki generowania fal ciśnieniowych w ośrodku morskim

W aspekcie podwodnych systemów broni obezwładniającej, kierowanej przeciwko nurkom-terrorystom, można rozważyć wykorzystanie następujących technik generowania fal typu ciśnieniowego:

- hydroakustyczne przetworniki ultradźwiękowe – problemy techniczne w przypadku pracy na niskich częstotliwościach, związane z zależnością rozmiarów elementów piezoceramicznych od pasma pracy;
- źródła impulsowe w postaci np. granatów hukowych – główną wadą jest problem z kierunkowością takiego źródła, a co za tym idzie z zapewnieniem bezpieczeństwa operatorowi oraz elementom chronionej infrastruktury;
- przetworniki pneumatyczne (powietrzne działka akustyczne) – sygnał generowany jest poprzez modulację stałego strumienia powietrza.

Metoda badań

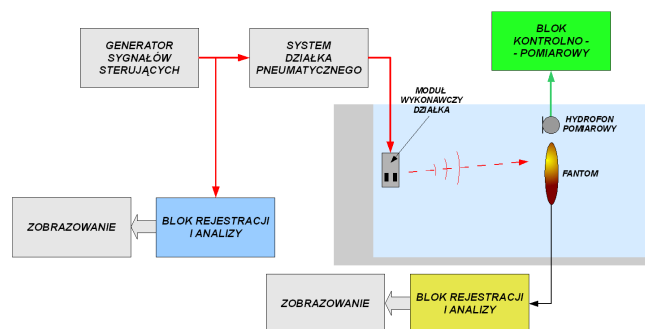
Do generowania impulsów akustycznych w środowisku wodnym zaprojektowano i zbudowano model działka akustycznego – fot. 1.



Fot. 1. Model działka akustycznego

Jest on zasilany sprężonym powietrzem (z butli) przez reduktor ciśnienia. Działko można zasilać sprężonym powietrzem o ciśnieniu do 20 MPa. Zmiana wartości ciśnienia powietrza zasilającego zmienia oczywiście wartości parametrów generowanych impulsów, przede wszystkim wartości poziomów generowanych impulsów i częstotliwość ich powtarzania. Parametry generowanych impulsów przez działko pneumatyczne można również zmieniać (regulować), zmieniając naprężenie sprężyny powrotnej działka.

Wstępne badania parametrów generowanych impulsów hydroakustycznych wykonano w warunkach laboratoryjnych. Działko pneumatyczne podłączono przez reduktor ciśnienia do zbiornika ze sprężonym powietrzem. Pierwsze próby wykonano zasilając działko powietrzem o ciśnieniu 1,0 MPa. Zbiornik zasilający był napompowany do ciśnienia 20 MPa, które reduktor obniżał do w/w wartości roboczej. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1

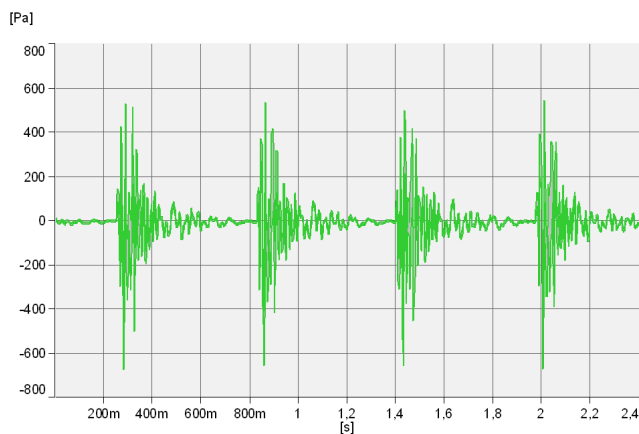


Rys. 1. Schemat stanowiska do pomiarów parametrów impulsów generowanych przez działko akustyczne.

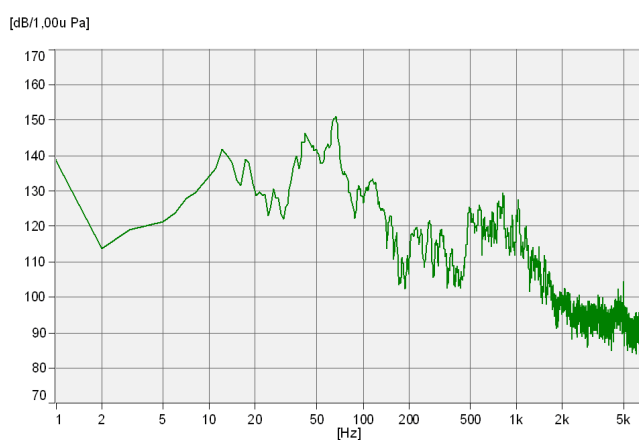
Działko pneumatyczne umieszczono na stojaku w basenie pomiarowym, a w odległości 1,2 m od działka ustawiono hydrofon pomiarowy prod. Bruel & Kjaer typu 8105. Hydrofon odbierał generowane impulsy i podawał je na wejście systemu rejestracji i analizy sygnałów PULSE. Równolegle generowane sygnały hydroakustyczne były monitorowane za pomocą oscyloskopu cyfrowego Tektronix typu DPO4034. Przykładowe przebiegi czasowe zarejestrowanych sygnałów i ich analizy widmowe przedstawiono na rys. 2 i 3.

Zmierzone wartości parametrów generowanych impulsów hydroakustycznych były następujące:

- czas powtarzania impulsów 700 ms;
- poziom liniowy impulsu ok. 174 dB re 1 μ Pa at 1m;
- czas narastania impulsu 30 ms;
- czas trwania impulsu 250 ms;



Rys. 2. Przebiegi czasowe impulsów hydroakustycznych wygenerowanych przez działko akustyczne.



Rys. 3. Widmo impulsu hydroakustycznego wygenerowanego przez działko akustyczne.

Przy zastosowanym ciśnieniu roboczym sprężonego powietrza 1,0 MPa wygenerowano impulsy hydroakustyczne o wartości poziomu ciśnienia ok. 174 dB re 1 μ Pa at 1 m. Poziom ten jest zbyt niski dla obezwładnienia nurka w odległości ok. 10 m. Wymusza to konieczność podniesienia wartości ciśnienia sprężonego powietrza. Wykonano pierwsze próby działka akustycznego w basenie pomiarowym, zasilanego ciśnieniem 7,0 MPa, jednak ze względu na wysoki poziom ciśnienia generowanych impulsów oraz małą objętość basenu zainstalowanie hydrofonu pomiarowego zagrażało jego uszkodzeniem. W tym przypadku nie było możliwe wykonanie pomiarów. Dalsze badania urządzenia będą prowadzone na poligonie morskim, gdzie działko będzie zasilane sprężonym powietrzem o ciśnieniu roboczym do 20 MPa.

Z wykonanych analiz zarejestrowanych impulsów hydroakustycznych wynika, że prądkie o najwyższym poziomie ciśnienia generowane przez działko są w zakresie niskich wartości częstotliwości (do ok. 80 Hz). W środowisku wodnym zaburzenia w niskim zakresie częstotliwości bardzo dobrze

się propagują i jednocześnie są szczególnie skuteczne do obezwładniania nurków. Rokuje to opracowanemu działku akustycznemu duże szanse na skuteczne zwalczanie zagrożeń z ich strony. Badane działko generowało impulsy hydroakustyczne z częstotliwością ok. 1,5 Hz.

Podsumowanie

Wykonane badania działka akustycznego potwierdziły potencjalną jego przydatność do zwalczania zagrożeń terrorystycznych ze strony nurków. Generowane przez nie impulsy hydroakustyczne charakteryzują się dominującymi składowymi w niskim zakresie częstotliwości, które dobrze propagują się w akwenach wodnych oraz skutecznie oddziałują obezwładniająco na organizm człowieka. Dalsze prace nad działkiem akustycznym będą ukierunkowane przede wszystkim na podniesienie wartości poziomów generowanych impulsów tak, żeby skuteczny zasięg obezwładniania nurków był nie mniejszy niż 50 – 80 m. Zamierza się to osiągnąć przede wszystkim przez podwyższenie wartości ciśnienia sprężonego powietrza zasilającego działko. Kolejnym zadaniem będzie optymalizowanie układu sterowania częstotliwością generowanych impulsów przez działko. Badania będą prowadzone na fantomie nurka, w którym będą rozmieszczone sensory do pomiaru parametrów padającej fali ciśnieniowej.

Streszczenie

Zagadnienia zapewnienia bezpieczeństwa terenów portowych, przybrzeżnych instalacji i urządzeń oraz cumujących na danym akwenu jednostek są coraz bardziej krytyczne. W wyniku ataków terrorystycznych giną ludzie oraz powstają ogromne straty materialne. Z tego względu wszystkie newralgiczne obiekty, które mogą być potencjalnymi celami zagrożeń terrorystycznych powinny być wyposażone w systemy obserwacji, alarmowania oraz przeciwdziałania atakom terrorystycznym. Zadania obrony takich obiektów przed intruzami szczególnie w czasie pokoju wymagają bardzo rozważnych działań. Preferowane są systemy obezwładniające typu Non-Lethal Weapon. W artykule przedstawiono wyniki prac własnych nad działkiem akustycznym (Air Gun) przeznaczonym do obezwładniania nurków.

Abstract

The security matters of port areas, coastal installations and mooring vessels are becoming increasingly critical. Results of terrorist activities are fatalities or an economic and material loss. There-

fore, all critical objects that may be potential target of terrorist threats should be equipped with monitoring, alert and prevention systems. The defense tasks against intruders require very prudent action, especially at the time of peace. Therefore incapacitating-type (non-lethal weapon) systems are preferred. This paper presents the results of the development work on an acoustic gun (Air Gun) designed to incapacitate intruders' divers.

Literatura

1. ADivP-2(B). *Allied guide to diving medical disorders*. Military Agency for Standardization (MAS), NATO 2009
2. Adolfson JA, Berghage T: *Spatial orientation under water. Communication under water*. W: Adolfson JA, Berghage T, eds. Perception and performance under water. John Wiley & Sons, New York 1974
3. Diving Medical Advisory Committee Publication D135: *Recommendations. The effect of sonar transmission on commercial diving activities*. London 1981
4. Eknes E: *Noise inside a Superlite 17 diving helmet from seismic air guns and a water jet*. NUTEC Report No. 19-89, Bergen 1989
5. Farmer JC Jr, Thomas WG, Preslar M: *Human auditory responses during hyperbaric helium-oxygen exposure*. Surg. Forum 1971; 22: 456-458
6. Fothergill DM, Waltz MD, Forsythe SE: *Diver aversion to low frequency underwater sound phase II: 600 - 2500 Hz*. Undersea Hyperb. Med. 2000; 27 (suppl): 18
7. Fothergill DM, Sims JR, Curley MD: *Recreational SCUBA divers' aversion to low frequency underwater sound*. Undersea Hyperb. Med. 2001; 28: 9-18
8. Harris JD: *The ear and hearing in the aquatic and dysbaric environment*. USN Submarine Medical Research Laboratory Report No. 746, Groton 1973
9. Krebs W: *Hearing under water*. Undersea J. 1985; 4: 60-62
10. Kryter KD: *The effects of noise on man*. Academic Press, New York 1985
11. Lewer, N., Davison, N., *Non-lethal technologies – an overview*, Science, Technology and the CBW Regimes, Nr. 1, 2005.
12. Miller JD: *Effects of noise on people*. J. Acoust. Soc. Am. 1974; 56: 729-764
13. Molvær OI: *Effects of diving on the human cochleovestibular system*. Doctoral thesis. University of Bergen, Norway 1988
14. Molvær OI, Gjestland T: *Hearing damage risk to divers operating noisy tools under water*. Scand. J. Environ. Health 1981; 7: 263-270
15. Molvær OI, Eknes E, Sundland H: *Tiltak mot støyeksponeering av dykkarar*. Del 2. Støydemping I hetter og hjelm. NUTEC-rapport 10-89, Bergen 1989
16. Montague WE, Strickland JE: *Sensitivity of the water-immersed ear to high- and low-level tones*. J. Acoust. Soc. Am. 1961; 33: 1376-1381
17. NATO instructions: *SACLANTCEN Staff Instruction No. 77-98*, M-133, Section 4. NATO 1998
18. *Non-Lethal Swimmer Neutralization Study*, Applied Research Laboratories, The University of Texas at Austin, San Diego, 2002.
19. Parker DE, von Gierke HE, Reschke MA: *Studies of acoustical stimulation of the vestibular system*. Aerospace Med. 1968; 39: 1321-1325
20. Parvin SJ, Searle SL, Gilbert MJ: *Exposure of dives to underwater sound in the frequency range from 800 to 2250 Hz*. Undersea Hyperb. Med. 2001; 28 (suppl): p 44
21. Reimers SD, Summitt JK: *Sound level testing of the Standard USN Mk V Air and Helium-Oxygen diving helmets*. USN Experimental Diving Unit Report 4-73, Washington DC 1973
22. Smith PF: *Underwater hearing in man. I: Sensitivity*. USN Submarine Medical Center Report No. 569, Groton 1969
23. Smith PF: *Toward a standard for hearing conservation for underwater and hyperbaric environments*. J. Auditory Res. 1985; 25: 221-238
24. Smith PF: *Effects of exposure to intense tones in water while wearing wet-suit hoods*. USN Submarine Medical Center Research Laboratory Report No. 1120, Groton 1988
25. Smith PF, Wojtowicz J, Carpenter S: *Temporary auditory-threshold shifts induced by repeated ten-minute exposures to continuous tones in water*. USN Submarine Medical Center Research Laboratory Report No. 1122, Groton 1988
26. Thomas WG, Summitt J, Farmer JC Jr: *Human auditory thresholds during deep saturation helium oxygen dives*. J. Acoust. Am. 1974; 55(4): 810-813
27. US Navy Diving Manual (Rev. 6): *Safe diving distances from transmitting sonar (Appendix 1A)*. Naval Sea Systems Command, Washington DC 2008
28. Vinkour, R., *Acoustic Noise as a Non-Lethal Weapon*, „Sound and Vibration”, Październik 2004, str. 19 – 23.
29. WHO: *Environmental health criteria 22*. Geneva 1982
30. Wright HC, Davidson WM, Silvester HG: *The effects of underwater explosions on shallow divers submerged in 100 feet of water*. Royal Navy Physiological Laboratory report RNP 50/639, ... 1950