

Artur CYWIŃSKI  
Roman OSTROWSKI

## ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA OPTYCZNEGO PRZYDATNE DO PROWADZENIA PRAC PODWODNYCH – PROBLEMY I APLIKACJE

**STRESZCZENIE** *Zdalne, bardzo precyzyjne określanie wymiarów lub uszkodzeń obiektów podwodnych za pomocą systemu wizyjnego wspomaganego układami optycznymi, wyposażonymi w różne źródła światła, w tym lasery lub sonary, jest bardzo istotne. W optycznych źródłach promieniowania laser staje się więc elementem wspomagającym w wizyjnym badaniu obiektów podwodnych czy inspekcji dowolnych podzespołów oraz pomocnym w diagnostyce technicznej jakichkolwiek obiektów pod powierzchnią wody. Artykuł łączy w sobie zagadnienia związane z fotogrametrią, technologią prac podwodnych i diagnostyką techniczną. Porusza on ważne aspekty wykorzystania lasera jako źródła wzorca świetlnego w procesie diagnostyki podwodnej wykorzystującej wizyjne metody analizy obrazów. Przedstawiono problemy, których istnienia należy mieć świadomość przy doborze właściwego lasera do określania odległości w rozpatrywanym akwenie.*

**Słowa kluczowe:** *podwodny monitoring, laser, punkty tłowe*

---

**dr inż. Artur CYWIŃSKI**

e-mail: a.cywinski@amw.gdynia.pl

Institut Uzbrojenia Okrętowego i Informatyki  
Akademia Marynarki Wojennej

**dr inż. Roman OSTROWSKI**

e-mail: rostrowski@wat.edu.pl

Institut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 255, 2012

## 1. WSTĘP

---

Pod pojęciem techniki podwodnej kryje się szerokie spektrum działań, do którego oprócz budowy urządzeń głębinowych do różnych zastosowań, w tym militarnych czy infrastruktury podwodnej, zalicza się również dział zajmujący się monitoringiem podwodnym. Zadanie to realizowane może być dwojako, poprzez metody hiperbaryczne, sprowadzające się do pracy pod wodą nurków wykonujących zadania związane z monitoringiem, aż do metod technicznych.

Te drugie, to przeznaczone do wspierania pracy nurków i wykorzystywania w obszarach dla nurków niedostępnych, bezzałogowych pojazdów głębinowych (ROV – *remotely operated vehicle*). Pojazdy podwodne typu ROV przeznaczone mogą być do wielu celów: od militarnych do typowo inspekcyjnych, monitorujących zmiany zachodzące pod powierzchnią wody. Obecnie na całym świecie prowadzi się badania w zakresie wykorzystania pojazdów podwodnych, wyposażonych w różne sensory, do prowadzenia monitoringu w celu poszukiwań wraków, naturalnych przeszkód pozostałości militarnych itp. Coraz częściej pojazdy podwodne wykorzystywane są również do poszukiwania ładunków (IED – *improvised explosive devices*) pozostawianych w wyniku działań asymetrycznych (terrorystycznych).

Oddzielną grupę stanowią pojazdy do monitoringu stanu technicznego infrastruktury podwodnej. Pojazdy takie posiadają możliwość obserwowania obiektu podwodnego za pośrednictwem kamer umieszczonych na pojeździe i innych sensorów – najczęściej systemu podwodnej nawigacji hydroakustycznej. Dodatkowo pojazd posiadać może wyposażenie specjalne dedykowane do rodzaju prowadzonego monitoringu, którym chociażby być mogą czujniki określające parametry fizykochemiczne wody.

Pozyskiwane dane mogą być nagrywane, dowolnie analizowane i przetwarzane w procesie postprocessingu. Możliwe jest też analizowanie danych online. Operator w takim przypadku ma możliwość obserwowania obiektu podwodnego za pośrednictwem kamer umieszczonych na pojeździe, który poprzez kablolinę połączony jest ze stacją/centralą nawodną. Uzyskany za pośrednictwem kamer telewizyjnych obraz pozwala jedynie na przeprowadzenie oględzin zewnętrznych analizowanego obiektu podwodnego i zgrubne stwierdzenie rodzaju uszkodzenia czy innych zmian zachodzących na badanej powierzchni.

Problem pojawia się w momencie, kiedy trzeba dokonać wymiarowania analizowanego fragmentu infrastruktury podwodnej i dokładnie określić rozmiary uszkodzenia czy też powstałych innych zmian.

W tradycyjnej fotogrametrii najodpowiedniejszą formą opracowywania wykonanych kamerą podwodnych zdjęć analizowanego fragmentu o nieznanym

orientacji wewnętrznej jest ich przetwarzanie. Operacja ta polega na przetwarzaniu zdjęcia nachylonego, wykonanego w dowolnej skali, na zdjęcie pionowe w ściśle określonej skali. Przy czym: aby powyższa operacja się udała, na zdjęciu muszą się znajdować przynajmniej cztery obfotografowane i zidentyfikowane punkty o znanej orientacji terenowej. W przypadku obiektów podwodnych problem ten rozwiązywano poprzez nakładanie na obiekt testu o znanych wymiarach. Nie zawsze było to jednak możliwe i stawało się problematyczne, gdy sytuacja dotyczyła obiektów położonych na głębokościach większych niż 50 metrów.

W prowadzonych w Zakładzie Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni pracach badawczych prowadzi się obecnie badania nad możliwością nałożenia na fragment badanego obiektu podwodnego wzorca świetlnego o znanej geometrii (tzw. punktów tłowych). Konieczna jest też znajomość parametrów funkcji, według której zmienia się geometria wzorca w zależności od odległości kamery od obiektu i jej orientacji zewnętrznej względem niego. Nie bez znaczenia jest tutaj wpływ właściwości optycznych wody.

## 2. RÓŻNORODNOŚĆ TRANSMISJI WODY

Charakterystyczne dla strefy klimatu umiarkowanego zimne i mało przejrzyste wody w zbiornikach polskich i ciekach śródlądowych mocno utrudniają prowadzenie w nich jakichkolwiek badań. Wszelakie zanieczyszczenia przemysłowe, mała ilość tlenu i niesione z wodami lądowymi frakcje stałe powodują rozwój glonów i zmulenia, dodatkowo pogarszając propagację promieniowania optycznego w wodzie i ogólnie pojętą widoczność. W artykule ograniczono się do rozważań dotyczących wód morskich ze względu na fakt, że ten obszar stanowi główne zainteresowanie prowadzenia prac podwodnych i w tym obszarze prowadzone są niemalże wszystkie prace z pojazdami ROV oraz analizą obrazów i fotogrametrią.

Ostatnie dwudziestolecie to szybki rozwój optoelektroniki, a w niej również metod umożliwiających precyzyjne badania powierzchni morza, toni wodnej, a w niektórych przypadkach także dna morskiego. Laser stał się narzędziem pozwalającym badać środowisko wodne, dokonywać jego analizy, a także lokalizować obiekty małogabarytowe i wielkogabarytowe w toni wodnej do głębokości zależnej od parametrów wody, jak również samego obiektu podwodnego.

Laser jako czynnik penetrujący środowisko wodne może być również bardzo przydatny w szeroko pojętej fotogrametrii, lecz jako źródło wzorca świetlnego musi spełniać szereg wymogów, czyniących go przydatnym w całym

procesie diagnostyki podwodnej, wykorzystującej wizyjne metody analizy obrazów, a w szczególności zobrazowania przestrzennego badanego obiektu podwodnego. Wspomagać on może prace podwodne, a w szczególności podwodną analizę infrastruktury portowej, bali nabrzeżne, umocnienia podwodnych konstrukcji technicznych, falochronów, kabli i rur dennych, czy innych dowolnych, w tym zatopionych, obiektów, zalegających nawet na znacznych głębokościach (rzędu kilkaset metrów).

Laser może być więc elementem wspomagającym w wizyjnym badaniu obiektów podwodnych czy inspekcji dowolnych podzespołów oraz pomocnym 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:

- generatora punktów tłowych na diagnozowanej części obiektu;
- dalmierza laserowego z generacją punktów tłowych na powierzchni diagnozowanej.

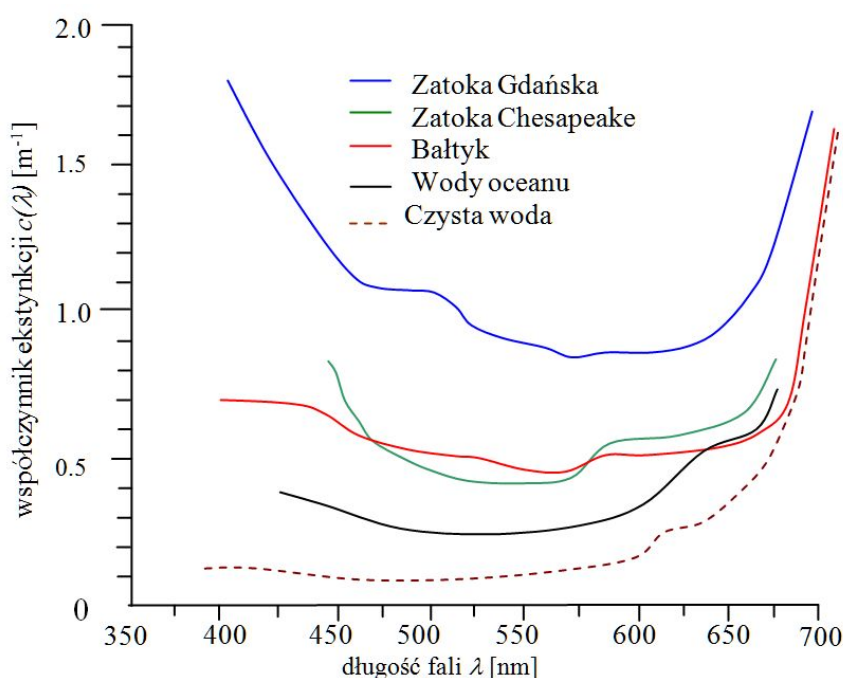
Aby działał skutecznie w obu tych konfiguracjach, koniecznym staje się znajomość zdolności transmisyjnych promieniowania laserowego w wodzie w rejonie prowadzenia badań oraz charakter ich zmian. Czynnikiem ten determinował będzie rodzaj układu laserowego, który powinien zostać zastosowany jako wzorzec świetlny.

Znajomość zdolności transmisyjnej wody pozwoli na dobór odpowiedniej długości fali generacji, określi zakres jej przestrajania oraz pozwoli na wyznaczenie wartości współczynnika ekstynkcji (tłumienia promieniowania)  $c(\lambda)$ . Ten ostatni parametr, będący przedmiotem innych opracowań [1, 8], w oparciu o model matematyczny pozwolił ostatecznie wyznaczyć zasięg działania lasera – widzianej plamki na analizowanym obiekcie oraz określić energetyczne parametry całego układu nadajnika lasera. W przypadku posiadanego rozwiązania aplikacyjnego, w oparciu o powyższe będzie można określić, czy będzie ono przydatne i w jakim zakresie.

Rozkłady spektralne osłabiania promieniowania widzialnego i ultrafioletowego w wodach morskich i oceanicznych są silnie zróżnicowane i dodatkowo zmienne w czasie (zmiany sezonowe), szczególnie wśród mórz śródziemnych o dużej ilości zlewków rzecznych, a do takich zalicza się również Bałtyk. Zróżnicowanie to wynika ze zmienności koncentracji w wodzie różnych składników istotnych optycznie. Te składniki to zawieszane cząstki, substancje organiczne i różne pigmenty. Składniki te występować mogą w różnych wodach w bardzo zróżnicowanych stężeniach i od ich zawartości w wodzie zależeć będą jej właściwości optyczne, w tym zdolność transmisji promieniowania

o różnej długości fali. Za efekt ten odpowiedzialne są różne zjawiska, ale ostatecznie prowadzi to do zmiany kształtu widma transmisji wody i różnego, zmiennego współczynnika tłumienia (ekstynkcji) promieniowania optycznego o określonej długości fali.

Przykładowe charakterystyki widmowe osłabiania promieniowania optycznego zarejestrowane w różnych rejonach morskich, istotne z punktu widzenia prowadzonych prac podwodnych, przedstawiono na rysunku 1.



**Rys. 1. Charakterystyki widmowe współczynnika ekstynkcji wody  $c(\lambda)$  w różnych rejonach Bałtyku i dla różnych wód [5]**

W najczystszych wodach oceanicznych (środkowy Pacyfik) minimum osłabiania przypada na zakres  $410 \div 440$  nm (barwa niebieska). W wodach oligotroficznymi, bardzo ubogich w substancje biogenne i organiczne, zaliczanych do pierwszego rodzaju wód, minimum osłabiania promieniowania przesunięte jest w przedział  $450 \div 490$  nm i wzrasta aż do 510 nm dla wód eutroficznymi. Dla wód śródziemnych i półzamkniętych, czyli dla wód drugiego rodzaju, do których zaliczany jest również Bałtyk, minimum osłabiania przesunięte jest w kierunku środka widma zakresu widzialnego, a w rejonach będących pod wpływem oddziaływania dużych ujść rzecznych może przesunąć się w kierunku fal dłuższych.

W zależności od rodzaju cząstek i ich wielkości, za stopień osłabiania promieniowania optycznego w wodzie morskiej i całkowity kształt widma

transmisji tego promieniowania odpowiadać będą różne mechanizmy. Z punktu widzenia rozwiązania aplikacyjnego nie są one tak istotne, jak dokładna znajomość charakterystyk transmisyjnych wody i ich okresowe zmiany.

### 3. PROPAGACJA PROMIENIOWANIA LASEROWEGO W WODZIE MORSKIEJ

---

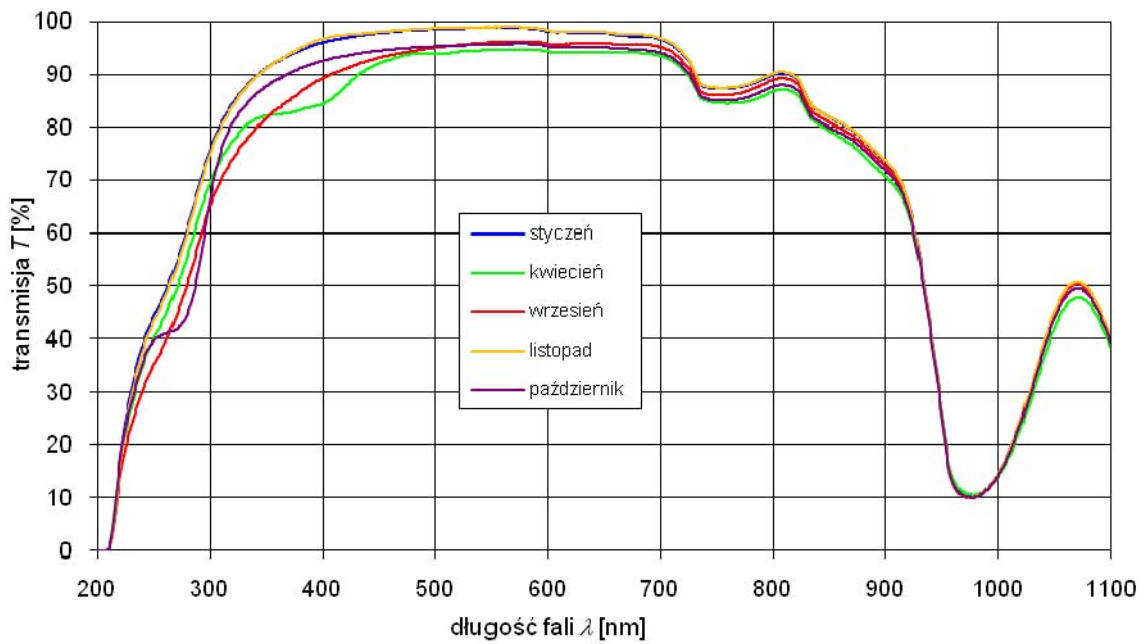
Celem oszacowania możliwości zastosowania laserowych źródeł promieniowania do wykonywania pomiarów odległości pod wodą przeprowadzono badania spektralnej charakterystyki wody morskiej w wybranych rejonach. Charakterystyki te powstały w oparciu o badania nad propagacją w wodzie morskiej promieniowania laserowego z zakresu widzialnego oraz części nadfioletu i bliskiej podczerwieni jako zakresów, w których promieniowanie to charakteryzuje się zdolnościami największej propagacji przez ośrodek wodny (z punktu widzenia możliwości wykorzystania lasera jako wzorca świetlnego w wizyjnej metodzie analizy obrazów obiektów podwodnych).

Analiza wymagała zgromadzenia danych empirycznych o własnościach optycznych wody w strefie otwartego morza oraz rejonie zatokowym. Zakładać należy, że prace podwodne mogą być prowadzone na obszarach zatok lub na otwartym morzu.

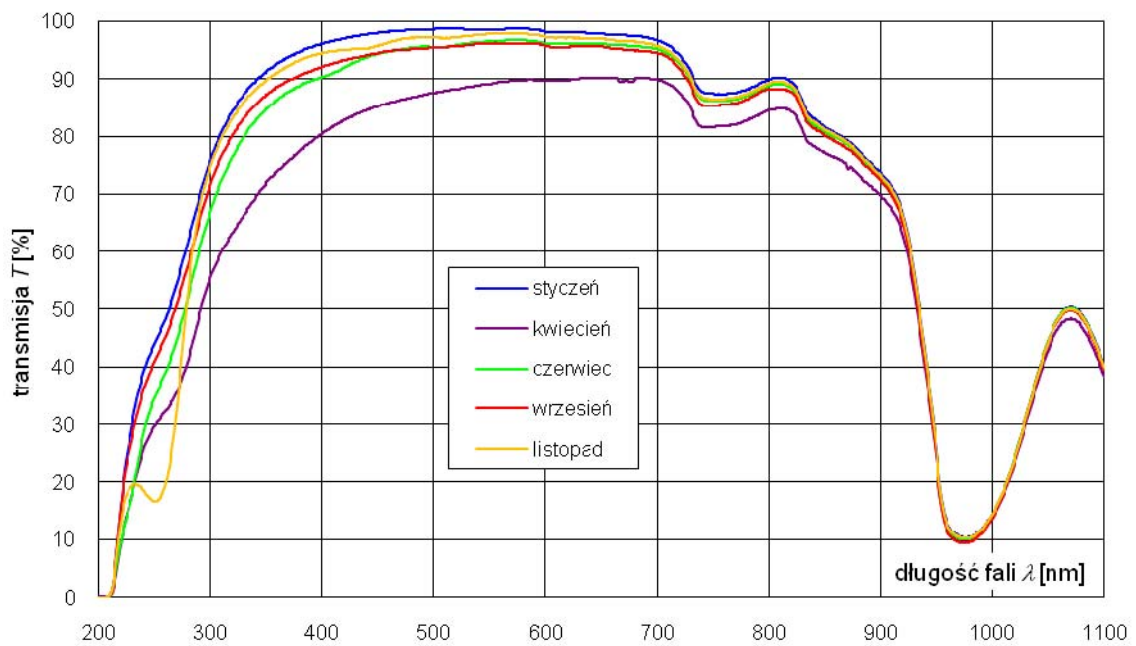
Koniecznym było zgromadzenie odpowiedniej liczby danych niezbędnych do wyznaczenia wiarygodnych charakterystyk zmienności własności transmisyjnych wody. Analiza mierzonych parametrów środowiska pozwoliła na określenie reprezentatywności zgromadzonego materiału empirycznego dla założonych potrzeb. Materiał taki został zgromadzony wcześniej i był przedmiotem innych publikacji [2, 4].

Na poniższych rysunkach zaprezentowano przebieg charakterystyki transmisyjnej wody w całym badanym zakresie widmowym, tj. od 200 nm do 1100 nm. Przedstawione przykłady pochodzą z pomiarów przeprowadzonych w stałych punktach pomiarowych, jak i z miejsc, w których próby przeprowadzane były przypadkowo. Pomiarów obejmowały warstwę wody z zakresu głębokości od 1 do 30 m.

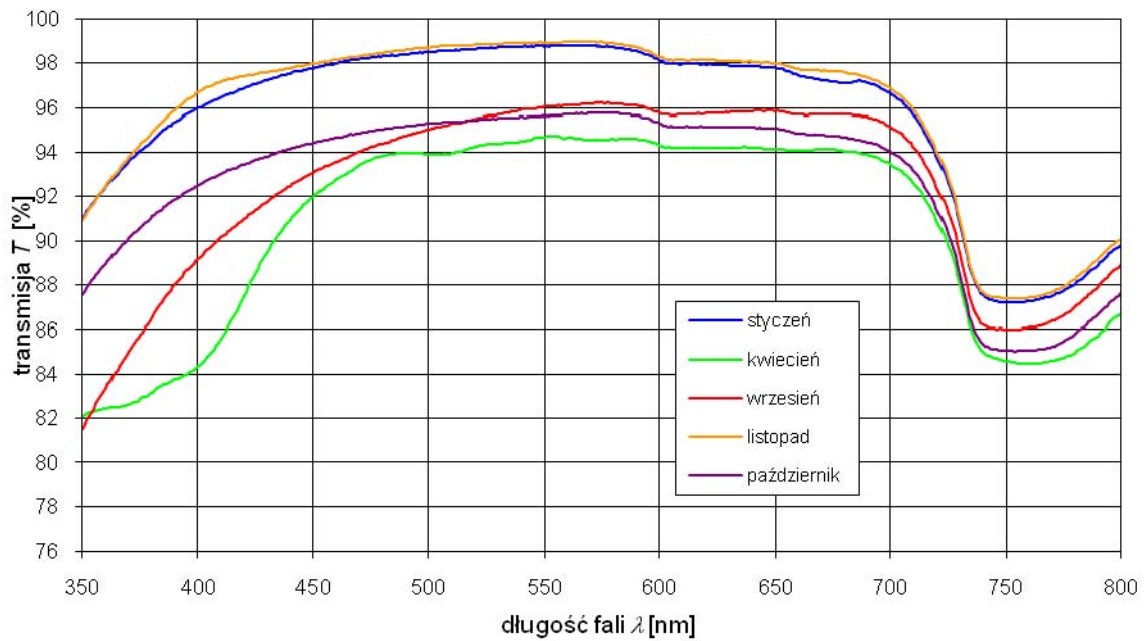
W kolejnych zaprezentowanych przykładach przebiegu widma transmisji wody morskiej ograniczono się jedynie do zakresu odpowiadającemu największej transmisji promieniowania laserowego w wodzie, tj. od 350 nm do 800 nm. Jest to tym bardziej zasadne, że w tym właśnie zakresie widoczne są największe zmiany transmisji promieniowania laserowego w różnych sezonach. Dysponując obszerną bazą danych pomiarowych, zaprezentowano jedynie wybrane, charakterystyczne przebiegi dla niektórych z miesięcy.



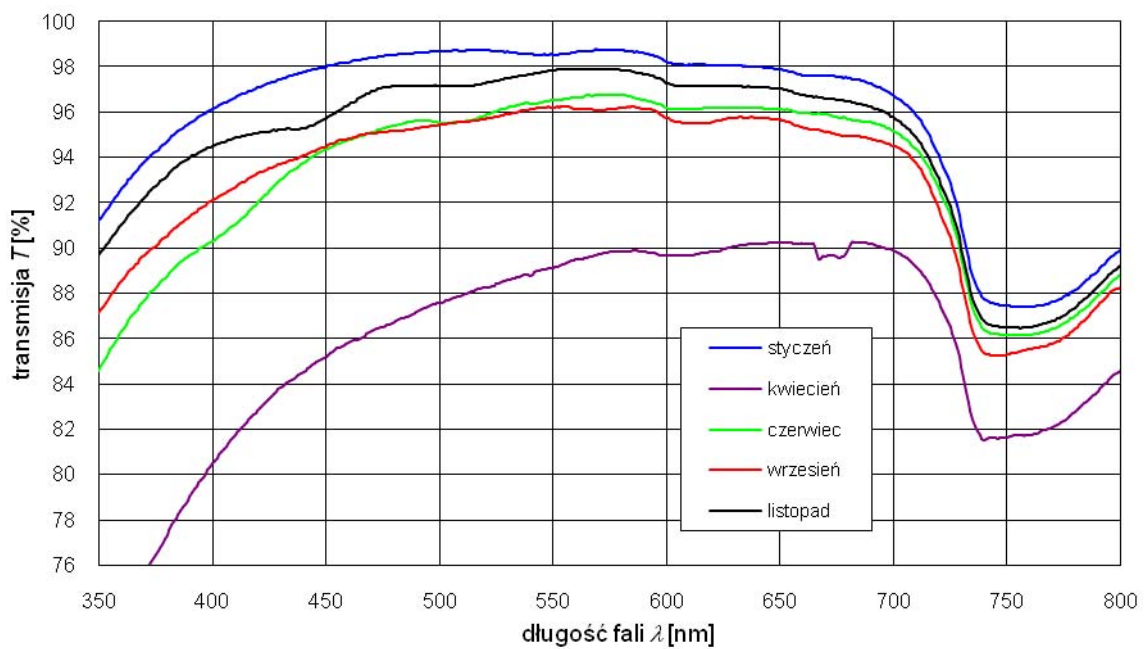
Rys. 2. Widmo transmisji wody morskiej południowego Bałtyku (wody morza otwartego) w różnych miesiącach (punkt pom. nr 2)



Rys. 3. Widmo transmisji wody morskiej południowego Bałtyku (wody zatokowe) w różnych miesiącach (punkt pom. nr 5)



Rys. 4. Widmo transmisji wody morskiej południowego Bałtyku (wody morza otwartego) w różnych miesiącach (punkt pom. nr 2)



Rys. 5. Widmo transmisji wody morskiej południowego Bałtyku (wody zatokowe) w różnych miesiącach (punkt pom. nr 5)



Na powyższych charakterystykach transmisyjnych widoczny jest wyraźnie przedział najlepszej transmisji promieniowania laserowego, leżący w zakresie od 500 nm do 600 nm, a w niektórych okresach nawet do 650 nm.

W obrębie jednego rejonu, w skali całego roku, widoczne są znaczne różnice transmisji promieniowania. We wszystkich rozpatrywanych próbkach dominującym jest spadek transmisji promieniowania optycznego w miesiącach wiosennych.

Analiza literatury oraz weryfikacja otrzymanych danych wykazały, że w przypadku otwartego Bałtyku najbardziej przezroczyste wody obserwować można na głębokościach  $30 \div 50$  m [8], a w niektórych miejscach nawet do 70 m. Tu wartość współczynnika  $c(\lambda)$  dla 532 nm i 640 nm spada o ponad połowę od wartości średniej i osiągać może odpowiednio wartość  $0,20 \div 0,30 \text{ m}^{-1}$  oraz  $0,25 \div 0,40 \text{ m}^{-1}$ .

Zaprezentowane powyżej charakterystyki oraz widma współczynnika ekstynkcji jednoznacznie skłaniają ku dalszej analizie ograniczonej zakresem 532 nm do 650 nm. Obie granice są konsekwencją istnienia działających, dobrze sprawdzonych rozwiązań aplikacyjnych. Dolny zakres odpowiada generacji promieniowania drugiej harmonicznej kryształu Nd:YAG, a górny to promieniowanie generowane przez szeroką gamę laserów gazowych, na ciele stałym i półprzewodnikowych. W grupie tej dominują jednak lasery półprzewodnikowe, które pozwalają na generację promieniowania w całym zakresie widzialnym. Ich budowa, małe gabaryty, prostota układów zasilania (napięcia rzędu kilku volt), czy duża sprawność sprawiają, że są one coraz częściej stosowane w różnych aplikacjach.

## 4. BADANIA PROTOTYPOWE

---

Rozważania związane z przydatnością laserowego źródła promieniowania jako generatora punktów tłowych na badanym obiekcie pod wodą, przeprowadzono w oparciu o standardowe równanie zasięgu dalmierza laserowego, uwzględniając wyniki analizy widmowej wody. Dodatkowo założono, że powierzchnia obiektu oświetlana jest z pewnej apertury kołowej nadajnika laserowego w odległości  $R$  (max. do 10 m). Zakłada się, że wielkość plamki laserowej na obiekcie jest mniejsza od rozmiarów obiektu, a obiekt ustawiony jest prostopadle do wiązki. Zakłada się również, że obiekt odbija dyfuzyjnie padające promieniowanie laserowe zgodnie z prawem J.H. Lamberta.

Symulacje przeprowadzono dla różnych wartości:

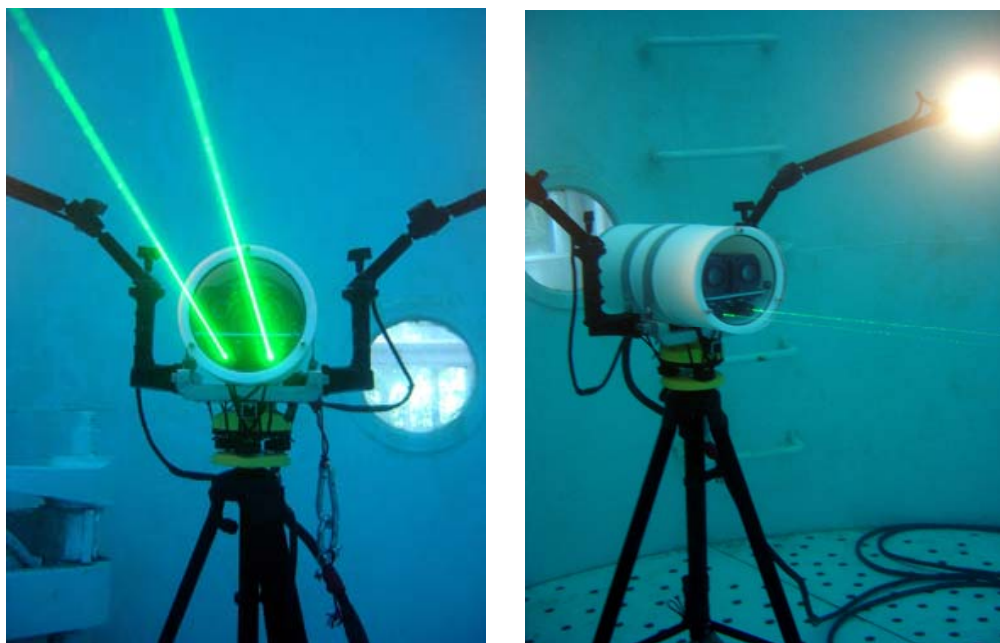
- współczynnika odbicia od obiektu –  $0,05 \div 0,3$ ;
- współczynnika ekstynkcji wody  $c(\lambda)$  –  $0,01 \div 0,4$ ;
- mocy nadajnika (determinujący rodzaj lasera) –  $100 \text{ mW} \div 15 \text{ Kw}$ .

Wyniki obliczeń numerycznych były przedmiotem innych publikacji [3], ale dla aplikacji podwodnych zdecydowano się w pierwszej wersji na zastosowanie lasera generującego wiązkę w kolorze zielonym z dwóch powodów.

Pierwszy, to dostępność na rynku laserów półprzewodnikowych, generujących tę długość fali, oraz lasera Nd:YAG, mogącego generować na drugiej harmonicznej promieniowanie zielone o znacznie większej energii niż w przypadku półprzewodników.

Drugi, zasadniczy, to efekt badań widmowych wody morskiej i jej dobra propagacja promieniowania z zakresu 530 nm – 550 nm w naszych szerokościach geograficznych.

Badania prowadzone w Zakładzie Technologii Prac Podwodnych AMW pozwoliły na skonstruowanie w układzie systemu monitoringu podwodnego podzespołu generującego punkty tłowe (rys. 6).



**Rys. 6. Testowany w basenie system optyczny wraz z generującym punkty tłowe układem laserowym [7]**

Jak prezentują powyższe zdjęcia, wiązka promieniowania z zakresu zielonego jest dobrze widoczna. Rozwiązanie takie wydawało się być najlepsze z punktu widzenia propagacji promieniowania i dostępnych gotowych układów aplikacyjnych, mogących być włączonymi do konstrukcji podwodnego systemu monitorującego. Pojawił się jednak problem, który nie był możliwy do przewidzenia na etapie projektowania, a dopiero ujawniły go badania empiryczne.

Środowisko wodne, choć dobrze propaguje sztuczne promieniowanie z zakresu zielonego, również dobrze propaguje promieniowanie naturalne z tego zakresu. Tak więc tło, w przypadku wykonywania inspekcji obiektów pod-

wodnych na niewielkich głębokościach (warstwa eufotyczna<sup>1</sup>), utrudniało dobrą widoczność punktów tłowych, które „zlewały się” z tłem.



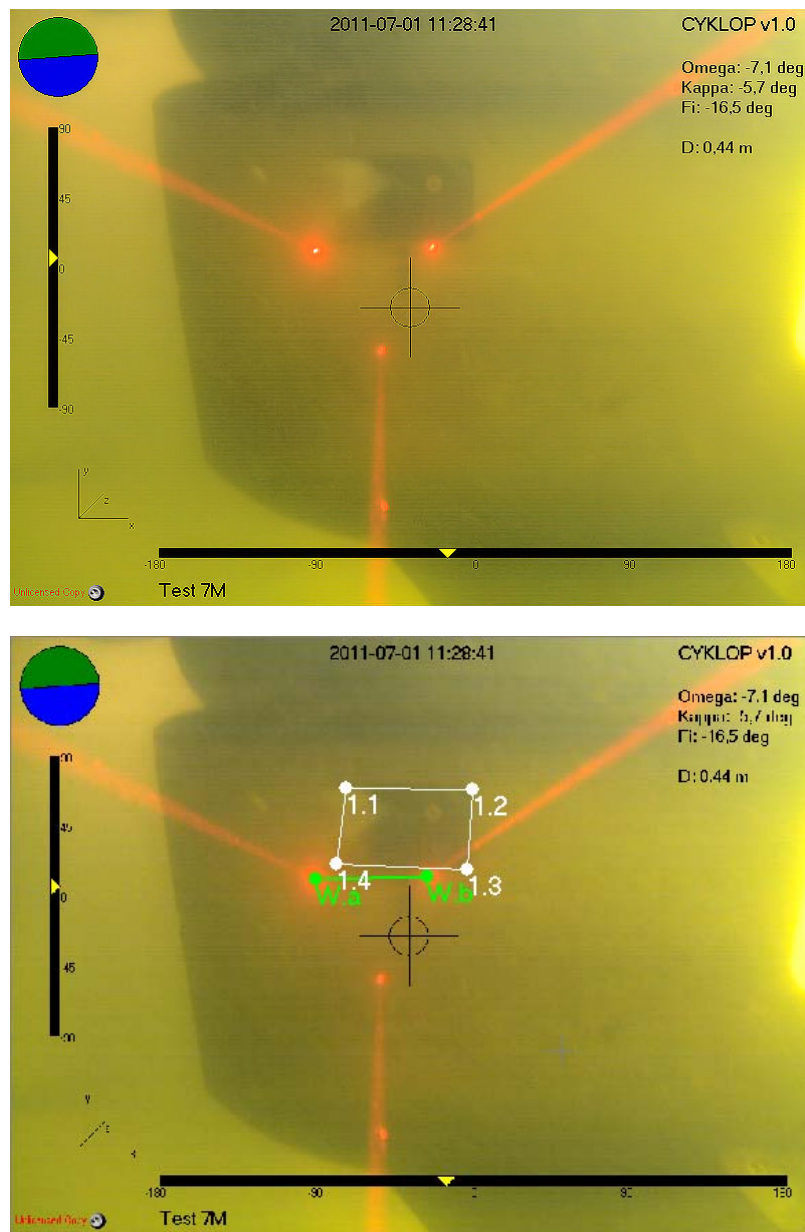
Rys. 7. Nurek pracujący przy obiekcie podwodnym

Pojawił się też inny problem, wynikający z natury środowiska, w którym dokonywane są badania. Woda to środowisko żywe, powodujące rozwój fauny i flory, a ta nie pozostaje obojętną na to, co znajduje się w jej otoczeniu. Element pozostawiony w wodzie na okres kilku nawet godzin w sprzyjających warunkach, staje się siedliskiem dla materii żywej w wodzie. Element, którego powierzchnia odbijała padające na nie promieniowanie i stanowiła bazę dla punktów tłowych, przestaje spełniać to zadanie. Porośnięta bogatą florą, w tym glonami, a w skrajnych przypadkach muszlami, załamuje padające promieniowanie w sposób nieprzewidywalny, a w wielu przypadkach je absorbuje.

Tak więc punkty tłowe w takim środowisku, zwłaszcza o barwie zielonej, stawały się zupełnie niewidoczne, co uniemożliwiało jakiegokolwiek wymiarowanie i prowadzenie skutecznej diagnostyki badanych elementów podwodnych.

W świetle powyższych faktów skłonić się należało ku innemu rozwiązaniu, które brane było pod uwagę od początku jako alternatywne. W kolejnym etapie zastąpiono promieniowanie z zakresu zielonego (532 nm) długością fali odpowiadającej promieniowaniu czerwonemu (640 nm).

<sup>1</sup>) Warstwa eufotyczna to ta, w której obserwowany jest proces fotosyntezy jako mechanizm wytwarzania produkcji pierwotnej – głównego czynnika wpływającego na osłabienie promieniowania optycznego i to właśnie zawartość substancji biologicznych ma zasadniczy wpływ na wartość  $c(\lambda)$ . Grubość warstwy eufotycznej jest od dołu ograniczona tzw. głębokością kompensacyjną, tzn. taką, na której ilość wytworzonego w procesie fotosyntezy tlenu w ciągu dnia równa się ilości tlenu zużytego do oddychania przez ten sam fitoplankton w ciągu całej doby. W praktyce, w okresie lata, głębokość kompensacyjna pokrywa się z głębokością, do której dociera 1% oświetlenia przypowierzchniowego w paśmie długości fal świetlnych o maksymalnej transmisji. Maksymalna grubość warstwy eufotycznej w Bałtyku, zwłaszcza w rejonach bogatych biologicznie, dochodzić może do 23 m [6].



Rys. 8. Obraz analizowanego obiektu podwodnego przy zastosowaniu czerwonych punktów tłówch generowanych przez laser półprzewodnikowy [7]

## 5. PODSUMOWANIE

### 5.1. Środowisko wodne

1. Wskutek wyraźnych, okresowych zmian charakterystyk widmowych transmisji promieniowania widzialnego w południowej części Bałtyku, nie istnieje

jedna optymalna długość fali promieniowania laserowego, propagująca się w wodzie przez cały rok, co może mieć wpływ na skuteczność prowadzenia monitoringu podwodnego badanych obiektów.

2. Analiza posiadanych danych bieżących i archiwalnych 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.
3. Dla wód zatokowych występujących bezpośrednio przy ujściach rzek do morza (obszar o promieniu około  $5 \div 7$  km) następuje przesunięcie maksimum transmisji promieniowania nawet do 660 nm. Uzyskiwane wartości współczynnika  $c(\lambda)$  532 nm mieszczą się w przedziale  $\langle 2,4 \div 6,0 \rangle \text{ m}^{-1}$ , co całkowicie dyskwalifikuje możliwość użycia jakiegokolwiek lasera do prowadzenia pomiaru odległości przy pracach podwodnych.

## 5.2. Aplikacje laserowe

Powyższe zagadnienia poruszają jedynie część aspektów użycia lasera jako źródła wzorca świetlnego w procesie diagnostyki podwodnej, wykorzystującej wizyjne metody analizy obrazów. Starano się w niej przedstawić problemy, jakich należy mieć świadomość przy doborze właściwego lasera do określania odległości w rozpatrywanym akwenie i do generacji punktów tłowych na badanym obiekcie podwodnym.

1. Optymalnym źródłem do poszukiwania i określania położenia obiektów podwodnych w południowym rejonie Bałtyku byłby laser przestrajalny, pracujący w zakresie generacji fal  $\lambda = 540 \div 670$  nm (od barwy zielonej po czerwoną).
2. 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.
3. Na dzień dzisiejszy brak jest praktycznych danych na temat widoczności punktów tłowych o różnych kolorach na różnych powierzchniach o różnym czasie zalegania w wodzie.
4. Należy mieć na uwadze fakt, że do głębokości powyżej 30 m nie dociera światło naturalne i badany obiekt jest często oświetlany światłem sztucznym. Jest to warunek konieczny do analizy optycznej przy użyciu kamery, ale brak jest danych, czy punkt tłowy od najlepiej propagującego się promieniowania zielonego (532 nm) lub żółtego (561 nm) będzie rozpoznawalny w świetle

padającego promieniowania od reflektorów oświetleniowych. Punkty tłowe koloru czerwonego mogą być w takiej sytuacji bardziej widoczne.

5. 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 wykazują prowadzone analizy [1], przy niewielkiej zmianie wartości współczynnika  $c(\lambda)$ , dobór optymalnej długości fali generacji jest bardziej efektywny (zwiększenie zasięgu dalmierza), niż zwiększanie mocy nadajnika laserowego.
6. Wstępna analiza dopuszcza również ze względów ekonomicznych, zastosowanie 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.

## LITERATURA

1. Cywiński A.: Wykorzystanie lasera do poszukiwania i określania położenia obiektu podwodnego, rozprawa doktorska, AMW, 2007.
2. Cywiński A.: Możliwość wykorzystania modelu biologicznego wybranego akwenu wodnego do laserowego wykrywania obiektów podwodnych, Naukowe aspekty techniki uzbrojenia, str. 971-976, WAT, 2008.
3. Cywiński A.: Analiza laserowych źródeł promieniowania do wykonywania pomiarów odległościowych pod wodą, Polish Hyperbaric Research nr 1 (34), str. 55-66, 2011.
4. Cywiński A.: Laserowe wykrywanie obiektów podwodnych, Naukowe aspekty techniki uzbrojenia, str. 977-981, WAT, 2008.
5. Dera J.: Fizyka morza, PWM, Warszawa, 2003.
6. Majewski A. i zespół: Zatoka Gdańska, Wydawnictwo geologiczne, Warszawa, 1990.
7. Olejnik A.: Prace Zakładu Technologii Prac Podwodnych, AMW, 2010.
8. Sagan S.: Transmisja światła w wodach południowego Bałtyku, rozprawa doktorska, Instytut Oceanologii PAN, Sopot, 1991.

*Rękopis dostarczono dnia 29.03.2012 r.*

---

<sup>2)</sup> Na dzień dzisiejszy brak jest danych o zastosowaniu tych diod w konfiguracji jako dalmierz.

SOURCES OF OPTICAL RADIATION  
FOR UNDERWATER WORKS –  
– PROBLEMS AND APPLICATIONS

Artur CYWIŃSKI, Roman OSTROWSKI

**ABSTRACT** *Remote and very precise determination of the dimensions or damage of underwater objects by vision system optics, equipped with various light sources, including laser or sonar, is very important. The optical laser radiation sources becomes a part of supporting the vision examination or inspection of underwater objects of any components and useful in the diagnosis of any objects under the surface. The article combines issues related to photogrammetry, underwater work technology and technical diagnostics. It presents important aspects of using the laser as a source of light in the process of diagnosis using underwater vision image analysis methods. Presented problems, which should be aware during choosing appropriate laser for range in considered water area.*

**Keywords:** *underwater monitoring, laser, background points*



**Dr inż. Artur CYWIŃSKI** – studia ukończył w Wojskowej Akademii Technicznej w 1993 roku. Jest specjalistą w dziedzinie optoelektroniki oraz morskich systemów uzbrojenia. Obecnie kieruje Pracownią Broni Podwodnej w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego i Informatyki AMW, prowadzi badania w zakresie zastosowań laserów w środowisku morskim, w szczególności do poszukiwania obiektów podwodnych. Bierze lub brał udział w kilkunastu grantach oraz projektach celowych związanych z uzbrojeniami techniki morską oraz w kilkudziesięciu pracach naukowo-badawczych. Jest

autorem i współautorem kilkudziesięciu publikacji, referatów i komunikatów prezentowanych w czasopiśmie i na konferencjach naukowych.

**Dr inż. Roman OSTROWSKI** jest specjalistą w dziedzinie fizyki oraz techniki laserów na ciele stałym, oddziaływania impulsowego promieniowania laserowego z materią i metrologii optoelektronicznej. Obecnie prowadzi badania w zakresie zastosowań laserów i optoelektroniki oraz technik ultrafioletowych w detekcji i ochronie przed różnorodnymi zagrożeniami. Brał udział w realizacji programów międzynarodowych SPB „POLLASNET”, COST Akcja G8, COST Akcja G7, projektów inicjatywy EUREKA E!2542 i E!3483 oraz dwustronnych prac badawczo-rozwojowych we współpracy z Hannover Laser Centre (Niemcy). Jest członkiem SPIE. Jest autorem lub współautorem wielu publikacji, referatów i komunikatów prezentowanych w czasopiśmie i na konferencjach naukowych.

