

## DALMIERZE LASEROWE – ASPEKTY ZASTOSOWANIA W MARYNARCE WOJENNEJ

*W artykule zaprezentowano zagadnienia dotyczące zastosowania laserowej techniki dalmierczej w Marynarce Wojennej. Przedstawiony został stan obecny w dziedzinie rodzajów systemów i urządzeń laserowych montowanych na pokładach okrętów. Szczególną uwagę zwrócono na bezpieczeństwo posługiwania się tymi urządzeniami i wynikające stąd tendencje aplikacyjne. Ze względu na coraz bardziej powszechne stosowanie techniki laserowej do określania odległości, opracowanie zawiera również treści dotyczące dalszych możliwości wykorzystania promieniowania laserowego na potrzeby Marynarki Wojennej, tj. do poszukiwania i określania położenia obiektów podwodnych. Scharakteryzowano przy tym czynniki wpływające na możliwość poszukiwania obiektów podwodnych.*

### 1. Wstęp

Dalmierz laserowy jest urządzeniem służącym do pomiaru odległości i reprezentuje pierwsze i jedno z najważniejszych zastosowań praktycznych techniki laserowej. Świadczy o tym fakt, że pierwszy dalmierz powstał w niecałe pół roku po uruchomieniu pierwszego lasera przez Maimana w 1959 roku [1].

Od tego czasu dalmierze laserowe uległy daleko posuniętej ewolucji. Urządzenia tego typu dawno już straciły znaczenie jako samodzielnie funkcjonujące, a dzięki postępowi technologicznemu powodującemu przede wszystkim miniaturyzację i zmniejszenie wagi, współczesne dalmierze samodzielne oferowane są tylko w postaci lornetowej, a i to najczęściej integrowane z dodatkowymi systemami, takimi jak GPS, goniometr, wzmacniacz obrazu czy kamera termowizyjna. Produkowana jest natomiast cała gama dalmierzy w postaci modułów, które włączane są do znacznie większych systemów, realizujących szerokie spektrum zadań. W tej postaci rolą dalmierza laserowego jest przede wszystkim wspomagać klasyczne systemy radarowe czy systemy zobrazowania telewizyjnego bądź termalnego, poprzez precyzyjne i realizowane z dużą szybkością pomiary odległości do celu. Wynika stąd zastosowanie dalmierzy laserowych w systemach obserwacji, wykrywania, śledzenia, naprowadzania czy wskazywania celów. Należy tu jeszcze wspomnieć o systemach oświetlania celów dla naprowadzanych laserowo bomb czy rakiet.

Na przestrzeni lat, samo znaczenie terminu technika dalmiercza uległo znacznemu przeobrażeniu. Początkowo pod hasłem dalmierz laserowy kryło się urządzenie z detekcją bezpośrednią, którego istotą działania było wysłanie impulsu laserowego i jego odbiór, oraz pomiar czasu przelotu tego impulsu do celu i z

powrotem. Współcześnie termin technika dalmiercza znacznie się poszerzył i oprócz klasycznych dalmierzy laserowych z odbiorem bezpośrednim, obejmuje także zaawansowane systemy typu LIDAR (Light Detection and Ranging), LADAR (Laser Detection and Ranging), DIAL (Differential Absorption Lidar) czy Doppler. Wszystkie te techniki są w istocie technikami pomiaru odległości, różnią się tylko sposobem detekcji i obróbki sygnału echa. Coraz powszechniej wykorzystuje się detekcję koherentną (zwaną także heterodynową) lub statystyczną (tzw. odbiór podszumowy), w której sygnał poniżej poziomu szumów wyłania się z tła drogą uśredniania [2].

Współczesne pole walki charakteryzuje się dużą dynamiką, stąd niezbędna, a w zasadzie warunkiem koniecznym przetrwania, jest szybka reakcja na pojawiające się zagrożenie. Sytuację tę najlepiej obrazuje sentencja: „hit the enemy at extreme range before they can react” [3]. Stąd, a także z zalet, takich jak bezkontaktowość, pomiar w czasie rzeczywistym, duża dokładność i precyzja lokalizacji celu, wynika duża atrakcyjność laserowych technik dalmierczych w zastosowaniach militarnych. Pozwala ona na szybkie i dokładne określenie parametrów celu, a niejednokrotnie i jego wykrycie, gdy klasyczne metody radarowe czy zobrazowania w paśmie widzialnym bądź w podczerwieni zawodzą. Dlatego też ilość laserowych środków dalmierczych stosowanych w wojskach stale się powiększa.

Rodzi to jednak pewne zagrożenia. Wykorzystywane dotąd w nadajnikach lasery emitowały promieniowanie, które ze względu na docieranie do siatkówki, nie było bezpieczne dla oczu. Wprawdzie w czasie wojny nie ma to większego znaczenia, jednak w okresie pokoju, szczególnie podczas manewrów poligonowych, może grozić uszkodzeniem oczu ćwiczących żołnierzy. Zagadnienia bezpieczeństwa posługiwania się urządzeniami laserowymi stały się bardzo istotne i znalazły odzwierciedlenie zarówno w normach wojskowych, natowska STANAG 3606 czy amerykańska TB MED 524, jak i cywilnych, amerykańskiej ANSI Z136.1 czy międzynarodowej IEC 60825.1. Wymogi tej ostatniej zostały zaadoptowane przez Europejską Organizację Standaryzacji w postaci normy EC 60825.1, która tłumaczona na poszczególne języki, obowiązuje we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej w formie norm krajowych. W Polsce, przykładowo, obowiązującą od 2000 roku normą jest PN-EN 60825-1 „Bezpieczeństwo urządzeń laserowych. Klasyfikacja sprzętu, wymagania i przewodnik użytkownika”. Stosownie do wymogów zawartych w wyżej wymienionych normach, za całkowicie bezpieczne dla oczu uznaje się promieniowanie z zakresu spektralnego w okolicach 1.5  $\mu\text{m}$ , którego energia w impulsie nie przekracza wartości 8 mJ.

Biorąc powyższe pod uwagę, jasne się staje, że oferowane współcześnie laserowe systemy dalmiercze są prawie wyłącznie typu „bezpiecznego dla oka”, tzn. lasery wykorzystywane w ich nadajnikach emitują promieniowanie o długości fali około 1.5  $\mu\text{m}$ . Zaobserwować można także tendencję do modernizacji już istniejących i wykorzystywanych systemów, polegającą na zastępowaniu starych typów laserów na nowe – „bezpieczne dla oka”.

## **2. Technika dalmiercza w Marynarce Wojennej**

Współczesne działania wojenne na morzu, podobnie jak operacje lądowe, charakteryzują się dużą dynamiką. Atak może nadejść z każdego kierunku i salwami. Głównym zagrożeniem dla okrętów bojowych oraz statków pomocniczych i handlowych są środki napadu powietrznego – samoloty i rakiety. Najnowsze generacje pocisków mogą szybko poruszać się tuż nad powierzchnią wody, w

zanurzeniu lub w powietrzu z prędkościami pod- i naddźwiękowymi. Często budowane są w technologii „stealth”, czyniącą ich niewidzialnymi dla systemów radarowych, a w wielu przypadkach charakteryzują się dużymi zdolnościami manewrowymi. Podstawowym warunkiem skutecznej obrony staje się zatem odpowiednio wczesne wykrycie celu i jego szybkie zniszczenie. Wiąże się z tym konieczność automatyzacji systemów obronnych okrętów, oraz wyposażanie ich w nowe, optoelektroniczne środki wykrywania, rozpoznania i śledzenia, które potrafią przezwyciężyć wady klasycznych systemów mikrofalowych.

Urządzenia laserowe pracujące w systemach wykorzystywanych w warunkach morskich charakteryzują się pewną odrębnością wobec podobnych urządzeń wykorzystywanych w wojskach lądowych czy w lotnictwie. Ze względu na specyfikę morskiego pola walki, systemy laserowe wykorzystywane na okrętach nawodnych, w stosunku do swego odpowiednika lądowego, muszą spełniać dodatkowe wymagania, takie jak stabilizowane pole widzenia, bryzgoszczelność, odporność na drgania, wytrzymałość na zmienne i zróżnicowane warunki hydrometeorologiczne, itp. Dlatego ilość oferowanych modułów i systemów do zastosowań morskich jest ograniczona. Wyróżnić tu możemy najprostsze rozwiązania konstrukcyjne w postaci lornetek, bardziej złożone moduły do integracji z pełnymi systemami lub głowicami optoelektronicznymi, oraz zaawansowane systemy kierowania ogniem, systemy obserwacji i śledzenia, czy też najnowocześniejsze systemy detekcji min lub skażeń typu LIDAR, DIAL czy LADAR. Laserowe urządzenia dalmiercze pracujące obecnie w takich systemach umożliwiają:

- pomiar odległości do jednostek pływających (własnych lub przeciwnika) idących w szyku lub oddalonych;
- pomiar do wyznaczonych dozorów w celu ścisłego określenia pozycji okrętu;
- pomiar do linii brzegowej (dla potrzeb desantu morskiego);
- pomiar do obiektów nabrzeżnych (dla potrzeb nawigacji lub prowadzenia ognia);
- pomiar do celów powietrznych (na różnych pułapach, wysokości i poruszających się z różną prędkością);
- pomiar do rozbryzgów wody powstałych od upadku pocisków artylerii własnej (korygowanie ognia) lub rozbryzgów wskazujących miejsca zrzutu min przeciwnika;
- pomiary toru lotu pocisków (własnych lub wroga);
- pomiar do dna – pomiar głębokości lub zanurzenia.

Generalnie, ze względu na miejsce zamontowania, w morskich zastosowaniach laserowych urządzeń dalmierczych wyróżnić można dwie grupy. W pierwszej mamy do czynienia z systemami pokładowymi samolotów lub śmigłowców bazujących na lotniskowcach, niszczycielach, fregatach i innych typach okrętów. Druga grupa dotyczy systemów bezpośrednio montowanych na pokładach jednostek pływających. Wyłonić tu można trzeci kierunek zastosowań związany z okrętami podwodnymi, a dotyczący konsolidacji systemów peryskopowych i masztowych z urządzeniami optoelektronicznymi. Przykładem może być osiągnięcie firmy Kollmorgen Corp., która opracowała nie penetrujący kadłuba system masztowy zastępujący peryskop łączący w sobie kamerę termowizyjną (pracującą w zakresie 3-5  $\mu\text{m}$ ), monochromatyczną kamerę telewizyjną o dużej rozdzielczości i „bezpieczny dla oka” dalmierz laserowy o zasięgu 9 km. Konstrukcja mechaniki i precyzja wykonania pozwoliły osiągnąć bardzo dobrą stabilizację pola widzenia na poziomie 35  $\mu\text{rad}$ . Całość, dzięki przyjaznemu interfejsowi, jest łatwo sprzęgana z pozostałymi systemami pokładowymi okrętu. Najprostszą grupą urządzeń optoelektronicznych stosowanych w marynarce są ręczne dalmierze lornetowe, które dzięki niewielkim rozmiarom,

małej wadze i zasilaniu bateryjnym, pozwalają na obserwację i precyzyjne określenie odległości do wykrytego celu przez pojedynczych obserwatorów. Spotykane tu są wersje najprostsze, wyposażone tylko w dalmierz laserowy (HALEM 2 firmy Carl Zeiss), oraz bardziej złożone, sprzężone dodatkowo z wzmacniaczami obrazu lub kamerami termowizyjnymi, umożliwiającymi efektywne wykorzystywanie nocą (SOPHIE LASER firmy Thales Optronique). Często dalmierze takie montowane są na goniometrach i integrowane z systemami GPS, zwiększającymi dokładność lokalizacji celu.

Wiele firm oferuje kompletne dalmierze laserowe w postaci modułowej, z przeznaczeniem do ich montażu w głowicach optoelektronicznych lub złożonych systemach różnego przeznaczenia z różnorodnymi interfejsami. W zależności od docelowego przeznaczenia, z oferowanych modeli wybrać można moduł o odpowiednim zasięgu, częstotliwości pracy, różnych gabarytach i wadze (UAL 11684X i UAL 11688X firmy SAAB, Vista 20 i Vista 50 firmy Lite Cycles, Incorp., LM40 i LP-16 firmy Eloptro, MOLEM i 6Hz MOLEM firmy Carl Zeiss). Przykładowo, moduł UAL 11688X wykorzystany został w systemie obserwacji i śledzenia celów MIRADOR firmy Thales. Spotykane są także rozwiązania modułowe pełnych systemów kierowania ogniem, jak np. EFCS firmy Fire Control Systems Pty Ltd. Podstawowe charakterystyki wybranych laserowych dalmierzy lornetkowych i modułowych zaprezentowano w tabeli nr 1.

Tab. 1. Wybrane parametry laserowych dalmierzy lornetkowych i modułowych:  
 $E_i$  – energia impulsu,  $\tau_i$  – czas trwania impulsu,  $\theta$  – kąt rozbieżności wiązki laserowej,  
 $f$  – częstotliwość repetycji impulsów

Typ urządzenia	Typ lasera	Parametry lasera	Zasięg [m]	Wymiary [mm]	Waga [kg]
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
HALEM 2 (Niemcy)	Nd:YAG + komórka Ramana	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $E_i = 10 \text{ mJ}$ $\tau_i = 5 \text{ ns}$ $\theta = 0.8 \text{ mrad}$ $f = 0.5 \text{ Hz}$	50 - 39995	210 × 180 × 85	2.5
SOPHIE LASER (Francja)		$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$	10000	350 × 250 × 110	3
UAL 11684X (Szwecja)	Nd:YAG + OPO	$\lambda = 1.57 \mu\text{m}$ $E_i = 30 \text{ mJ}$ $\theta = 1-3 \text{ mrad}$ $f = 25 \text{ Hz}$	200 - 20000	480 × 312 × 160	16
UAL 11688X (Szwecja)	Nd:YAG + OPO	$\lambda = 1.57 \mu\text{m}$ $E_i = 8 \text{ mJ}$ $\theta = 0.6-2 \text{ mrad}$ $f = 8 \text{ Hz}$	200 - 20000	295 × 131 × 141	4.8
LM40 (RPA)	Nd:YAG + OPO	$\lambda = 1.57 \mu\text{m}$ $f = 3 \text{ Hz}$	300 - 19995		2
LP-16 (RPA)	Er:szkło	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $f = 1/3 \text{ Hz}$	80 - 20500	122 × 110 × 70	1
MOLEM (Niemcy)	Nd:YAG + komórka Ramana	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $f = 1 \text{ Hz}$	50 - 39995		

Tab. 1. c.d.

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
6Hz MOLEM (Niemcy)	Nd:YAG + komórka Ramana	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $f = 6 \text{ Hz}$	50 - 39995	230 × 125 × 872	3.8
Vista 20 (USA)	Nd:YAG + OPO	$\lambda = 1.57 \mu\text{m}$ $E_i = 10 \text{ mJ}$ $\theta = 0.7 \text{ mrad}$ $f = 0-10 \text{ Hz}$	50 - 20000	120 × 100 × 65	
Vista 50 (USA)	Nd:YAG + OPO	$\lambda = 1.57 \mu\text{m}$ $E_i = 10 \text{ mJ}$ $\tau_i = 5 \text{ ns}$ $\theta = 1 \text{ mrad}$ $f = 10 \text{ Hz}$	10 - 30000		
EFCS (Australia)		$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $E_i = 8 \text{ mJ}$ $\tau_i = 30 \text{ ns}$ $\theta = 1 \text{ mrad}$ $f = 0.5 \text{ Hz}$	5000	316 × 235 × 167	12

W oparciu o dostępne moduły, oferowane są bardziej skomplikowane systemy w postaci głowic optoelektronicznych, wykorzystywanych na pokładach okrętów do automatycznej obserwacji oraz wykrywania i śledzenia celu (TISS II firmy DRS Technologies, EOSS firmy GEM Ellectronika, Sea Star SAFIRE firmy FLIR Systems), a niekiedy równocześnie jako autonomiczne systemy kierowania ogniem (MIRADOR firmy Thales, MK46 firmy Kollmorgen Corp. zainstalowany na wszystkich niszczycielach amerykańskich klasy Raleigh Burke i krążowniku USS Yorktown). Głowice takie, oprócz dalmierza laserowego, wyposażane są w kamery telewizyjne o dużej rozdzielczości i kamery termowizyjne pracujące w zakresie średniej podczerwieni. Ich budowa, gabaryty i waga pozwalają na montaż na jednostkach pływających praktycznie dowolnej wielkości i łatwą integrację z pozostałymi systemami pokładowymi. Spotykane są także wyspecjalizowane wersje, montowane i scalane z platformami szybkostrzelnych, małokalibrowych działek (MLG 25 firmy Oerlikon Contraves AG, MK38 firmy Kollmorgen Corp., MLG 27 firmy Carl Zeiss). Uzyskiwane są w ten sposób autonomiczne stanowiska ogniowe, mogące szybko i niezależnie reagować na pojawiające się zagrożenia.

Wybrane parametry techniczne przykładowych głowic optoelektronicznych przedstawione zostały w tabeli nr 2.

Laserowe moduły dalmiercze integrowane są również systemach kierowania ogniem uzbrojenia pokładowego. Praktycznie każdy nowoczesny system tego typu wyposażony jest w dalmierz laserowy, który dzięki szybkości i precyzji pomiarów odległości, skutecznie wspomaga systemy radarowe. Przykładowo, wielozadaniowy i wysoce zautomatyzowany system STING EO firmy Thales jest złożony z radarowego podsystemu kierowania ogniem i optoelektronicznego podsystemem śledzenia (EO), wyposażonego w dalmierz laserowy typu „bezpiecznego dla oka”, kamerę TV i kamerę termalną. System ten zaprojektowany został z myślą o obecnych i przyszłych zagrożeniach z powietrza i powierzchni wody. W procesie wypracowywania niezbędnych danych dla artylerii okrętowej wykorzystywane są zaawansowane techniki obróbki odbieranych sygnałów, takie jak optymalna filtracja i wielokanałowa FFT. Wchodzący w skład systemu radar z dwoma nadajnikami, pracującymi w

paśmie I i paśmie K, pozwala wykryć i automatycznie śledzić dowolnie małe i szybko poruszające się cele. Z kolei automatyczny wybór pasma zapewnia maksymalną dokładność śledzenia, wspomaganego dodatkowo przez kamery TV/IR i dalmierz laserowy. STING EO realizuje również przeszukiwanie sektorów z automatycznym wykrywaniem celów, wykrywanie odpaleń rakiet i pomiary położenia pocisków podczas ognia artyleryjskiego.

Podobnie, System Kierowania Ogniem firmy Oerlikon Contraves AG, składający się z modułów śledzących TMX/EO i TMEO oraz modułu sterowania WCM artylerią pokładową o kalibrach od 25 mm do 127 mm, wyposażony jest w dalmierz laserowy. Chociaż zoptymalizowany został do obrony przeciwlotniczej, to doskonale spisuje się z celami nawodnymi i lądowymi.

Wchodzący w skład systemu moduł śledzący TMX/EO zawiera radar pracujący w paśmie X oraz czujniki optoelektroniczne w postaci kamery TV, kamery termowizyjnej (3-5  $\mu\text{m}$ ) oraz „bezpiecznego dla oka” dalmierza laserowego (długość fali 1.54  $\mu\text{m}$ , częstotliwość repetycji 12 Hz). Rolą tego ostatniego jest zapewnienie dużej dokładności pomiarów odległości do celów latających i pływających. Z kolei stabilizowany, optoelektroniczny moduł śledzący TMEO z kamerą TV, kamerą termalną (3-5  $\mu\text{m}$  lub 8-12  $\mu\text{m}$ ) i dalmierzem laserowym (długość fali 1.54  $\mu\text{m}$ , częstotliwość repetycji 12 Hz), służy do pasywnej obserwacji i śledzenia celów powietrznych, nawodnych i naziemnych.

Tab. 2. Charakterystyka wybranych głowic optoelektronicznych:  $E_i$  – energia impulsu,  $\tau_i$  – czas trwania impulsu,  $\theta$  – kąt rozbieżności wiązki laserowej,  $f$  – częstotliwość repetycji impulsów

Model	Typ lasera	Parametry lasera	Zasięg [m]	Inne urządzenia optoelektroniczne
-1-	-2-	-3-	-4-	
TISS II (USA)	Nd:YAG + komórka Ramana	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $E_i = 7.8 \text{ mJ}$ $\theta = 0.8 \text{ mrad}$ $f = 1 \text{ Hz}$	20000	– szerokokątna kamera TV – wąskokątna kamera TV – FLIR (3-5 $\mu\text{m}$ )
Sea Star SAFIRE (USA)	Er:szkło	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $\theta = 1 \text{ mrad}$	10000	– kamera termowizyjna (3-5 $\mu\text{m}$ ) – kamera CCD
MIRADOR (Francja)	Nd:YAG + komórka Ramana	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $E_i = 8 \text{ mJ}$ $\theta = 1.4 \text{ mrad}$ $f = 3 \text{ Hz}$	20000	– kolorowa kamera TV – monochromatyczna kamera TV – kamera termowizyjna (3-5 $\mu\text{m}$ )
MK46 (USA)	Nd:YAG + OPO	$\lambda = 1.57 \mu\text{m}$ $f = 1 \text{ Hz}$	40 - 40000	– kamera termowizyjna (3-5 $\mu\text{m}$ ) – kamera TV
MLG 25 (Szwajcaria)	Er:szkło	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $f = 1 \text{ Hz}$	50 - 20000	– kamera termowizyjna (3-5 $\mu\text{m}$ ) – kamera CCD
MLG 27 (Niemcy)	Nd:YAG + komórka Ramana	$\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ $f = 6 \text{ Hz}$	50 - 40000	– kamera termowizyjna OPHELIOS (3-5 $\mu\text{m}$ ) – kamera TV (zoom)

Omówione dotąd laserowe systemy i urządzenia dalmiercze stanowią grupę, która umieszczona jest tylko na jednostkach pływających. W przypadku działań morskich, inaczej niż na lądzie, dochodzi dodatkowy wymiar, związany z możliwością ataku z pod powierzchni wody.

W ostatnich latach zaobserwować można duże zainteresowanie wykorzystaniem lasera nie tylko do określania odległości do obiektów znajdujących się na wodzie czy w powietrzu, w znacznej odległości od okrętu, ale także wykorzystanie wiązki lasera do penetracji środowiska wodnego. Wszystkie współcześnie działające tu systemy mogą posiadać różne przeznaczenie. Obecnie znane są systemy laserowe, które służą do pomiarów głębokości badanych akwenów i do odwzorowania dna, uzyskując tym samym dane niezbędne do tworzenia podwodnych map terenu. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne wtedy, gdy nosicielem jest statek powietrzny (samolot, helikopter), pozwalający w bardzo krótkim czasie zrealizować penetrację dość dużych obszarów z zaangażowaniem niewielkich środków. Wiodącym zastosowaniem tej techniki są pomiary batymetryczne, głównie w miejscach typu podejścia do portów, gdzie na skutek sztormów lub oddziaływań prądów morskich ulegać mogą znacznym zmianom głębokości i ukształtowania dna.

Systemy laserowe służyć również mogą do wykrywania obiektów podwodnych. W tym przypadku konieczne jest zastosowanie lasera emitującego promieniowanie o odpowiedniej długości fali. Własności transmisyjne wody są silnie zróżnicowane i w dużej mierze zależą pośrednio od szerokości i długości geograficznej [4]. Dlatego w nadajnikach dalmierzy, w zależności od strefy stosowania, koniecznym się staje stosowanie różnych typów laserów, generujących promieniowanie o długości fali w zakresie widmowym od 450 nm (niebieskiego) do 650 nm (pomarańczowego). W akwenu południowego Bałtyku najczęściej stosowanym w laserowych systemach dalmierczych jest laser Nd:YAG z przetwarzaniem na drugą harmoniczną (zielone promieniowanie o długości fali 532 nm). Wiąże się z tym konieczność zmian niektórych podzespołów dalmierza, przy zachowaniu ogólnej idei pomiaru odległości do celu podwodnego. Elementem ulegającym całkowitej zmianie jest układ nadawczo – odbiorczy, a przede wszystkim optyka, która być dopasowana widmowo.

W chwili obecnej dostępne są już systemy laserowe, które służą do pomiarów głębokości badanych akwenów wodnych i odwzorowania dna - uzyskując dane niezbędne do tworzenia podwodnych map terenu, jak również służące do wykrywania obiektów podwodnych. Niektóre z nich, choć wyszły z fazy prób, wciąż są modernizowane, ulepszane i wyposażane w nowsze programy obróbki danych i ich archiwizacji. Do najważniejszych, obecnie pracujących, zaliczyć można [5]:

- a) systemy pomiarów batymetrycznych: LADS MK I, LADS Mk II, Larsen;
- b) systemy wykrywania min: Hawk–Eye, SHOALS, Magic Lantern, ALMDS (Airborne Laser Mine-Detection System), LLSS (Laser Line Scan System), RAMICS (Rapid Airborne Mine Clearance System).

Podstawowe dane wybranych systemów batymetryczny przedstawiono w tabeli nr 3.

Jednym z najdłużej działających systemów, który w oparciu o doświadczenia przeszedł szereg modernizacji jest LADS Mk II(Laser Airborne Depth Sounder). Schemat funkcjonalny systemu LADS Mk II zaprezentowano na rysunku nr 1.

Zasada działania systemu opiera się na pomiarach różnicy w czasie pomiędzy detekcją impulsu promienia laserowego odbitego od powierzchni wody i odbitego od dna. W tym celu stosuje się dwa niezależne promienie laserowe, uzyskane ze źródła typu Nd:YAG. Pierwszy z nich, o długości fali 1064 nm i szerokiej wiązce, służy do określenia odległości odbiornika od powierzchni morza, istotnej informacji dla nosiciela systemu mówiącej o wysokości lotu. Szeroka wiązka ma w tym przypadku

za zadanie uśrednienie ewentualnych lokalnych efektów sfalowanej powierzchni. Drugi promień o podwojonej częstotliwości (532 nm), odbity od dna lub od obiektu, pozwala na wyznaczenie głębokości.

Tab. 3. Parametry laserowych systemów pomiarów batymetrycznych i poszukiwania obiektów podwodnych [6]

Parametr	Larsen 500	SHOALS	Hawk-Eye	LADS MK II
Kraj pochodzenia	Kanada	USA	Szwecja (Optech, Saab)	Australia
Nosiciel	samolot	helikopter	helikopter	samolot
Prędkość nominalna [m/s]	67	zmienna	52	90
Wysokość operacyjna [m]	500	200 – 800 śred. 200	50 - 800	500
Częstotliwość sondowania (generacji impulsów) [Hz]	25	200	200	900
Rozmiar siatki [m]	30	3	1 - 10	2-5
Szerokość sondowanego pasa [m]	270	Maks. 85% wys.	Maks. 85% wys.	240
Zakres głębokości [m]	2 - 40	1 - 50	1 - 50	0,5 - 70
Dokładność pomiaru głębokości [m]	±5	±0,3(1σ)	±3	-
Dokładność pozycjonowania [m]	±5	±4(1σ)	±3	-

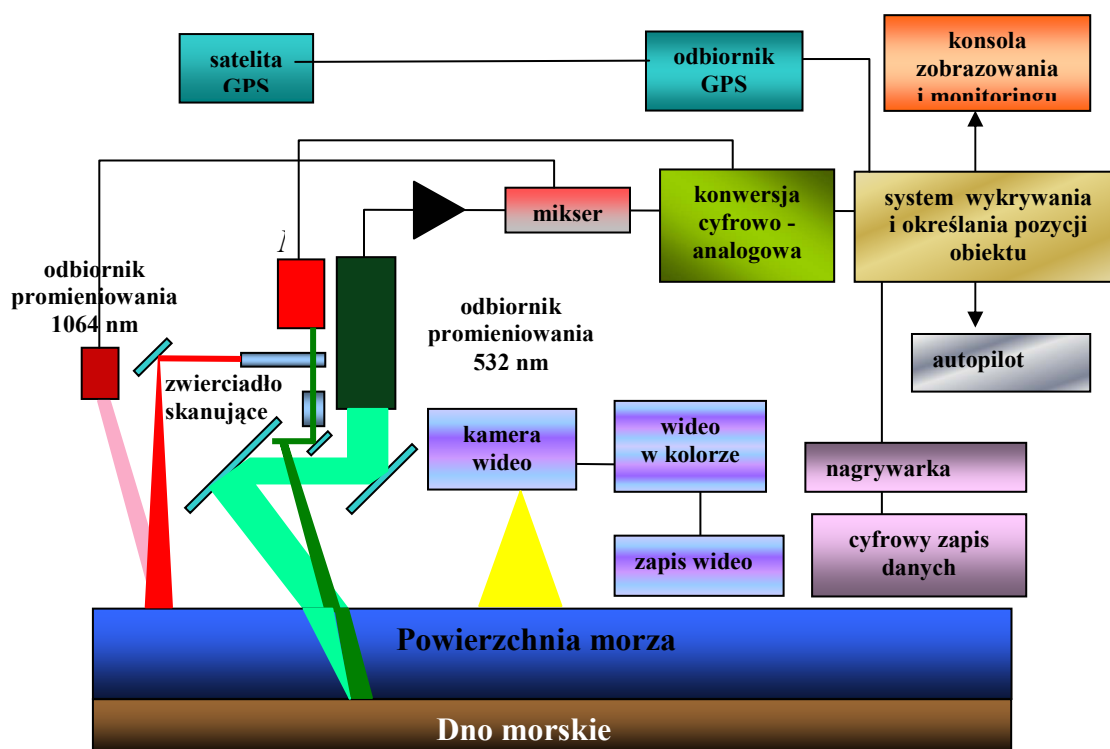
W standardowej konfiguracji, punkty sondujące rozłożone mogą być co 2, 3 lub co 5 m w poprzek pasa o szerokości 240 m. LADS Mk II w reżimie normalnym pracuje z przesunięciem pasów co 200 m, co daje 40 m nakrycie sąsiednich pasów. Wiązka laserowa ma na powierzchni morza średnicę 3 m i jest bezpieczna dla nieuzbrojonego oka.

System skanujący liniowo z częstotliwością 18 Hz zabezpiecza skanowanie sondowanego pasa w poprzek tzn. od lewej do prawej strony. Skanowanie do przodu, tzn. zgodnie z kierunkiem na wyznaczonym torze lotu, uzyskuje się dzięki przemieszczeniu samolotu do przodu ze stałą prędkością nad powierzchnią morza wynoszącą 175 węzłów (około 90 m/s).

Na maksymalne głębokości osiągane przez system główny wpływ ma przejrzystość wody. Otrzymywane wyniki potrafią być bardzo zróżnicowane nawet dla tego samego akwenu, tylko w innej porze dnia. Loty są najczęściej wykonywane po południu lub wieczorem, aby umożliwić osiągnięcie maksymalnych głębokości. Promienie słoneczne padające pod dużym kątem zmniejszają granice głębokości sondowania nawet o ok. 15%.

Zakłada się, że w najbliższym czasie efektywność laserowych systemów na odpowiednio płytkich wodach, mogłaby posłużyć do wykrywania min w trudnych przybrzeżnych obszarach i możliwe będzie montowanie głowic laserowych na samolotach zwalczania okrętów podwodnych (ZOP).



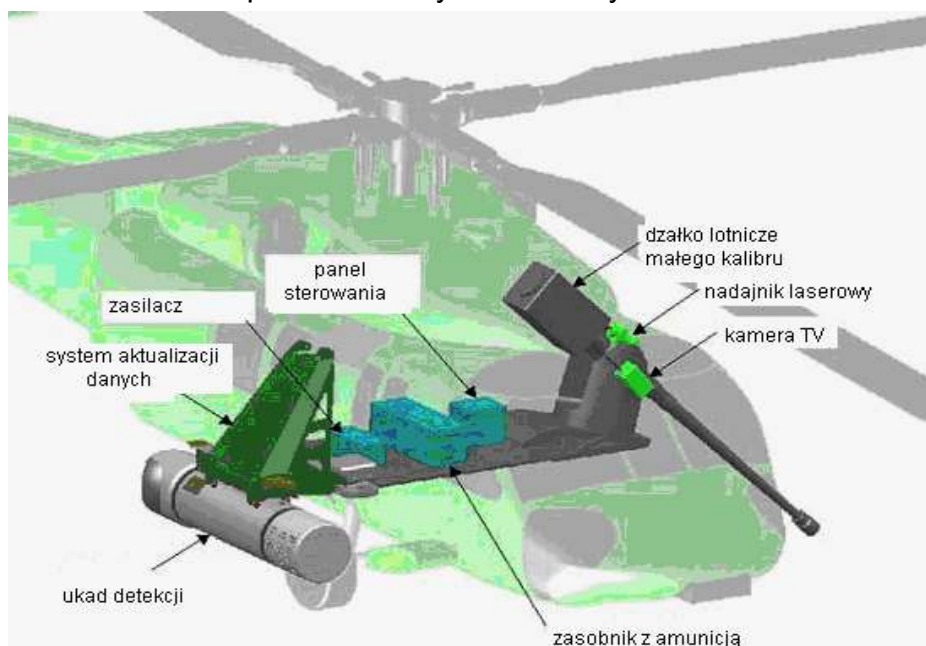


Rys. 1. Schemat funkcjonalny systemu LADS Mk II [7]

Przykładem perspektywicznej metody niszczenia min może być system RAMICS. Lotniczy system szybkiego niszczenia min łączy w sobie dwie technologie:

- LIDAR służący do wykrywania, lokalizacji oraz naprowadzania za pomocą wiązki promieniowania laserowego;
- system artyleryjski oparty na 20÷30 mm automacie systemu Gatlinga, strzelający superkawitacyjnymi pociskami do min morskich.

Schemat rozmieszczenia komponentów systemu RAMICS na pokładzie śmigłowca Kaman SH-2G przedstawiony został na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia komponentów systemu RAMICS na pokładzie śmigłowca Kaman SH-2G

System LIDAR, zaopatrzony w laser emitujący promieniowanie niebieskie i zielone, lokalizuje minę oraz określa do niej odległość. System ten wyszukuje miny w akwenach płytkowodnych, eliminując praktycznie wszystkie fałszywe sygnały, oraz wypracowuje dane do strzelania dla systemu kierowania ogniem szybkostrzelnego działka pokładowego. W kierunku miny wystrzelona zostaje seria około 20-50 pocisków, a prawdopodobieństwo trafienia przez jeden lub więcej z nich wynosi 0.95.

### 3. Podsumowanie

Zastosowanie laserowej techniki dalmierczej w Marynarce Wojennej związane jest przede wszystkim z koniecznością automatyzacji procesów dowodzenia i kierowania ogniem. Silne zagęszczenie środków walki, a także ich manewrowość i duże prędkości powodują, że szybkość reakcji jest decydującym czynnikiem wpływającym na skuteczną obronę. Dzięki swoim zaletom, dalmierze laserowe w znacznym stopniu przyczyniają się do spełniania wymogów współczesnego pola walki przez nowoczesne systemy pokładowe. We wszystkich nowo projektowanych okrętach, jak brytyjski program budowy niszczyciela Typu 45 czy amerykański projekt jednostek klasy DD(X), uwzględnia się instalację wielu różnego typu urządzeń laserowych. Warto zastanowić się nad takim rozwiązaniem, zwłaszcza w przededniu ukończenia prac nad projektem nowej korwety wielozadaniowej dla MW RP „Gawron”.

Wysoka wydajność i niskie koszty pomiarów przy użyciu technik laserowych, stworzyły możliwość ciągłego monitoringu rejonów szczególnie ważnych dla żeglugi, jak redy, kotwicowiska, czy tory podejściowe do portów. Należy oczekiwać, że sondaż laserowy będzie szczególnie przydatny w rejonach płycizn, ważnych ze względu na dynamikę zmian zachodzących w morfologii dna. Ponadto, sondaż ów jest niezbędny przy obserwacji zmian położenia linii brzegowej. Metoda laserowa nie rozwiązuje jednak wszystkich problemów, ze względu na specyficzną strukturę wody i wynikające stąd właściwości fizyczne. Co więcej, występowanie fauny, flory i innych zawiesin (np. szczątki organiczne) powoduje intensywne rozpraszanie i absorpcję promieniowania laserowego, ograniczając stosowalność tej metody.

Laser może podnieść jakość obecnie używanych sonarów, boj sondujących, stacji hydroakustycznych i innych czujników przeznaczonych do wykrywania obiektów podwodnych, a z pewnością doskonale uzupełniać dane otrzymane przy pomocy wyżej wymienionych.

Na zakończenie należy dodać, że współcześnie wykorzystywane i projektowane nowe systemy laserowe są prawie wyłącznie typu „bezpiecznego dla oka”. Poza świadomością zagrożeń powodowanych przez promieniowanie laserowe i surowych wymogów norm odnośnie bezpieczeństwa, wpływ na taki stan rzeczy mają także bardzo dobre charakterystyki transmisyjne atmosfery w paśmie w okolicach 1.5  $\mu\text{m}$ .

*Praca częściowo dofinansowana przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji  
w ramach grantu  
PB 0802/T00/2003/25, PBZ-MiN-009/T11/2003*

## Literatura

1. Maiman T. H., „Stimulated Optical Radiation in Ruby”, Nature, Vol.187, 493 (1960);
2. Marczak J., Ostrowski R., Zygmunt M., Mierczyk Z., Młodzianko A, Gawlikowski A., Wypych M., „Wojskowe dalmierze laserowe”, Biul. WAT, Vol.LI, Nr 6, 21 (2002);
3. BAE SYSTEMS Proprietary Information, „Maturing Diode Pumped Laser, Fire Control, Mission Electronics”, Brief to NDIA Conference, June 16, 2004;
4. Dera J. „Fizyka morza”, PWM, Warszawa 2003;
5. Cywiński A., Kołaczyński Cywiński., „Nie tylko akustyka”, Przegląd Morski nr 3, Gdynia 2003;
6. Whitman E. C., „Laser Airborne Bathymetry – Lifting the Littoral”, Sea Technology, sierpień 1996;
7. Sinclair M., „Australians get on board with New Laser Airborne Depth Sounder”, Sea Technology, czerwiec 1998.