

## Artur Cywiński

kmdr por. dr inż. Artur Cywiński  
Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte  
Instytut Uzbrojenia Okrętowego, Pracownia Broni Podwodnej  
81-103 Gdynia 3, ul. Śmidowicza 69  
tel. +58 626 28 74  
<http://www.amw.gdynia.pl>  
e-mail: a.cywinski@amw.gdynia.pl

### ANALIZA LASEROWYCH ŹRÓDEŁ PROMIENIOWANIA DO WYKONYWANIA POMIARÓW ODLEGŁOŚCI POD WODĄ

*W artykule zawarto syntetyczne zależności pozwalające oszacować wartości mocy sygnału tła oraz echa dla dalmierzy laserowych działających pod wodą. Przedstawiono skrótowo wnioski wynikające z badań dalmierza Nd:YAG do badań pod wodą. Zaprezentowano przykładowe dane półprzewodnikowych diod laserowych jako alternatywnych do tego typu zastosowań. Część końcowa to wyniki symulacji zasięgu działania diod laserowych. Artykuł zamykają wnioski będące wynikiem symulacji i spostrzeżeń wynikających z praktycznych zastosowań różnych laserów do badań pod wodą.*

**Słowa kluczowe:** laser, dalmierz, dioda laserowa, obiekt podwodny, równanie zasięgu, współczynnik ekstynkcji wody.

### THE ANALYSE OF LASER SOURCES FOR UNDERWATER DISTANCE MEASUREMENT

*In the following article the synthetic relations allowing to estimate the power values of background signal and echo signal for underwater laser rangefinders has been presented. Conclusions follow from underwater researches of laser rangefinder Nd:YAG has been briefly presented. Example data of laser LEDs as an alternative source for such a purposes has been also presented. At the end of article the results of computation of laser's LEDs operation range has been presented. The article is finished with conclusions followed from simulations and observations based on practical application of various lasers to underwater researches.*

**Keywords:** laser, rangefinder, laser diode, underwater object, range equation, beam attenuation coefficient.

## WSTĘP

Laser jako urządzenie pracujące w środowisku wodnym nie jest już niczym nowym, a techniki jego wykorzystania w różnorodnych badaniach morza są znane od dawna. Współczesne aplikacje, działające już od ponad dwudziestu lat, to systemy laserowe do penetracji środowiska wodnego, w większości służące do określania głębokości akwenów (pomiaru batymetryczne) i poszukiwania obiektów podwodnych. Wszystkie one, w swoich nawet najbardziej skomplikowanych konstrukcjach, wykorzystują laser, który jako element aktywnym pracuje w konfiguracji dalmierza [1, 2, 3], którego zasada pracy zbliżona jest do funkcjonowania konwencjonalnego radaru pozwalającego określić odległość do wykrytego obiektu. Laserowa technika dalmierza, zwłaszcza ta w wydaniu morskim, jest obecnie intensywnie rozwijana ze względu na szybkość dokonywania pomiarów i poszukiwań zwłaszcza w rejonach płytkich (nieprzekraczających 70 metrów).

Współczesna, laserowa technika dalmierza to nie tylko klasyczne dalmierze laserowe z odbiorem bezpośrednim, ale także zaawansowane systemy typu LIDAR (Light Detection and Ranging) [4, 5, 6].

Ogromną zaletą promieniowania laserowego jest możliwość jego propagacji przez granicę ośrodków o różnej gęstości bez większych strat. Własności tej nie posiadają fale akustyczne, które jako źródło informacji stosowane w echosondach czy stacjach hydroakustycznych, nie przenikają przez granicę ośrodków woda - powietrze czy powietrze - woda.

Laser jako czynnik penetrujący środowisko wodne może być również bardzo przydatny w szeroko pojętej fotogrametrii. Wspomagać on może prace podwodne, a w szczególności podwodną analizę infrastruktury portowej, podwodnych konstrukcji technicznych czy innych dowolnych, w tym zatopionych, obiektów zalegających nawet na znacznych głębokościach (rzędu kilkaset metrów). Laser może być elementem wspomagającym w wizyjnym badaniu obiektów podwodnych czy inspekcji dowolnych podzespołów oraz pomocny w diagnostyce technicznej jakichkolwiek obiektów pod powierzchnią wody.

W przypadkach takich założyć należy montaż podsystemu laserowego na nosicielu podwodnym, jako podzespół kompleksowego, zintegrowanego systemu diagnostyki podwodnej. Niewielkie gabaryty takiego podsystemu pozwalają na jego montaż w dowolnej konfiguracji, a laser pracować może w trybie:

- generator punktów tłowych na diagnozowanej części obiektu,
- dalmierz laserowy z generacją punktów tłowych na powierzchni diagnozowanej.

W obu tych przypadkach laser, jak źródło wzorca świetlnego, spełniać musi szereg wymogów kwalifikujących go jako przydatny w całym procesie diagnostyki podwodnej wykorzystującej wizyjne metody analizy obrazów, a w szczególności zobrazowania przestrzennego badanego obiektu podwodnego.

O możliwości pomiaru odległości do obiektu podwodnego przez system laserowy decyduje głównie sygnał echa uzyskany na tle szumu na wyjściu układu odbiorczego. Koniecznym jest zatem uzyskanie właściwego stosunku sygnału do szumu (SNR). Na parametr ten wpływa wiele czynników, które podzielić można na dwie grupy:

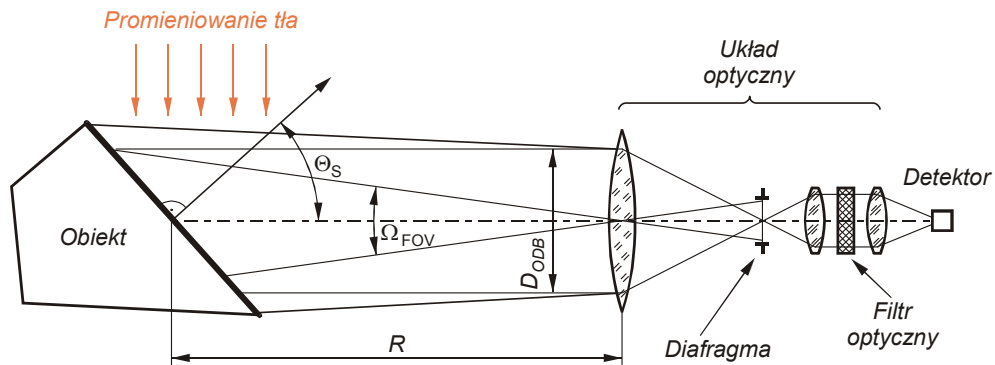
- czynniki mające wpływ na wielkość sygnału optycznego padającego na detektor (czynniki zewnętrzne),
- czynniki związane z torem elektrycznym (od detektora do wyjścia układu odbiornika).

W sygnale optycznym padającym na detektor wyróżnić można również dwie składowe. Pierwszą stanowi promieniowanie sygnału użytecznego (odbite od obiektu

podwodnego), drugą składową stanowi promieniowanie tła. Jeśli pomiar do obiektu będzie prowadzony na głębokościach warstwy eufotycznej uwzględnić należy promieniowanie tła od docierającego słońca. W przypadku większych głębokości (powyżej 30 metrów) promieniowanie tła zanika, ale powstaje nowe źródło zakłóceń. System dalmierczy umieszczony będzie wraz z szeregiem innych urządzeń na podwodnym pojeździe - robocie, który do przesyłania obrazów w czasie rzeczywistym przez kamery potrzebował będzie w ciemnościach oświetlenia. Sztuczne źródło światła oświetlające diagnozowany obiekt podwodny będzie źródłem nowego promieniowania tła.

## 1. ANALITYCZNE WYZNACZENIA MOCY SYGNAŁU TŁA

Opis ilościowy szumu tła jest bardzo złożony, na który składa się kilka czynników. Można je sklasyfikować jako czynniki związane z samym urządzeniem (wielkość optyki odbiorczej, rodzaj zastosowanych filtrów itp.) i czynniki wynikające ze wspomnianych powyżej warunków (tło od słońca lub reflektorów Schemat przykładowego, stosowanego w praktycznych rozwiązaniach i przyjętego do dalszych obliczeń, toru optycznego odbiornika dalmierza laserowego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat toru optycznego odbiornika dalmierza laserowego

Spektralna luminancja energetyczna  $L_\lambda$  źródła promieniowania tła (promieni słonecznych docierających pod wodę lub promieni od reflektorów) jest parametrem, który ma istotny wpływ na detekcję sygnału optycznego i jako taki jest uwzględniany przy wyznaczaniu mocy  $P_B$  promieniowania tła padającego na detektor.

Moc promieniowania tła, docierającego do fotodetektora przez optyczny układ odbiorczy, opisuje się zależnością [1]:

$$P_B = L_\lambda A_S \cos \Theta_S \Omega_{FOV} \Delta \lambda \eta_{FI} \eta_{OPT} \exp(-cR) \quad (1)$$

gdzie:

- $P_B$  - moc promieniowania tła padająca na detektor [W]
- $L_\lambda$  - spektralna luminancja energetyczna promieniowania słonecznego lub sztucznego źródła światła (rozproszona, odbita) [ $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$ ]
- $A_S$  - pole powierzchni obiektu, widziane przez detektor [ $\text{m}^2$ ]
- $\Theta_S$  - kąt pomiędzy normalną do powierzchni obiektu, a osią symetrii ukł. optycznego [°]
- $\Omega_{FOV}$  - kąt bryłowy pola widzenia odbiornika optycznego [sr]
- $\Delta \lambda$  - szerokość widmowa filtru interferencyjnego [ $\mu\text{m}$ ]
- $\eta_{OPT}$  - współczynnik transmisji obiektywu odbiornika
- $\eta_{FI}$  - współczynnik transmisji filtru interferencyjnego
- $c$  - współczynnik ekstynkcji wody [ $\text{m}^{-1}$ ]
- $R$  - odległość do obiektu [km]

Pole powierzchni obiektu, widziane przez detektor określa wzór:

$$A_S = \frac{\pi}{4 \cos \Theta_S} (\theta_{ODB}^2 R^2) \quad (2)$$

gdzie:

$\theta_{ODB}$  - kąt płaski pola widzenia obiektu odbiornika [rad]

Kąt bryłowy pola widzenia odbiornika można z dobrym przybliżeniem wyznaczyć z zależności:

$$\Omega_{FOV} = \frac{A_S}{R^2} = \frac{\pi}{4} \theta_{ODB}^2 = \frac{\pi D_{ODB}^2}{4R^2} \Rightarrow \theta_{ODB}^2 = \frac{D_{ODB}^2}{R^2} \quad (3)$$

gdzie:

$D_{ODB}$  - średnica źrenicy wejściowej obiektu [m]

Sumaryczną, spektralną luminancję energetyczną promieniowania tła  $L_\lambda$  (promieniowanie Słońca przenikające przez powierzchnię wody, sztucznego źródła światła od reflektorów i promieniowanie własne wody) opisuje poniższy wzór:

$$L_\lambda = \frac{\rho_w E_\lambda}{\pi} + \frac{\rho_w E_{szp}}{\pi} + \frac{M_\lambda}{\pi} \quad (4)$$

gdzie:

- $E_\lambda$  - spektralne natężenie napromienienia słońca [ $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ ]
- $E_{szp}$  - spektralne natężenie napromienienia sztucznego źródła światła
- $\rho_w$  - współczynnik odbicia promieniowania optycznego od obiektu
- $M_\lambda$  - emitancja energetyczna wody dla określonej długości fali [ $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ ].

Spektralna emitancja wody  $M_\lambda$ , zależy głównie od jej temperatury i emisyjności, mając jednak niewielką wartość w porównaniu ze spektralną wartością natężenia napromienienia Słońca  $E_\lambda$ , czy promieniowaniem od sztucznego źródła światła. Promieniowanie własne wody może być zatem pominięte, gdyż ponadto maksimum transmisji tego promieniowania leży poza widzialną częścią widma w dalekiej podczerwieni i w optyce morza definiowana jako oddolne promieniowania morza większe znaczenie ma dla układów detekcji znajdujących się nad powierzchnią wody.

Całkowitą moc promieniowania tła padającego na detektor można wyrazić następująco [1]:

$$P_B = \frac{\pi}{16} [(\rho_w E_\lambda + \rho_w E_{szp} + M_\lambda) \eta_{FI} + (\rho_w^* E_\lambda^* + \rho_w^* E_{szp}^* + M_\lambda^*) \eta_{PFI}^*] \cdot \theta_{ODB}^2 D_{ODB}^2 \Delta \lambda \eta_{OPT} \left\{ \exp(-cR) + \frac{b[1 - \exp(-cR)]}{c} \right\} \quad (5)$$

gdzie:

$\rho_w^*$  - współczynnik odbicia promieniowania od obiektu, poza pasmem właściwej

- transmisji filtru interferencyjnego
- $E_{\lambda}^*$  - spektralne natężenie napromienienia słońca w obszarach transmisji filtru wyższych rzędów [ $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ];
- $E_{szp}^*$  - spektralne natężenie napromienienia sztucznego źródła światła w obszarach transmisji filtru wyższych rzędów [ $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ];
- $M_{\lambda}^*$  - spektralna emitancja obiektu w obszarach transmisji filtru wyższych rzędów [ $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ];
- $\eta_{PFI}^*$  - współczynnik transmisji filtru interferencyjnego (poza pasmem głównym)
- $b$  - współczynnik rozpraszania wody [ $m^{-1}$ ]

Złożoność wyrażenia równania 5 na moc promieniowania tła związana jest przede wszystkim z rzeczywistym charakterem pasmowych filtrów optycznych. W stosowanych w dalmierzach, zespolonych filtrach optycznych, oprócz głównego pasma transmisji występować mogą pasma tzw. wyższych rzędów (zarówno w dolnym jak i górnym paśmie pracy poza pasmem przepuszczania).

W celu oszacowania mocy promieniowania tła należy dokonać szeregu uproszczeń, wśród nich koniecznym jest złożenie dotyczące optyki układu detekcji dalmierza. Zakłada się, że filtr jest transmisyjny tylko w założonym obszarze, a współczynniki rozproszenia i ekstynkcji wody są porównywalne.

Wówczas zależność na moc promieniowania tła padającą na detektor dalmierza laserowego opisaną równaniem 5 można uprościć do postaci:

$$P_B = \frac{\pi}{16} E \rho_w \theta_{ODB}^2 D_{ODB}^2 \Delta \lambda \eta_{OPT} \eta_{FI} e^{-cR} \quad (6)$$

gdzie:

- $E$  - sumaryczne spektralne natężenie napromienienia od słońca i sztucznego źródła promieniowania (zależne od głębokości) [ $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ].

Zauważalny jest fakt, że zasadniczym parametrem mającym wpływ na wartość stosunku mocy sygnału echa do mocy szumów tła, przy założonych jednocześnie parametrach dalmierza laserowego, jest wartość natężenia napromienienia  $E$ , oraz współczynnik odbicia od powierzchni obiektu  $\rho_w$ .

## 2. ANALITYCZNE WYZNACZENIA MOCY SYGNAŁU ECHA

Celem oszacowania mocy sygnału echa dokonano szeregu założeń pozwalających, przy wykorzystaniu przykładowego układu nadajnika laserowego, ostatecznie odpowiedzieć na ile możliwe będzie wykorzystanie dalmierza laserowego do pomiaru odległości do obiektów pod powierzchnią wody.

Zakłada się, że powierzchnia obiektu oświetlana jest z pewnej apertury kołowej nadajnika laserowego w odległości  $R$ . Zakłada się, że wielkość plamki laserowej na obiekcie ( $A_L$ ) jest mniejsza od rozmiarów obiektu, a obiekt ustawiony jest prostopadle do wiązki. Zakłada się również, że obiekt rozprasza padające promieniowanie laserowe zgodnie z prawem J. H. Lamberta.

Natężenie napromienienia obiektu  $E_L$  oświetlonego wiązką laserową można wyrazić następującą zależnością:

$$E_L = \frac{P_{NAD} \exp(-cR)}{A_L} \quad (7)$$

gdzie:

- $P_{NAD}$  - całkowita moc sygnału nadajnika dalmierza [W]

- $A_L$  - wielkość plamki wiązki laserowej na obiekcie [ $m^2$ ]  
 $R$  - odległość od obiektu [m]  
 $c$  - współczynnik ekstynkcji ośrodka propagacji pr. laserowego [ $m^{-1}$ ]

Ponieważ  $A_L$  zależy od parametrów optyki nadawczej zgodnie z zależnością [7]:

$$A_L = \frac{\pi}{4 \cos \Theta_S} (\theta_B^2 R^2) \quad (8)$$

gdzie:

- $\Theta_S$  - kąt padania promieniowania na obiekt [ $^\circ$ ]  
 $\theta_B$  - kąt rozbieżności wiązki [rad]

to natężenie napromienienia  $E_L$  można zapisać następująco:

$$E_L = \frac{4P_{NAD} \cos \Theta_S \exp(-cR)}{\pi \theta_B^2 R^2} \quad (9)$$

Jeśli emitancja  $M_L$  obiektu jest określana zależnością:

$$M_L = E_L \rho \quad (10)$$

gdzie:

- $\rho$  - współczynnik odbicia od obiektu

wówczas  $L_L$  – luminancję energetyczną obiektu [ $Wm^{-2}sr^{-1}$ ] opisuje się zależnością:

$$L_L = \frac{M_L}{\pi} = \frac{E_L \rho}{\pi} \quad (11)$$

Podstawiając zależność 9 do 11 otrzymano:

$$L_L = \frac{4P_{NAD} \rho \cos \Theta_S \exp(-cR)}{\pi^2 \theta_B^2 R^2} \quad (12)$$

Moc sygnału echa  $P_{SYG}$  padającego na detektor jest opisywana zależnością:

$$P_{SYG} = L_L A_L \cos \Theta_S \Omega_{FOV} \eta_{OPT} \eta_{FI} \exp(-cR) \quad (13)$$

Ponieważ kąt bryłowy  $\Omega_{FOV}$  pola widzenia odbiornika określa wzór:

$$\Omega_{FOV} = \frac{\pi D_{ODB}^2}{4R^2} \quad (14)$$

to wyrażenie na moc  $P_{SYG}$ , przy założeniu, że  $\Theta_S$  jest bliskie zero, można zapisać następująco:

$$P_{SYG} = \frac{P_{NAD} \rho D_{ODB}^2 \eta_{OPT} \eta_{FI} \exp(-2cR)}{4R^2} \quad (15)$$

Zakładając, że optyka dalmierza nie będzie zanurzona bezpośrednio w wodzie, uwzględnić należy współczynnik  $\rho_{gr}$ , określający ilościowo straty powstające na granicy ośrodka (powietrze-woda). Ostatecznie moc sygnału echa docierająca do detektora dalmierza laserowego może być opisana zależnością:

$$P_{SYG} = \frac{\rho_{gr}^2 P_{NAD} \rho D_{ODB}^2 \eta_{OPT} \eta_{FI} \exp[-2c(\lambda)R]}{4R^2} \quad (16)$$

Jak wynika z powyższego, na możliwość wyznaczenia odległości do obiektu podwodnego, obok parametrów samego dalmierza laserowego, wpływa obiekt (reprezentowany przez jego właściwości odbiciowe promieniowania  $\rho$  i odległość do obiektu  $R$ ) oraz środowisko (reprezentowane przez współczynnik ekstynkcji (tłumienia) wody morskiej  $c(\lambda)$ ).

Przy stałych parametrach to właśnie współczynnik ekstynkcji  $c(\lambda)$  wody ma największy wpływ na zasięg działania dalmierza. Wcześniejsze badania wskazały, że aby oszacować zasięg dalmierza, dla danych warunków (rodzaj wody, głębokość itp.), należy poznać widmo transmisji wody, a następnie w miarę dokładnie oszacować wartość współczynnika ekstynkcji dla żądanej długości fali.

Zastosowanie dalmierza laserowego z konwersją częstotliwości pozwoliłoby zawsze, w zależności od pory roku, głębokości wykonywania pomiarów i warunków hydrometeorologicznych, dobrać optymalną długość fali promieniowania laserowego pod kątem najlepszej propagacji w wodzie morskiej. Zagadnienie to jest o tyle istotne, że jak wykazuje powyższa analiza, przy niewielkiej zmianie wartości współczynnika  $c(\lambda)$ , dobór optymalnej długości fali generacji, jest bardziej efektywny (zwiększenie zasięgu dalmierza) niż zwiększanie mocy nadajnika laserowego.

### 3. BADANIA SYMULACYJNE

Wcześniejsze badania widma transmisji wody [8, 9, 10] wykazały, że widmo transmisji promieniowania z zakresu widzialnego wody morskiej w badanym rejonie (południowy Bałtyk) jest zmienne w czasie. Analiza posiadanych danych archiwalnych z lat 2001 do 2005 dowodzi, że dla badanych rejonów, optymalną długością fali propagującą się w wodzie jest długość z zakresu przypadającego niemal na środek szerokości pasma widzialnego tj.:

dla okresu jesienno-zimowego  $\lambda_{opt} \in \langle 540 \div 580 \rangle$  nm,

dla okresu wiosenno-letniego  $\lambda_{opt} \in \langle 580 \div 640 \rangle$  nm.

Ze względu na szereg badań prowadzonych z prototypem dalmierza do określania odległości do obiektów podwodnych oraz posiadane doświadczenie w tym zakresie, można było oszacować możliwość wykorzystania tego typu lasera do określania odległości do obiektów pod wodą.

Obliczenia przeprowadzone zostały dla przykładowego dalmierza laserowego Nd:YAG z konwersją częstotliwości na II-gą harmoniczną generującego promieniowanie o długości fali  $\lambda = 532$  nm. Nadajnik taki charakteryzuje się dobrym dopasowaniem widmowym oraz generacją impulsów nanosekundowych o znacznej gęstości energii impulsu (rzędu dziesiątek mJ). W układzie dalmierza zastosowano metodę z bezpośrednim (niekoherentnym) odbiorem sygnału echa. Lasery tego typu są stosowane na całym świecie w morskich dalmierzach lotniczych do poszukiwania i określania położenia obiektów podwodnych [4, 11, 12, 13], choć zależnie od przeznaczenia stosowane być nich mogą różne metody detekcji sygnałów echa.

Wyniki symulacji jednoznacznie wykluczyły możliwość użycia takiej konfiguracji dalmierza do określania odległości do badanych obiektów pod wodą ze względu na:

- znaczne rozmiary i masę urządzenia, co wiązać się będzie z trudnością montażu na pojeździe podwodnym lub ograniczeniami jego manewrowania,
- zbyt małą dokładność pomiaru odległości (rzędu kilku metrów), gdzie wymagana jest dokładność milimetrowa,
- wymogi bezpieczeństwa (ochrona wzroku) w przypadku współpracy z nurkiem.

Spostrzeżenia te są wynikiem założeń, w których to pojazd podwodny manewrować będzie wokół sondowanego obiektu podwodnego na niewielkiej odległości rzędu kilkunastu centymetrów do kilku metrów.

Powyższe skłoniły do rozpatrzenia w układzie dalmierza laserowego diod półprzewodnikowych.

Laserowe diody półprzewodnikowe nie wymagają rozbudowanych układów zasilania i pracować mogą w szerokim zakresie widmowym przy stosunkowo małych wymaganiach energetycznych (zasilaniu rzędu pojedynczych wolt), co znacznie upraszcza i zmniejsza gabaryty układów zasilania. Rozwiązania takie są znane i szeroko stosowane w wielu konstrukcjach dalmierzy półprzewodnikowych wykorzystywanych w geodezji czy inżynierii budowlanej. Wspólną cechą wszystkich diod półprzewodnikowych, w porównaniu z kryształami wykorzystywanymi w laserach, jest mała moc sygnału generowanego przez półprzewodnik (miliwaty do pojedynczych watów). Dla dalmierzy propagujących promieniowanie w powietrzu, przy zastosowaniach do kilkuset metrów, taka moc jest wystarczająca. Zwłaszcza, że ekstynkcja przez atmosferę takiego promieniowania jest nie wielka (rzędu  $0,06 \text{ km}^{-1}$ ). Inaczej wyglądać może transmisja promieniowania o takiej mocy przez ośrodek wodny gdzie ekstynkcja wahać się może w granicach  $0,05 \text{ m}^{-1} \div 2 \text{ m}^{-1}$ .

Właśnie ze względu na tłumienie sygnału w wodzie i wymaganie możliwie największej mocy sygnału nadajnika dalmierza przeprowadzono rozeznanie w zakresie diod o największej mocy.

Dostępne są już na rynku diody półprzewodnikowe pozwalające na generację promieniowania w różnym zakresie długości fali i osiągające moce rzędu kilku watów. Przykładowe dane diod przedstawiono w tabeli nr1.

Tabela 1.

Podstawowe dane wybranych, laserowych diod półprzewodnikowych [14]

Typ diody	Długość fali [nm]	zasilanie [V]	moc wyjściowa [W]
SLD1332V	670 (czerwony)	2,4	0,5
ML501P73	638 (czerwony)	2,2	0,5 (CW), 1 (pulse)
SLIM-550	553 (zielony)	5	0,2
SLIM-561	561 (żółty)	5	0,3
Nd:YLF+dioda (hybrid)	523÷660	12	0,8

W oparciu o zależności zawarte w rozdziałach 1 i 2 wyznaczony maksymalny zasięg działania dalmierza z diodą półprzewodnikową. Do obliczeń przyjęto rzeczywiste wartości współczynników ekstynkcji wody uzyskane z pięcioletnich obserwacji badanego rejonu południowego Bałtyku [9].

O możliwości pomiaru odległości do badanego obiektu decydować będzie czułość fotoodbiornika określana jako minimalna moc sygnału, przy której stosunek sygnału do szumu (SNR) na wyjściu przyjmuje wymaganą wielkość.



W niekoherentnej (bezpośredniej) metodzie detekcji sygnału, SNR mierzony na wyjściu z detektora jest miarą sprawności działania dalmierza laserowego i decydować będzie o zasięgu wykrycia obiektu podwodnego.

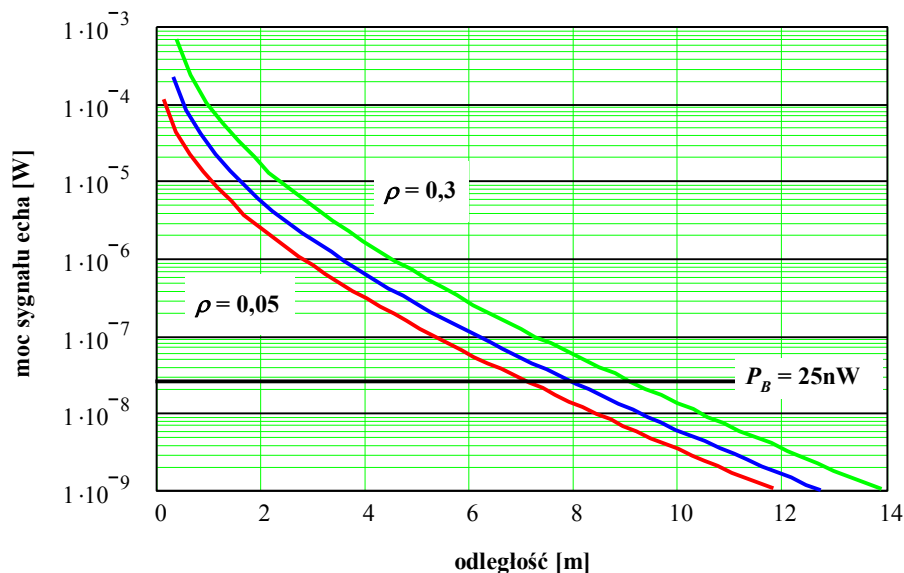
Symulacji dokonano w oparciu o metodę bezpośrednią detekcji zakładając moc diody laserowej równą 1W.

Przy szacowaniu zasięgu działania dalmierza z dioda laserową należy przyjąć, że sygnał mocy sygnału echa powinien być większy niż wartość mocy sygnału tła. Dla potrzeb szacowania, w oparciu o wcześniej prowadzone badania przyjęto wartość mocy sygnału tła równą 25 nW (zaznaczona na poniższych charakterystykach).

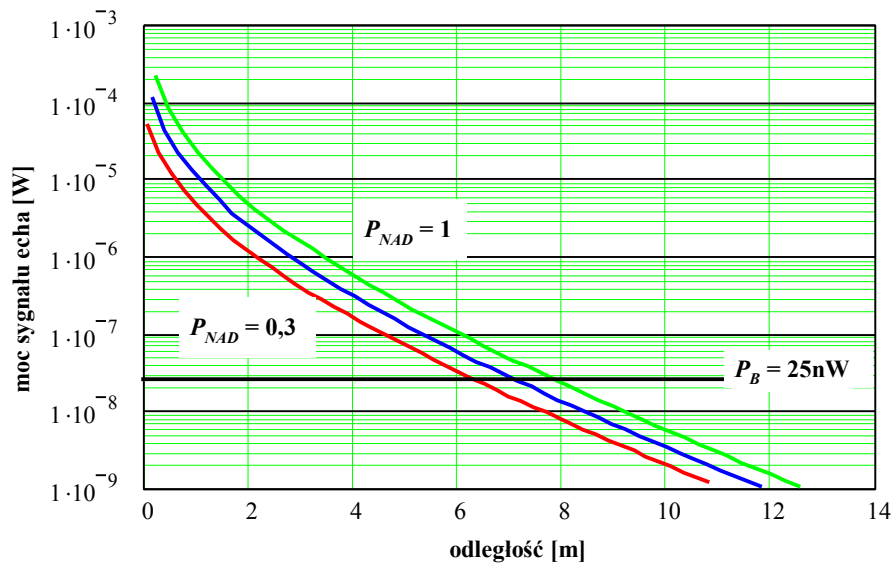
Przyjęta dla tej wartość zasięg będzie w rzeczywistości mniejszy, co wynikać będzie z dokładnej analizy przy uwzględnieniu wszystkich czynników, w tym parametrów toru elektrycznego układu detekcji.

Poniższe charakterystyki (rys. 2, 3 i 4) to wynik symulacji przeprowadzonych wyłącznie dla obiektów zalęgających na głębokościach do 23 m (oddziaływanie słoneczne) bez oświetlenia obiektu sztucznym źródłem promieniowania.

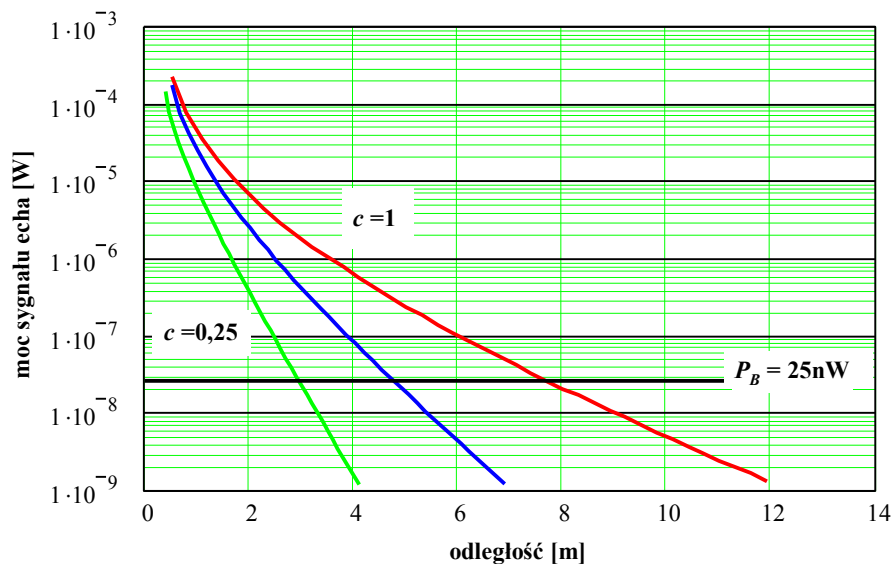
W przypadku stosowania sztucznych źródeł promieniowania oświetlających obiekt, należałoby wyznaczyć wartości mocy sygnału optycznego tych źródeł, gdyż będą one przyczyną zwiększenia mocy promieniowania tła.



Rys. 2. Zasięg działania dalmierza z diodą półprzewodnikową dla różnych wartości współczynnika odbicia od obiektu ( $\rho=0,05;0,1;0,3$ ) przy stałych parametrach:  $c(\lambda)=0,25\text{m}^{-1}$ ,  $P_{NAD}=1\text{W}$



Rys. 3. Zasięg działania dalmierza z diodą półprzewodnikową dla różnych wartości mocy nadajnika ( $P_{NAD}=0,3W;0,5W;1W$ ) przy stałych parametrach:  $c(\lambda)=0,25m^{-1}$ ,  $\rho=0,1$



Rys. 4. Zasięg działania dalmierza z diodą półprzewodnikową dla różnych wartości współczynnika ekstynkcji ( $c(\lambda)=0,25m^{-1};0,5 m^{-1};1 m^{-1}$ ) przy stałych parametrach:  $\rho =0,1$ ,  $P_{NAD}=1W$

## WNIOSKI

Niniejsze zagadnienie porusza ważne aspekty wykorzystania lasera, jako dalmierza lub źródła wzorca świetlnego w procesie diagnostyki podwodnej wykorzystującej wizyjne metody analizy obrazów. Poruszono również problemy, jakich należy mieć świadomość przy doborze właściwego lasera, czy to do określania odległości w rozpatrywanym akwenu, czy do generacji punktów tłowych.

1. Powyższa analiza, pozwala wnioskować, że istnieje wiele powodów, dla których użycie dalmierzy laserowych, na pojazdach i robotach podwodnych do badań i diagnostyki obiektów podwodnych, może być mocno ograniczone. Zwłaszcza, że zadanie to z wystarczającą dokładnością realizować mogą

- altymetry. Lasery, ze względu na swoje właściwości propagacyjne, z powodzeniem mogą być generatorami punktów tłowych.
2. Optymalnym źródłem promieniowania do badań podwodnych w południowym rejonie Bałtyku byłby laser przestrajalny pracujący w zakresie generacji fal  $\lambda = 540 \div 670\text{nm}$  (od barwy zielonej po czerwoną).
  3. Wstępna, zgrubna analiza nie wyklucza, również ze względów ekonomicznych, zastosowania diod półprzewodnikowych, pracujących zarówno w reżimie ciągłego działania, jaki i impulsowych, generujących w zakresie widzialnym. Diody te mogłyby pracować w konfiguracji generatora punktów tłowych na diagnozowanej powierzchni obiektu.
  4. Pogorszenie warunków transmisji ( $c(\lambda) > 0,4\text{m}^{-1}$ ) może spowodować, że punkty tłowe będą słabo widoczne i koniecznym będzie zmniejszenie odległości od badanego obiektu.
  5. Na dzień dzisiejszy brak jest praktycznych danych na temat widoczności punktów tłowych generowanych przez różne lasery (o różnych długościach fali-kolorach). Należy mieć na uwadze fakt, że na głębokości powyżej 30m nie dociera światło naturalne i badany obiekt jest oświetlany światłem sztucznym. Jest to warunek konieczny do analizy wizyjnej badanego obiektu podwodnego przy użyciu kamery, ale brak jest danych czy punkty tłowe od najlepiej propagującego się promieniowania zielonego (532nm) lub żółtego (561nm) będą rozpoznawalne w świetle padającego promieniowania od reflektorów oświetlających badaną powierzchnię obiektu. Punkty tłowe koloru czerwonego mogą być w takiej sytuacji bardziej widoczne.
  6. Aby poprawić, na znacznej głębokości, widoczność punktów tłowych koniecznym być może zastosowanie odpowiednich źródeł światła lub filtrów.
  7. Analiza nie uwzględniała stanu powierzchni badanych obiektów podwodnych, co ma istotne znaczenie dla systemów laserowych. Mocno ograniczone wydają się być dane dotyczące odbicia promieniowania laserowego od powierzchni badanych obiektów, wykonanych z różnych materiałów i wykończonych różnymi pokryciami, zwłaszcza tych zalegających pod wodą przez dłuższy czas. Badania powinny uwzględniać szeroką gamę materiałów pokryciowych stosowanych w technikach morskich oraz wpływ na odbicie czasu zalegania obiektu pod wodą w akwenach o różnej aktywności biologicznej.

## **PIŚMIENNICTWO**

1. Marczak J.; „Impulsowy dalmierz laserowy z podszumowym odbiorem sygnału echa” *Problemy Techniki Uzbrojenia i Radiolokacji*, Rok XXVII, zeszyt 66, 117-128, Warszawa 1998,
2. Mierczyk Z.; Marczak J.; Zygmunt M.; Ostrowski R.; Gawlikowski A.; „Wojskowe dalmierze laserowe” *Biuletyn WAT* vol. LI nr 6, Warszawa 2002,
3. Cywiński A.; Ostrowski R.; „Dalmierze laserowe – aspekty zastosowania w Marynarce Wojennej” *„Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia”*, WITU nr 2/05, Zielonka 2005,
4. Sinclair M.; „Australians get on board with new Laser Airborne Depth Sounder” *Sea Technology*, s. 19-25, VI 1998,
5. Cywiński A.; „Optoelektroniczne systemy wykrywania min morskich”, *Nauka-Innowacje-Technika*, ISSN 1731-4291, Warszawa 4-5/2005,
6. Cywiński A.; „Optoelektroniczne metody wykrywania zagrożenia podwodnego dla potrzeb zwiększania bezpieczeństwa pływania” ISBN978-83-7204-739-7, str 71-76, *Logistyka* 6/2008,

7. Jankiewicz Z.; Marczak J.; „Radar laserowy - wpływ parametrów fizycznych na parametry funkcjonalne” IV konferencja Problemy współczesnej radiolokacji, WAT, Warszawa 1999,
8. Sagan S.; „Transmisja światła w wodach południowego Bałtyku” rozprawa doktorska, Instytut Oceanologii PAN, Sopot 1991,
9. Cywiński A.; „Wykorzystanie lasera do poszukiwania i określania położenia obiektu podwodnego” rozprawa doktorska, AMW, Gdynia 2007,
10. Cywiński A.; Ostrowski R.; „Modelling of laser range-measurement of underwater objects at sea – research results” rozdział monografii „Advances in computer science network centric warfare”, ISBN978-83-922739-8-1 Gdynia 2009,
11. Walters B.; „Lidar – suitable for ASW” Navy International, VI 1992,
12. Whitman E.; „Laser Airborne Bathymetry - Lifting the Littoral” Sea Technology, VIII 1996,
13. Cywiński A.; Kołaczyński S.; „Nie tylko akustyka”, Przegląd morski nr 3/03, Gdynia 2003,
14. Źródła internetowe:
  - <http://www.photonic-products.com/sld1332V/21.02.2011>,
  - <http://www.mitsubishichips.com/Global/21.02.2011>,
  - <http://www.oxxius.com/21.02.2011>,
  - <http://www.crystalaser.com/new/qswitchedlaser.html/21.02.2011>.

Autor:

**kmdr por. dr inż. Artur Cywiński**

Kieruje Pracownią Broni Podwodnej w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego AMW, biorąc udział w projektach związanych z uzbrojeniem i techniką morską. Jego praca naukowa skupia się na zastosowaniu systemów optoelektronicznych w uzbrojeniu morskim. Od lat zajmuje się optoelektronicznymi metodami poszukiwania obiektów podwodnych, a w szczególności aplikacjami laserów w zastosowaniach morskich.