

M. Penkowski

## ZASTOSOWANIE OGÓLNIE DOSTĘPNEGO SPRZĘTU DO LOKALIZACJI OBIEKTÓW DENNYCH

*W artykule przedstawiono praktyczne aspekty prowadzenia poszukiwań i identyfikacji obiektów dennych za pomocą ogólnie dostępnego sprzętu. Omówiono metody hydroakustyczne (echosonda, sonar), magnetyczne (magnetometr) oraz wizualne (kamera, nurek).*

*Selected practical aspects of bottom objects search are presented considering application of homebrew or cheap, widespread equipment. Applications of ultrasound (depth sounder, simple sonar), magnetic (magnetometer) and visual (camera, diver) methods are discussed.*

### WSTĘP

Obserwujemy w ostatnim czasie burzliwy rozwój techniki pozwalający na coraz łatwiejszą penetrację akwenów wodnych. Rozwój nurkowania rekreacyjnego wraz z nurkowaniem technicznym pozwala obecnie na osiągnięcie głębokości dotychczas dostępnych jedynie dla nurków profesjonalnych. Wraz z coraz śmielszą penetracją morza i wód śródlądowych obserwuje się rosnące zainteresowanie technikami lokalizacji i identyfikacji obiektów dennych mogących być potencjalnym celem dla nurka rekreacyjnego, archeologa podwodnego czy specjalisty z innej dziedziny (policja, wojsko). Ograniczone zasoby finansowe osób prywatnych sprawiają, że wachlarz dostępnego sprzętu do poszukiwań podwodnych jest zdecydowanie bardziej ograniczony niż w przypadku instytucji (wojsko, przemysł naftowy). Pomimo tego istniejący wybór sprzętu jest na tyle różnorodny i wszechstronny, że pozwala na uzyskanie wyników poszukiwań niejednokrotnie dorównujących tym, które prowadzą instytucje. Należy pamiętać, iż informacje o podwodnych stanowiskach archeologicznych czy wrakach trafiają do zainteresowanych instytucji (Centralne Muzeum Morskie, Urząd Morski) często od wędkarzy czy amatorów nurkowania.

W niniejszej pracy przedstawiono praktyczne aspekty zastosowania relatywnie taniego sprzętu do lokalizacji obiektów dennych. Omówiono na konkretnych przykładach zastosowanie poszczególnych przyrządów i wyniki prowadzonych poszukiwań. W przypadku poszukiwań sonarowych przedstawiono aspekt jakości lokalizacji obiektów drewnianych przebywających długo w środowisku wodnym.

### 1. CHARAKTERYSTYKA METOD LOKALIZACJI

W środowisku wodnym dysponujemy następującymi metodami do lokalizacji obiektów:

- hydroakustyczne, wykorzystywane są fale ultradźwiękowe, typowe urządzenia to echosonda i sonar.
- magnetyczne, wykorzystywany pomiar indukcji pola magnetycznego ziemskiego (magnetometr protonowy lub transduktorowy) albo pomiar pola magnetycznego wytwarzanego przez głowicę detekcyjną (wykrywacz metali).
- wizualne, wykorzystywane światło widzialne (kamera, nurek).

### 1. 1 ECHOSONDA I SONAR BOCZNY

Zdecydowanie najszerzej rozpowszechnione jest zastosowanie metod hydroakustycznych. Najczęstszym urządzeniem są echosondy wędkarskie. W ostatnich latach na rynku pojawiło się wiele modeli echosond wędkarskich, o cenie rzędu kilkuset PLN. Masowość produkcji wymusiła wzrost niezawodności i większość modeli nie stwarza kłopotów w długotrwałej eksploatacji w zimnych wodach Morza Bałtyckiego czy jezior. Polepszenie technologii laminowania przetworników ultradźwiękowych sprawia, że ten element najbardziej narażony na uszkodzenia mechaniczne przestał być „piętą achillesową”.

Wiele akcji lokalizacji wraków na morzu było z powodzeniem przeprowadzane przy użyciu echosond („Itzhoe” w okolicy Łeby, większość wraków Zatoki Gdańskiej, wraki Ławicy Słupskiej). Pomimo tego faktu należy pamiętać, że najbardziej istotnym ograniczeniem zastosowania echosondy jest mała średnica wiązki ultradźwiękowej. Typowy kąt wiązki zawiera się w granicach od  $12^{\circ}$  do  $24^{\circ}$ . W praktyce oznacza to, że przy głębokości wody 20 metrów obserwowany pas ma szerokość od 4 do 8 metrów. Jak widać, przeszukanie obszaru o powierzchni zaledwie hektara za pomocą echosondy o wiązce  $12^{\circ}$  wymaga pływania kursami oddalonymi od siebie o 4 metry. Sumaryczna pokonana odległość wynosi w tym przypadku 2500 m. Odległość ta maleje dwukrotnie dla echosondy z wiązką  $24^{\circ}$  aczkolwiek należy mieć na uwadze fakt, że każda echosonda przy wizualizacji struktury dna uśrednia wartości głębokości co powoduje pominięcie przedmiotów zajmujących małą część przekroju wiązki w rejonie dna. Dlatego w przypadku echosondy z szerszą wiązką pokrywany jest szerszy pas dna aczkolwiek większe jest prawdopodobieństwo pominięcia przedmiotów o wymiarach pojedynczych metrów.

Dla zrozumienia jak niska jest efektywność echosondy w poszukiwaniach obiektów dennych wystarczy zauważyć, że obszar widzenia przeciętnej echosondy odpowiada obserwacji wnętrza pomieszczenia przez dziurkę od klucza!

Urządzeniem o nieporównanie większej efektywności jest sonar boczny. Dotychczas czynnikiem skutecznie ograniczającym zastosowanie tego urządzenia do poszukiwań amatorskich była cena. W związku ze specjalistycznym charakterem urządzenia rzadko pojawia się ono na rynku wtórnym a ceny sprzętu używanego, pochodzącego z lat siedemdziesiątych lub osiemdziesiątych są rzędu kilku tysięcy USD.

Sytuacja uległa zmianie około trzech lat temu gdy amerykańska firma Humminbird produkująca szeroki wachlarz sprzętu dla wędkarzy i rybaków wprowadziła do swojej oferty sonar boczny model 987C. Jest to pierwszy, relatywnie tani sonar boczny, wyposażony w odbiornik GPS oraz opcje mapowe. Od chwili wprowadzenia tego modelu na rynek cena jego nie przekraczała 2000 USD i należy spodziewać się jej spadku w przypadku urządzeń nabywanych z drugiej ręki.

Sonar 987C ma następujące parametry (1);

- moc w impulsie: 8000W
- wiązki echosondy: 200 kHz o kącie  $20^{\circ}$ , oraz 50 kHz o kącie  $74^{\circ}$
- wiązki sonarowe (boczne) o przełączanej częstotliwości: 262 kHz i kącie  $180^{\circ}$ / 455 kHz i kącie  $160^{\circ}$
- maksymalna głębokość wody dla echosondy: 780 m
- maksymalny zasięg wiązek bocznych: po około 130 m
- rozdzielczość przestrzenna: 6 cm
- zasilanie: 10-20V DC/1A
- rejestracja obrazu: wyświetlacz kolorowy LCD

Sonda sonaru jest mocowana do pawęży, nie holowana. Długość sondy to kilkanaście cm. Całkowita masa sonaru nie przekracza kilku kilogramów (bez źródeł zasilania).



Rys. 1. Sonar Humminbird 987c. Po lewej stronie widoczna antena odbiornika GPS. Przetwornik sonaru i echosondy po stronie prawej, na białej pokrywie konsoli. Pod przetwornikiem akumulator zasilający (niewidoczny). Całość zabudowana w przenośnej skrzynce plastikowej ułatwiającej transport zestawu.

Niewątpliwą zaletą urządzenia jest niska masa i mały pobór energii co pozwala używać je jako przenośne. W praktyce akumulator ołowiony niewylewny (żelowy) o pojemności 9 Ah wystarcza na około 8 godzin ciągłej pracy. Dotkliwy jest brak możliwości rejestracji obrazu w jakiegokolwiek formie poza obserwacją wizualną ew. wykonywaniem zapisu fotograficznego ekranu LCD. Według producenta pawężowa lokalizacja sondy ogranicza głębokość przeszukiwanych akwenów do 30 metrów. Przy większej głębokości plastyczność obrazów akustycznych jest zdecydowanie niższa niż w przypadku sondy holowanej prowadzonej bliżej dna, z powodu mniejszego kąta padania wiązki ultradźwięków a co za tym idzie krótszych cieni za przedmiotami dennymi. Oprócz tego zaczyna być widoczny wpływ kołysania jednostki sztywno połączonej z sondą. Pomimo tego w praktyce wielokrotnie wykorzystywano omawiane urządzenie do identyfikacji przeszkód przy głębokościach dochodzących do 70 metrów. Bardzo istotną zaletą jest brak stref martwych podczas pracy sonaru, pokrywanych poprzez wiązki echosondy.

Rozdzielczość rzędu pojedynczych centymetrów pozwala w przypadku płytkich obiektów takich jak zatopione wraki łodzi rybackich itp. zaobserwować pojedyncze deski poszycia.

Poszukiwania przy zastosowaniu metod hydroakustycznych związane są z wieloma problemami stwarzanymi zarówno przez warunki w miejscu obserwacji jak i same obiekty. Niektóre klasy obiektów charakteryzują się znakomitym kontrastem akustycznym, natomiast inne są prawie niewidoczne lub trudne do odróżnienia od zakłóceń. W celu zrozumienia od czego zależy jakość obrazu należy zapoznać się z podstawowymi parametrami przedmiotów istotnych z punktu widzenia hydroakustyki. Wielkością charakteryzującą własności akustyczne przedmiotu jest tzw. opór akustyczny dany wzorem:

$$z = \rho \cdot v \quad [1]$$

gdzie:  $z$  – opór akustyczny w  $[\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ ,  $\rho$  - gęstość w  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  $v$  – prędkość dźwięku w  $[\text{m}/\text{s}]$ .

Obraz sonarowy jest tworzony przez falę akustyczną odbitą od przedmiotu. Natężenie fali odbitej jest wprost proporcjonalne do współczynnika odbicia opisanego wzorem:

$$R = \left[ \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right]^2 \quad [2]$$

gdzie:  $R$  – współczynnik odbicia [-],  $z_1$  – opór akustyczny środowiska, z którego pada fala ultradźwiękowa w  $[\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ ,  $z_2$  - opór akustyczny środowiska, do którego pada fala ultradźwiękowa w  $[\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ ,

Wartość liczbowa współczynnika odbicia może zmieniać się od zera (brak odbicia) do jedności (całkowite odbicie). W przypadku wody  $\rho$  - 1000  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  $v$  – 340  $[\text{m}/\text{s}]$ . Dla żelaza wartości te są równe odpowiednio:  $\rho$  - 7800  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  $v$  – 5800  $[\text{m}/\text{s}]$ . Jak można wyliczyć ze wzoru [1] odpowiednie wartości oporów akustycznych są równe  $3,4 \cdot 10^5$   $[\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ , oraz  $452 \cdot 10^5$   $[\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ . Po podstawieniu do wzoru [2] na współczynnik odbicia  $R$  daje to wartość zbliżoną do jedności. Jak widać od przedmiotu stalowego fala ultradźwiękowa odbija się w całości dając mocne i wyraźne echo na obrazie sonarowym lub z echosondy.

Zupełnie inaczej wygląda sytuacja w przypadku przedmiotów drewnianych, które długo przebywały w środowisku wodnym. W wyniku procesów rozkładu zachodzi zmniejszanie się zawartości materii organicznej i nieorganicznej zastępowanej przez wodę, w wyniku czego drewno własnościami upodabnia się do wody, tym bardziej im czas oddziaływania środowiska wodnego jest dłuższy. Gatunki spoiste (jak np. dąb) podlegają temu procesowi w mniejszym stopniu niż miękkie (jak np. sosna, brzoza). Opór akustyczny mokrego drewna silnie zależy od częstotliwości, zaś jego wartości są zbliżone do oporu akustycznego wody w zakresie niskich częstotliwości. W wyniku tego współczynnik odbicia  $R$  przyjmuje wartości zbliżone do zera. W zakresie wyższych częstotliwości opór akustyczny mokrego drewna rośnie zaś wody pozostaje niezmienny. Powoduje to wzrost współczynnika odbicia i wzrost kontrastu obrazu przedmiotu.

Istotnie, w przypadku obrazów sonarowych kontrast wraków drewnianych jest wyższy w zakresie wysokich częstotliwości (455 kHz w porównaniu z 262 kHz), a także elementy wykonane z dębiny (np. dennica „Solena”) są widoczne bardziej kontrastowo niż wraki wykonane z drewna sosnowego (np. wrak „łyżwy” na dnie Zatoki Gdańskiej).

Zwiększenie częstotliwości ultradźwięków związane jest z jeszcze jednym aspektem wizualizacji jakim jest stopień tłumienia sygnału w środowisku wodnym. Wraz ze wzrostem częstotliwości rośnie tłumienie fali ultradźwiękowej w wodzie, co w praktyce powoduje ograniczenie zasięgu wiązek sonarowych odwrotnie proporcjonalne do częstotliwości. W praktyce przekłada się to na ograniczenie maksymalnego użytecznego zasięgu obrazowania sonarowego z nieco ponad 100 metrów dla częstotliwości 262 kHz do około 60-70 metrów dla częstotliwości 455 kHz (dla sonaru Humminbird 987C). Oczywiście w przypadku urządzeń stacjonarnych o większej mocy dysponowanej zasięgi te mogą być odpowiednio większe.

Ostatnim spośród urządzeń ultradźwiękowych, które pragnę przedstawić jest ręczna echosonda. Urządzenie służy do pomiaru odległości w środowisku wodnym. Podstawowe parametry:

- częstotliwość: 200 kHz
- kąt rozwartości wiązki: 24°
- zasięg: do 80 m
- wodoszczelność: do głębokości 50 m
- rozdzielczość: 0,1 m
- waga: 200g
- zasilanie: bateria 9V.

Relatywnie wysoka rozdzielczość pomiaru odległości (0,1 m) i wodoszczelność pozwalają wykorzystać urządzenie do pomiaru odległości w wodzie zarówno z powierzchni jak i przez nurka. W praktyce zastosowanie tej echosondy jest podobne jak taśmy mierniczej. W celu pomiaru długości np. wraku, rury, itp. wystarczy wykorzystać drugiego nurka zlokalizowanego na drugim końcu przedmiotu i służącego za „ekran” odbijający ultradźwięki. Metoda ta pomimo prostoty do odległości 40-50 metrów daje wyniki porównywalne z pomiarem za pomocą taśmy stalowej lub parcianej (dokładność +/- 0,1 m).



Rys. 2. Echosonda ręczna. Widoczny wyświetlacz LCD oraz włącznik monostabilny, którego przesunięcie powoduje wykonanie pojedynczego pomiaru. Jeżeli przycisk nie zostanie przesunięty ponownie w czasie 15 s, echosonda przechodzi w stan uśpienia.

Innym zastosowaniem jest lokalizacja obiektów dennych przez nurka w warunkach znacznie ograniczonej widoczności (mętna woda, nurkowanie nocne). W przypadku weryfikacji nurkowej obiektów dennych położonych na większej głębokości (powyżej 30-40 metrów) niewielkie błędy w postawieniu liny opustowej z powierzchni sprawiają, że nurek nie trafia na przedmiot i zmuszony jest do prowadzenia żmudnego poszukiwania za pomocą ogólnie przyjętych technik (zataczanie kręgów, penetracja w cztery strony od położenia obciążnika, poszukiwania losowe). Ręczna echosonda pozwala na bardzo szybkie ustalenie kierunku, w którym zlokalizowany jest obiekt i określenie jego odległości od liny opustowej.

## 1. 2 MAGNETOMETR

Znacząca liczba przedmiotów dennych posiada w swojej strukturze elementy żelazne bądź stalowe. W tym przypadku alternatywną metodą lokalizacji jest metoda magnetyczna. Stosowane są dwie odmiany tej metody: pasywna, wykorzystująca zmianę wartości indukcji ziemskiego pola magnetycznego spowodowaną obecnością przedmiotu stalowego, oraz aktywna, wykorzystująca pole generowane intencjonalnie. Tu mowa o różnych typach wykrywaczy metali. Przewagą metody pasywnej jest

zdecydowanie większy zasięg. Do pomiaru wartości indukcji ziemskiego pola magnetycznego wykorzystywane są zasadniczo dwa typy magnetometrów: protonowe (impulsowe, Overhausera) oraz transduktorowe (2,3).

Ziemskie pole magnetyczne ma w rejonie południowego Bałtyku wartość około 50000[nT] ( $1 \text{ [nT]} = 10^{-9} \text{ [T]}$ ). Wartość ta nie jest niezmienna a podlega niewielkim i powolnym zmianom. Zmiany te zazwyczaj są na tyle wolne, że można przyjąć, iż w trakcie poszukiwań pole magnetyczne w danym obszarze nie zmienia się w czasie. Przedmioty ferromagnetyczne powodują odkształcenie pola magnetycznego zmieniając zarówno jego kierunek jak i wartość. Fakt ten jest wykorzystywany do lokalizacji obiektów zawierających elementy żelazne.

Magnetometr stosowany do poszukiwań powinien mieć czułość pozwalającą na pomiar ziemskiego pola magnetycznego z dokładnością lepszą lub równą 1 [nT]. Kryterium to spełniają oba wspomniane typy magnetometrów. Czujnik pola magnetycznego powinien być holowany w pewnym oddaleniu od kadłuba jednostki, z której prowadzone są poszukiwania w celu minimalizacji zaburzeń magnetycznych pochodzących od kadłuba czy elementów wyposażenia. Oba typy magnetometrów różnią się nieco pomiędzy sobą. Magnetometr protonowy mierzy wartość indukcji pola w zasadzie niezależnie od ustawienia przestrzennego czujnika. Magnetometr transduktorowy posiada charakterystykę kierunkową i mierzy jedynie składową pola w kierunku osi głównej sondy. Stąd wartość mierzona będzie silnie zależała od lokalizacji przestrzennej sondy w stosunku do kierunku wektora indukcji magnetycznej pola ziemskiego. Pozwala to na lokalizację źródła anomalii magnetycznej. W przypadku poszukiwań polegających na przeszukaniu dużych akwenów, bezkierunkowa charakterystyka magnetometru protonowego jest jego zaletą, ponieważ pozwala w krótkim czasie pokryć pomiarami duży obszar. Magnetometr protonowy umożliwia także zlokalizowanie źródła anomalii, aczkolwiek jest to okupione nieco większą pracochłonnością, ponieważ wymaga wykonania pomiarów wzdłuż dwóch wzajemnie prostopadłych linii i na tej podstawie oszacowanie położenia źródła anomalii.

Zaburzenie ziemskiego pola magnetycznego przez przedmiot żelazny zależy od masy tego przedmiotu i jego rozciągłości. Innymi słowy spośród dwóch przedmiotów o tej samej masie dłuższy będzie wykrywalny z większej odległości.

Dla przedmiotów o kształcie zbliżonym do kuli łatwa do zapamiętania jest reguła, mówiąca, że przedmiot o masie 1 tony wywołuje anomalię o wielkości 1 [nT] z odległości 30 metrów. W praktyce przyjmując czułość magnetometru rzędu 1 [nT] zasięgi na przykładowe obiekty podano poniżej:

- beczka stalowa 200 l: 13 m
- kotwica stalowa 2 tony: 18 m
- samochód osobowy o masie 1 tony: 15 m
- autobus o masie 4 ton: 35 m
- kuter rybacki o masie 25 ton: 100 m
- wrak stalowy o masie 400 ton i długości 120 metrów: 270 m
- kabel stałoprądowy energetyczny denny: 400m
- ścianka Larsena o długości 100m: 130 m
- torpeda: 20 m
- samolot myśliwski z II wojny: 30 m.

Podane zasięgi pochodzą z konkretnych pomiarów w warunkach morskich. Odległości są mniejsze niż wynika to z przytoczonej poprzednio reguły, ponieważ na dokładność pomiaru wpływają takie czynniki jak ruch wzajemny jednostki i sondy, zakłócenia od instalacji jednostki, itp.

Magnetometry protonowe jako urządzenia specjalistyczne oferowane są w cenach rzędu kilku do kilkunastu tysięcy USD. Biorąc pod uwagę fakt, że nie wszystkie

z tych urządzeń spełniają kryterium mobilności, ponieważ z założenia przeznaczone są na wyposażenie jednostek specjalistycznych, oferta urządzeń przenośnych jest ograniczona. Wszystkie wymienione czynniki zdecydowały o podjęciu budowy magnetometru protonowego na precesji swobodnej. W wyniku prac powstał morski magnetometr protonowy o następujących parametrach:

- zakres mierzonej indukcji magnetycznej: 48000[nT] – 51000[nT]
- rozdzielczość 0,2 [nT]
- czas repetycji: 1[s], 3[s]
- stabilność długookresowa: 1[nT]
- zasilanie: 12[V]/ 1[A], akumulator 9 [Ah]
- sonda holowana o wymiarach 15 [cm], 60 [cm] i masie 4 kg
- kabel o długości 40 [m]
- odczyt: cyfrowy, wskaźnik LCD
- masa konsoli: 4 [kg]
- klasa IP68

W praktyce magnetometr stosowany jest w przedstawionej wersji od 1998 roku.

Z punktu widzenia przydatności do poszukiwań magnetometrycznych jednostka musi spełniać pewne minimalne wymagania. Najlepiej gdy posiada kadłub nieferromagnetyczny (laminatowy, drewniany). Pozwala to na prowadzenie sondy w niedużej odległości od rufy. Odległość ta zależna jest w praktyce od zakłóceń pochodzących z instalacji napędowych oraz momentu magnetycznego jednostki. Bliższa odległość sondy od jednostki przekłada się na dokładniejsze pozycjonowanie, ponieważ odbiornik GPS zlokalizowany jest na pokładzie i pozycja sondy wymaga wprowadzenia poprawki, tym mniejszej im odległość sondy jest mniejsza. Prowadzenie poszukiwania z jednostki o kadłubie stalowym stwarza znaczące utrudnienia, ponieważ mało praktyczne jest oddalanie sondy na odległość przy której wpływ jednostki jest nieznaczący. W praktyce należy pogodzić się z pracą przy pewnej wartości anomalii pochodzącej od kadłuba jednostki. Kłopot sprawia fakt, że wartość tej anomalii nie jest niezmienna, a zależy od kursu jednostki w stosunku do wektora indukcji magnetycznej pola ziemskiego. Innym istotnym źródłem błędów jest moment nawrotu, gdy sonda na długim kablu podąża poprzednim kursem, zbliżając się do kadłuba jednostki.



rys. 3. Magnetometr protonowy. Widoczna biała konsola, żółta sonda wraz z kablem na bębnie oraz krótki kabel łączący bęben z konsolą. Źródło zasilania umieszczone wewnątrz konsoli. Po lewej stronie konsoli widoczny włącznik, po prawej przełącznik zakresu pomiarowego indukcji pola magnetycznego.

Podczas pomiarów magnetometrycznych należy pamiętać o zakłóceniach zewnętrznych. Sygnał pochodzący z sondy magnetometru protonowego jest rzędu mikrowoltów, toteż niewielkie napięcia zakłócające indukowane na kablu mogą zupełnie uniemożliwić pomiary. W praktyce wymaga to lokalizacji kabla i konsoli możliwie daleko od instalacji elektrycznych, zapłonowych itp. W pewnych sytuacjach eliminacja źródeł zakłóceń nie jest możliwa. Przykładem może tu być nieudana próba poszukiwań z pokładu pontonu hybrydowego napędzanego silnikiem z zapłonem elektronicznym. Ta sama jednostka po zmianie napędu na silnik z zapłonem sterowanym mechanicznie nie wykazywała mierzalnego poziomu zakłóceń. Stosowanie kabla ekranowanego nie zapewnia pełnej eliminacji zakłóceń, ponieważ w praktyce skuteczność ekranowania rzadko przekracza 80[dB]. Dodatkowym źródłem zakłóceń rzadko branych pod uwagę mogą być naprężenia mechaniczne w kablu. Należy dbać aby sonda była holowana za pomocą oddzielnej liny, bez przenoszenia naprężeń na kabel.

Siła sygnału z sondy zależy od kąta pomiędzy osią sondy i wektorem indukcji pola ziemskiego. Sygnał ma największą wartość gdy oś sondy jest prostopadła do wektora indukcji. Wynika z tego praktyczne wskazanie by w miarę możliwości prowadzić poszukiwania poruszając się wzdłuż linii wschód – zachód, a nie północ – południe. W rejonie południowego Bałtyku stosując się do tych zaleceń można liczyć na około dwukrotny wzrost siły sygnału.

Porównując magnetometr protonowy z transduktorowym, należy wspomnieć o zdecydowanie mniejszym poborze energii przez ten ostatni. Magnetometry transduktorowe jako posiadające charakterystykę kierunkową są czułe na niewielkie zmiany kierunku położenia sondy w przestrzeni i w praktyce stosuje się układy różnicowe pełniące funkcję gradientometru (5,6). Pomimo tego o czułości decyduje sztywność zamocowania przetworników i trudno jest osiągnąć stabilność porównywalną ze stabilnością magnetometru protonowego (sam przetwornik transduktorowy wykonany przy wykorzystaniu dostępnych materiałów może mieć czułość o rząd lepszą od magnetometru protonowego – około 0,01[nT]). Zwykle odkształcenia mechaniczne i termiczne zamocowania przekładają się w najlepszym przypadku na czułość rzędu kilku [nT] w warunkach morskich.

Inne typy magnetometrów (cezowe, rubidowe) nie są możliwe do wykonania amatorskiego bez odpowiedniego zaplecza laboratoryjnego.

Czułość magnetometru protonowego pracującego w oparciu o efekt Overhausera jest o rząd lepsza od magnetometru opartego na precesji swobodnej, aczkolwiek znacznie większe są trudności wykonania przetwornika, który podlega relatywnie szybkiej degradacji wymagając serwisu (wymiana cieczy roboczej) co około rok. Ciecz robocza w magnetometrze Overhausera nie jest ogólnie dostępna (w odróżnieniu od wypełnienia sondy magnetometru protonowego na precesji swobodnej) i wymaga przygotowania w warunkach laboratoryjnych (4). W magnetometrach na precesji swobodnej cieczą roboczą może być nafta, benzyna lub woda, zawierające ewentualne dodatki umożliwiające częstszą repetycję odczytów.

### 1. 3KAMERA

Obserwacja wizualna pozwala na uzyskanie obrazu dna wymagającego najmniej doświadczenia podczas interpretacji. Zdecydowanym utrudnieniem w szerokim zastosowaniu tej metody jest duża ilość zawiesin w wodach jezior i Bałtyku. Obecność zawiesiny powoduje dwa efekty: rozproszenie i pochłanianie światła. Oba powodują spadek widoczności przedmiotów dennych. Bez wnikania w dosyć złożoną teorię, wystarczy powiedzieć, że w warunkach niezłej widoczności (zasięg widoczności tarczy Secchiego 10 m), do głębokości 8 metrów dociera zaledwie około 1% światła padającego na powierzchnię wody (Zatoka Gdańska, wiosna, godziny okołopołudniowe). W praktyce przez większą część roku sytuacja jest zdecydowanie



gorsza od przedstawionej. Jak widać zasięg lokalizacji optycznej w porównaniu z hydroakustyczną czy magnetyczną jest mniejszy. Zdecydowaną zaletą jest największa szczegółowość obserwacji.

Wody Bałtyku i jezior zawierające sporą ilość rozpuszczonej materii organicznej mają charakterystyczną zieloną barwę pochodzącą zarówno od chlorofilu glonów jak i uwolnionego w procesie degradacji tkanek roślin. W praktyce powoduje to selektywną absorpcję promieniowania świetlnego przez wodę, w wyniku której barwa zielona dociera najgłębiej natomiast dopełniająca do niej barwa czerwona jest pochłaniana najszybciej. Dominacja barwy zielonej sprawia, że oświetlenie przedmiotów dennych jest prawie monochromatyczne, a natężenie tego oświetlenia jest słabe. Wynika z tego wniosek, iż wykorzystanie do lokalizacji obiektów dennych kamer kolorowych mija się z celem, chyba, że zastosowane zostanie oświetlenie sztuczne (7).

Do lokalizacji optycznej wykorzystuje się obecnie najczęściej zminiaturyzowane kamery z kablową transmisją sygnału. Zanika obecnie stosowanie kamer telewizyjnych na korzyść wykonanych w technologii CMOS lub CCD.

Dwa ostatnie typy kamer mają porównywalną cenę (nieco tańsze są kamery w technologii CMOS), a także w obu technologiach są produkowane kamery czarno-białe oraz kolorowe. Przy wyborze kamery należy brać pod uwagę fakt różnej czułości obu typów kamer. Kamery czarno-białe są zdecydowanie czulsze i umożliwiają rejestrację przy słabszym oświetleniu niż kolorowe. Przy relatywnie niskich poziomach oświetlenia, rzędu pojedynczych luxów zdecydowanie wyższa jest czułość kamer CCD, zapewniając wyraźniejszy obraz. Szczególnie jest to wyraźne przy porównywaniu kamer czarno-białych obu typów. Tanie kamery CCD zapewniają czułość rzędu 0,01 luxa, gdy analogiczne kamery CMOS mają czułość o co najmniej rząd wielkości gorsza.

W praktyce podczas obserwacji dna należy mieć na uwadze, że zasięg obserwacji wizualnej jest zdecydowanie większy niż za pomocą kamery. Fakt ten jest pochodną lepszej obserwacji słabo kontrastowych obiektów za pomocą oka niż kamery. Mózg ludzki dokonuje analizy obrazu uwypuklając słabo kontrastowe elementy. Przekłada się to na około dwukrotnie mniejszy zasięg kamery w porównaniu z wizualnym (gdy widoczność obiektów w ocenie nurka wynosi 10 metrów, z kamery należy się spodziewać zasięgu około 5 metrów).

W przypadku ograniczenia zasięgu obserwacji przez rozproszenie i pochłanianie światła na zawieszynie nie należy się spodziewać drastycznej poprawy w wyniku zastosowania oświetlenia. Dodatkowe rozproszenie światła na zawieszynie osłabia kontrast obserwacji zmniejszając zasięg. Skuteczniejsze jest zastosowanie kamery o wyższej czułości bez dodatkowego oświetlenia. Rozwiązanie to jest oczywiście skuteczne do głębokości, na które dociera ilość światła wystarczająca do poprawnego funkcjonowania kamery. Podczas poszukiwań w nocy, przy niskim oświetleniu zewnętrznym lub głęboko, źródło światła jest koniecznością.

Przy wyborze źródła światła dla kamery czarno-białej barwa nie jest obojętna. Pod uwagę należy wziąć dwa czynniki. Pierwszym jest zależność pochłaniania światła w wodzie od jego barwy a drugim rozproszenie na zawieszynie. Najmniejsze pochłanianie a zatem największy zasięg oświetlenia zapewnia barwa zielona. Rozproszenie zależy od długości fali i maleje wraz z jej wzrostem, czyli przy przechodzeniu od barwy fioletowej do czerwonej. Biorąc pod uwagę oba czynniki najbardziej zasadne jest zastosowanie oświetlenia zielonego lub żółto-zielonego. Źródła światła białego emitują dużo energii, która będzie pochłonięta lub, co gorsza, rozproszona. Dlatego przy źródłach światła białego uzasadnione jest stosowanie filtrów przepuszczających barwę żółto-zieloną ewentualnie stosowanie źródeł monochromatycznych o tej barwie. W ostatnich czasach pojawiły się diody elektroluminescencyjne dużej mocy (LED) pozwalające na dużą swobodę w budowie oświetlenia. Diody o barwie zielonej czy żółtej emitują światło prawie zupełnie

monochromatyczne, idealnie dopasowujące się do „okna przepuszczalności” wody morskiej.

Korzystnym czynnikiem w przypadku diod LED jest ich zdecydowanie większa sprawność energetyczna w porównaniu ze źródłami termicznymi (żarówki zwykłe i halogenowe, lampy łukowe, itp.). Rozproszenie światła na zawieszynie w przypadku oświetlenia zintegrowanego z nośnikiem kamery jest nieuniknione, ale można je minimalizować poprzez odsunięcie źródła światła poza kamerę tak, by w okolicy kamery natężenie światła rozproszonego osiągnęło akceptowalny poziom. Odległość umieszczenia oświetlenia za płaszczyzną obiektywu wyznacza się w praktyce doświadczalnie. Jest ona zależna od wielu czynników słabo poddających się analizie teoretycznej.

Do obserwacji obrazu z kamery wykorzystywane mogą być monitory telewizji przemysłowej (z lampą kineskopową lub ciekłokrystaliczne (LCD)). Pewną dodatkową zaletą w warunkach morskich jest możliwość zasilania z instalacji niskonapięciowej (zazwyczaj 12V).

Prowadzenie obserwacji podczas ruchu jednostki wymaga ustabilizowania położenia kamery podczas jej ruchu w wodzie. Najlepszym relatywnie prostym rozwiązaniem jest zastosowanie depresora, pod którym może być podczepiona kamera i ew. oświetlenie. Zastosowanie depresora pozwala na zmniejszenie odległości kamery za rufą jednostki podczas holowania oraz ustabilizowanie wysokości nad dnem. Zastosowanie depresora hydrodynamicznego jest rozwiązaniem zdecydowanie korzystniejszym niż jedynie pasywnego balastu na kablu, ponieważ pozwala na stabilniejszą pozycję kamery, szczególnie przy większych prędkościach. Dołączenie niewielkiej bojki do depresora pełni dwojaką rolę: informuje nas o realnej pozycji kamery w stosunku do jednostki oraz w razie zgubienia depresora pozwala na jego lokalizację. Należy pamiętać, że linka bojki stwarza dodatkowy opór, wpływając na ruch depresora i dlatego powinna być jak najcieńsza.

Holowanie depresora w przypadku nawet niewielkiego falowania sprawia, że ruch jednostki przenoszone są poprzez kabel na kamerę powodując periodyczne zmiany położenia linii obserwacji. W pewnym stopniu można temu zapobiec wprowadzając w bieg kabla jedną lub kilka pętli z gumy. Dobierając doświadczalnie długość i twardość gumy przenoszącej siłę na depresor najczęściej udaje się wyeliminować „myszkowanie”.

Przy długości kabla rzędu kilkudziesięciu metrów do transmisji sygnału wykorzystuje się jedynie kable koncentryczne. Tanie kable parowe (tzw. skrętki) wykazują dużą dyspersję stratności i powodują przy tych odległościach degradację obrazu. Oprócz tego brak ekranu sprawia, że nie są odporne na zakłócenia. W żadnym przypadku kabel nie powinien przenosić obciążeń mechanicznych, ponieważ doprowadza to do szybkiego uszkodzenia przewodów sygnałowych. Szczególnie podatne na to zjawisko są tanie kable koncentryczne, w których dochodzi do przerwania oplotu ekranującego. Dopuszczalne są kable zbrojone linką stalową używane do kładzenia instalacji napowietrznych, ale jeszcze lepiej jest uzbroić kabel niezależną linką stalową łączoną z kablem w dużych odstępach w sposób zapobiegający przenoszeniu naprężeń na kabel. Szybka degradacja oplotu kabla następuje w wyniku kontaktu z wodą morską. Kabel z nieszczelną powłoką izolacyjną zazwyczaj ulega szybkiemu uszkodzeniu w wyniku korozji chlorkowej. Zaizolowanie nieszczelności w przypadku gdy doszło do wtargnięcia wody pod powłokę izolacyjną rzadko daje trwały rezultat.

Przeprowadzano pewną liczbę lokalizacji za pomocą kamery z depresorem o następujących parametrach:

- kamera CCD czarno-biała
- obiektyw: ogniskowa 4 mm

- czułość: 0,01 lx
- rozdzielczość 420 linii
- zasilanie: 12V DC/ 60 mA, (przez kabel sygnałowy)
- kabel: RG58U o długości 100 m, zbrojony niezależną linką stalową 2 mm
- depresor o rozpiętości 50 cm i długości 35 cm
- bez oświetlenia
- monitor: CCTV, zasilanie 12 V DC/1 A

W praktyce stosowanie zestawu było ograniczone do okresów gdy widoczność była dobra. W okresie letnim wraz ze spadkiem widoczności użyteczność zestawu drastycznie spada, (szczególnie w rejonie Zatoki Gdańskiej i ujścia Wisły).

## 2. ZAKOŃCZENIE

Niniejszy artykuł nie jest systematycznym przeglądem możliwości sprzętowych danej dziedziny i niektóre kwestie nie zostały w nim wzmiankowane (wykorzystanie nurków do poszukiwań wizualnych, kwestie budowy depresora do kamery, itp.). Celem autora było przedstawienie własnych prac i zwrócenie uwagi osób zainteresowanych na pewne problemy, których ominięcie pozwoli na szybsze osiągnięcie celu.

## WYKAZ LITERATURY

1. Humminbird: "Installation and Operations Manual 981c SI, 987c SI Combo", Humminbird, Eufala AL., USA, 2005
2. Buchanan A., „Instruments for Mapping the Ocean Floor”, str. od 318 do 325, IEEE Transactions on Geoscience Electronics, October 1970
3. Scintrex: „Magnetic Applications Guide”, GEO F/X, Ontario, Canada, 1996,
4. Kernevez H., Glenat H., „Description of a high sensitivity CW scalar DNP-NMR magnetometer”, str od 5202 do 5204, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 27, no. 6, November 1991.
5. Primdahl F., „The fluxgate magnetometer”, str. od 241 do 253, J. Phys. E: Sci. Instrum., vol.12, 1979, Great Britain
6. Nielsen O.V., Petersen J.R., Primdahl F., Brauer P., Hernando B., Fernandez A., Merayo J.M.G., Ripka P., „Development, construction and analysis of the Orsted fluxgate magnetometer”, str. od 1099 do 1115, Meas. Sci. technol. vol. 6, 1995, UK
7. Beker L., Kaczyński R., „Fotografia i fotogrametria podwodna”, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1985

*Recenzent: dr inż. Adam Olejnik Akademia Marynarki Wojennej*

Autor: dr n. med. Michał Penkowski  
Katedra i Zakład Fizyki i Biofizyki Akademii Medycznej w Gdańsku,  
Dębinki 1, 80-211 Gdańsk,  
email: [mipen1@wp.pl](mailto:mipen1@wp.pl), tel. (058)349 14 80