

**PROBLEMY PRZETWARZANIA  
OBRAZU SONAROWEGO  
NA POTRZEBY SONAROWEJ MAPY DŃA\***

**THE PROBLEMS OF SONAR IMAGE PROCESSING  
FOR THE SONAR MAP OF THE SEABED**

**Mariusz Borawski**

Wydział Informatyki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**Słowa kluczowe: sonarowa mapa dna, mozaikowanie obrazów sonarowych**  
Keywords: sonar map of the seabed, mosaicing of sonar images

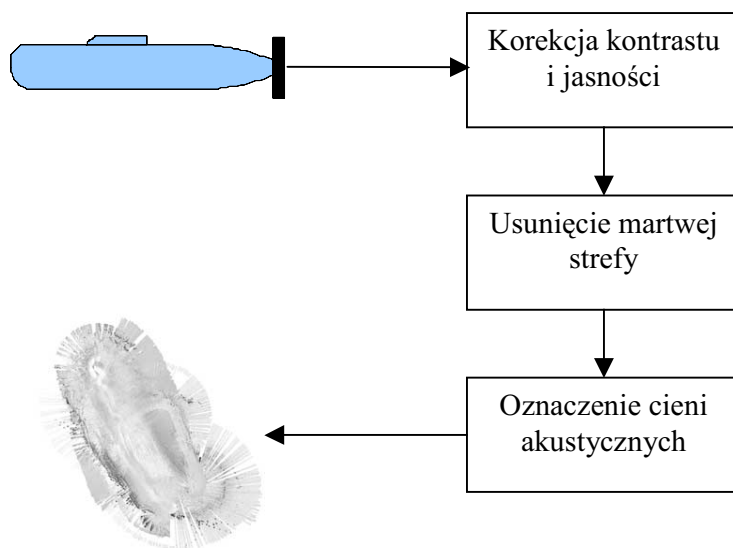
## **Wprowadzenie**

Tworzenie sonarowej mapy dna polega na składaniu linii obrazu sonarowego zgodnie z ich faktycznym położeniem. Podczas rejestracji obrazu linie składane są jedna za drugą niezależnie od aktualnego położenia sonaru. Sonar, który jest zamocowany do kadłuba statku, albo holowany za statkiem, nie porusza się jednak ruchem prostoliniowym. Powoduje to zniekształcenie obrazu obiektów znajdujących się na obrazie sonarowym. Podczas tworzenia sonarowej mapy dna przywracane jest faktyczne położenie linii obrazu sonarowego (Borawski, 1998; Szatan, Kaberoły, 2008). Aby jednak sonarowa mapa dna prawidłowo odzwierciedlała obraz dna konieczne jest wykonanie wielu czynności przygotowawczych.

Dane sonarowe, zarejestrowane przez sonar i zapisane na dysku, zazwyczaj nie są danymi surowymi. Są one w pewnym stopniu przetworzone przez układy elektroniczne sonaru oraz oprogramowanie producenta sonaru. Zwykle automatycznie korygowane jest wzmocnienie sonaru wzdłuż linii obrazu sonarowego tak, aby jasność linii wzdłuż całej jej długości była jednolita (Stateczny, 2004). Podobnie korygowana jest jasność sąsiednich linii obrazu sonarowego tak, aby nie następowały jej wahania, co mogłoby dać wrażenie „falowania” obrazu. Ze względów praktycznych nie ujednolica się jasności do pewnego ustalonego poziomu. Wynika to z faktu, że w zależności od wybranego wzmocnienia, które przekłada się na jasność, różne szczegóły dna są widoczne. W związku z tym konieczne jest pozostawienie operatorowi sonaru możliwości regulacji poziomu jasności i kontrastu.

\*Badania przeprowadzone były w ramach projektu Technologia budowy rzeczno-jezernego systemu informacyjnego (N R10 0007 04).

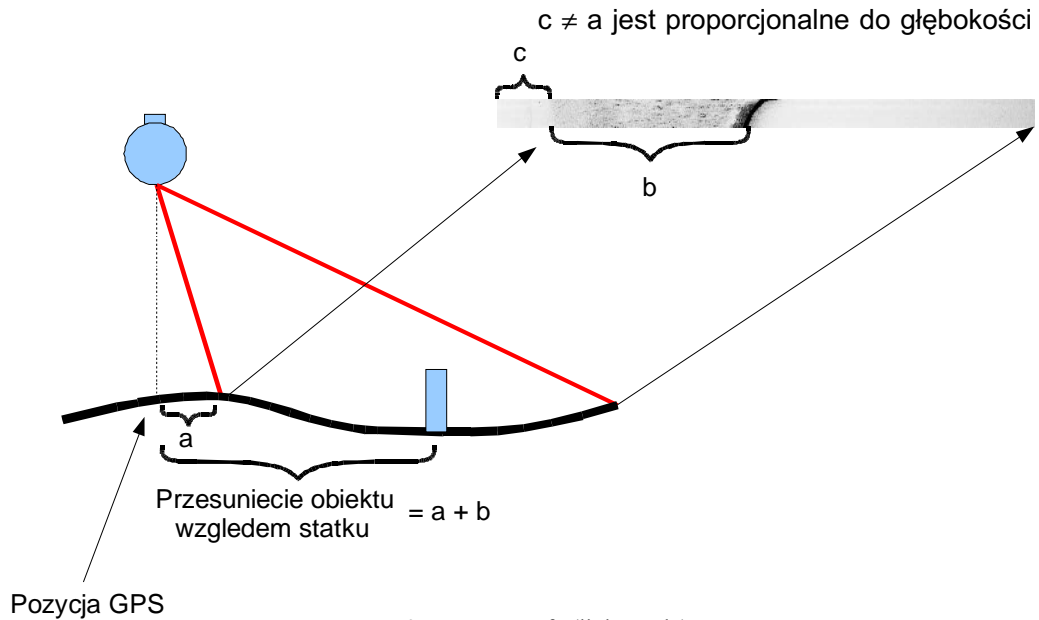
Możliwość regulacji jasności i kontrastu przez operatora sonaru powoduje jednak, problemy przy tworzeniu sonarowej mapy dna. Nałożenie na siebie dwóch lub więcej obrazów sonarowych o różnych jasnościach będzie powodować pojawienie się śladów granic obrazów sonarowych, o ile ich jasności i kontrast nie zostaną wyrównane. Ze względu na to, granice obrazów nie muszą być liniami prostymi i mogą utrudniać interpretacje obrazów sonarowych. Pierwszym etapem obróbki wstępnej przy tworzeniu sonarowej mapy dna musi być zatem korekcja jasności i kontrastu obrazu sonarowego. Ilustruje to rysunek 1.



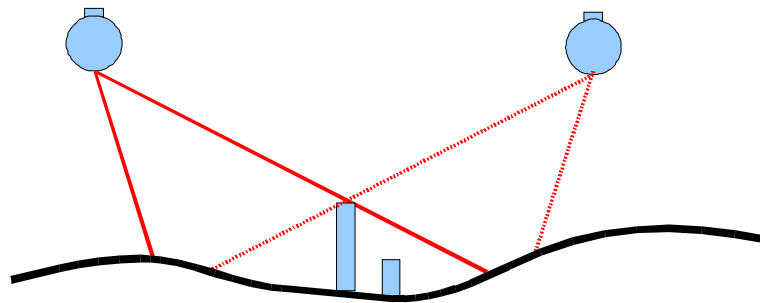
Rys. 1. Obróbka wstępna obrazu sonarowego na potrzeby sonarowej mapy dna

Cechą charakterystyczną każdego obrazu sonarowego jest występowanie martwej strefy (rys. 2). Martwa strefa jest echem zarejestrowanym przez sonar zanim wiązka sonarowa zdąży odbić się od dna. Jest zwykle jaśniejsza od pozostałej części obrazu sonarowego. Może zawierać echo od obiektów, które znajdują się tuż pod sonarem i znajdujących się na pewnej wysokości nad dnem. Konsekwencją istnienia martwej strefy jest przesunięcie obrazu sonarowego o pewną szerokość zależną od głębokości dna. W rezultacie położenie obiektów na sonarowej mapie dna jest przesunięte na zewnątrz od położenia sonaru. Jeżeli sondaż tego samego obiektu wykonywany jest z różnych pozycji sonaru, będzie powodował to zniekształcenie jego obrazu na sonarowej mapie dna. Konieczne jest zatem usunięcie martwej strefy przed wykonaniem sonarowej mapy dna.

W przypadku sondaży obiektów wystających ponad dno może pojawić się cień akustyczny. Cień akustyczny jest obszarem dna z którego nie powróciło echo, gdyż został on zasłonięty przez obiekt. Na obrazie występuje on jako jasna albo ciemna plama, w zależności od przyjętego profilu kolorów. Jeżeli zaraz za wysokim obiektem znajduje się dużo niższy to może on być niewidoczny z danej pozycji sonaru (rys. 3). Przy tworzeniu sonarowej mapy dna stanowi to poważny problem, gdyż w tym samym miejscu na różnych obrazach sonarowych obiekt przy jednym położeniu sonaru będzie widoczny, a przy innym już nie. Połączenie tego rodzaju obrazów spowoduje uśrednienie informacji o obiekcie z obszarem cienia, co będzie prowadzić do nadmiernego rozjaśnienia (lub przyciemnienia) tych obszarów.



Rys. 2. Martwa strefa (linia wody)



Rys. 3. Problem nakładania na siebie obrazów sonarowych zawierających cień akustyczny

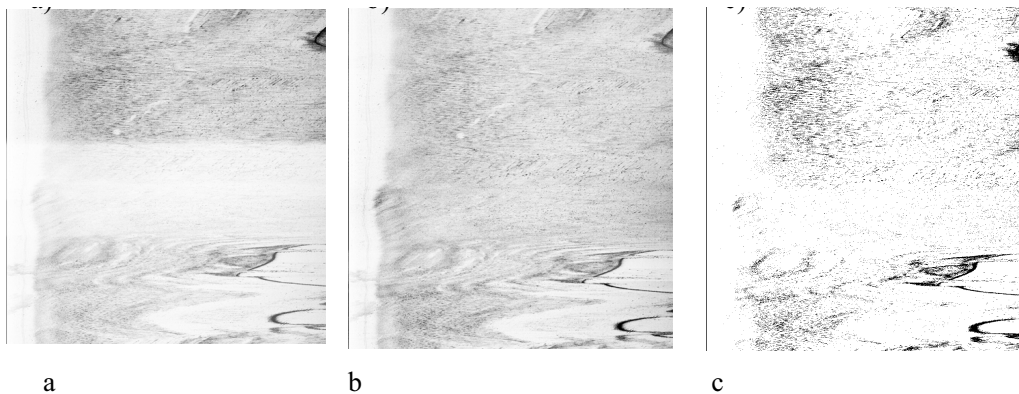
Cień sonarowy jest w istocie brakiem informacji o danym fragmencie dna. Jego obszar nie powinien brać udziału w tworzeniu sonarowej mapy dna. Z drugiej strony jednak, kontur cienia akustycznego niesie bardzo cenną informację o kształcie obiektu. Stanowi bowiem jego pionowy zarys. Wiele szczegółów, które występują na obrazie sonarowym nie ma na bezpośrednim obrazie obiektu. Dobrze by było zatem aby kontur ten był oznaczony i wrysowany na sonarowej mapie dna, bez jego wypełniania.

## Korekcja jasności i kontrastu

Jasność obrazu jest związana z położeniem wartości średniej jasności wszystkich pikseli względem zera. Im wyższa jest wartość średnia, tym obraz wydaje się jaśniejszy. Im jest ona niższa, tym wydaje się ciemniejszy (Borawski, 2007; Gonzalez, Woods, 1998). W przypadku zdjęć fotograficznych wartość średnia nie może być punktem odniesienia przy porównywaniu ze sobą różnych zdjęć. To, że jedno ze zdjęć ma wyższą wartość średnią od drugiego nie oznacza, że jest ono jaśniejsze. Wynika to z faktu, że na poziom jasności ma wpływ także kolor obiektów znajdujących się na zdjęciu. Jeżeli na zdjęciu znajduje się osoba w czarnym garniturze to poziom jasności zdjęcia będzie dużo niższy niż dla zdjęcia osoby w białym garniturze, ale wrażenie jasności odbierane przez człowieka będzie takie same.

Obraz sonarowy przedstawia przede wszystkim jednolity obszar dna, od którego odbite echo ma mniej więcej podobną siłę na całym obszarze. Wyjątkiem są miejsca, w których znajdują się obiekty techniczne lub kamienie, głazy itp. Obiekty te mają dużo silniejsze echo, ale towarzyszy im prawie zawsze cień akustyczny, który jest brakiem echa. Można powiedzieć, że w pewnym sensie kompensuje on występowanie tego silniejszego echa. Powoduje to, że dla obrazu sonarowego, inaczej niż dla zdjęcia fotograficznego, wartość średnia jest dobrym wyznacznikiem poziomu jasności.

Jasność kolejnych linii obrazu sonarowego można ujednocnić przez odniesienie do pewnej jasności wzorcowej. Przykładowo, użytkownik oprogramowania może ustawić prawidłową jasność dla pewnego wycinka obrazu sonarowego, która będzie jasnością wzorcową. Następnie każdą linię obrazu sonarowego należy podzielić przez jej wartość średnią i pomnożyć przez wartość średnią wzorcowego wycinka obrazu sonarowego. Spowoduje to dostosowanie jasności kolejnych linii obrazu do jasności wzorcowej. Wynik tej operacji przedstawia rysunek 4b. Zakłada się tutaj, że kontrast jest proporcjonalny do jasności. Im większa jest jasność, tym wyższy powinien być kontrast.



**Rys. 4.** Korekcja jasności i kontrastu: a – obraz oryginalny (źródło Akademia Morska w Szczecinie),  
b – obraz po korekcji jasności, c – obraz po korekcji jasności i kontrastu

Nie zawsze istnieje związek jasności z kontrastem. W niektórych przypadkach jasność nie ma powiązania z kontrastem. W takiej sytuacji należy zastosować niezależną zmianę jasności od kontrastu (rys. 4c). Kontrast jest zależny od amplitudy wahań poziomu wartości poszczególnych pikseli wokół wartości średniej. Aby regulować jasność niezależnie od kontrastu, dla kolejnych linii obrazu sonarowego należy odjąć ich wartość średnią, a następnie dodać docelową wartość średnią. Dodatkowo można jednocześnie wykonać zmianę kontrastu. W tym celu należy, po odjęciu wartości średniej od linii obrazu sonarowego, przemnożyć ją przez pewną wartość, a następnie dodać docelową wartość średnią. Wartość, przez którą mnoży się linie obrazu sonarowego jest współczynnikiem zmiany kontrastu. Gdy wynosi ona jeden nie zmienia kontrastu. Wartość większa od jeden zwiększa kontrast, a mniejsza od jeden zmniejsza.

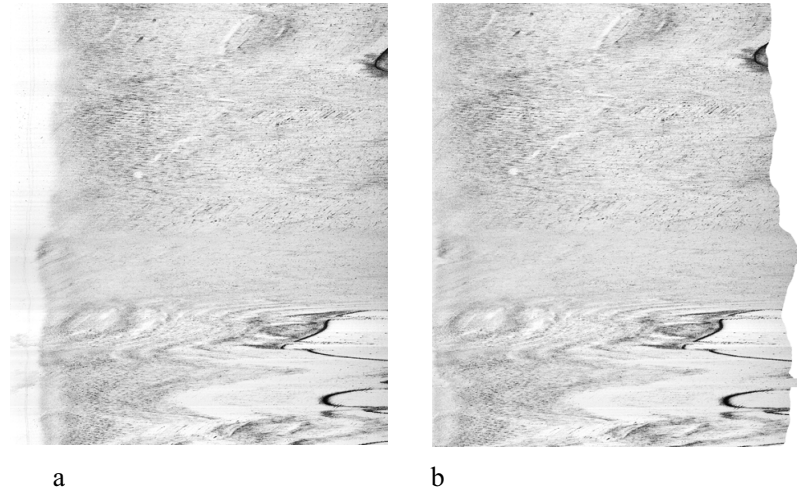
## Usunięcie martwej strefy

Szerokość martwej strefy jest proporcjonalna do odległości przetwornika sonaru od dna. Jeżeli sonar pracuje jednocześnie z echosondą, to najprostszą i najskuteczniejszą metodą usunięcia martwej strefy jest jej wyliczenie na podstawie głębokości uzyskanej z echosondy. W tym przypadku konieczna jest jednak znajomość dokładnej pozycji sonaru względem echosondy oraz kąt pod jakim sonar wysyła wiązkę w kierunku dna. Nie zawsze tego typu informacje są dostępne, dlatego często konieczne jest automatyczne rozpoznanie granicy martwej strefy tylko na podstawie danych z sonaru.

Cechą charakterystyczną martwej strefy jest na ogół brak echa z obszaru jej występowania. Jasność obszaru martwej strefy znacząco będzie się zatem różnić od pozostałej części obrazu sonarowego. Jest to podstawą wykrycia granicy. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że na początku martwej strefy mogą znajdować się czasami obszary dające bardzo silne echo. Są to odbicia fali dźwiękowej od różnego rodzaju zawieszin pływających w wodzie, które znaleźć się mogą bardzo blisko głowicy sonaru. Aby wyeliminować ten problem układy elektroniczne sonaru często nie rejestrują echa tuż po wysłaniu wiązki.

W przypadku detekcji granicy martwej strefy dobrze jest od razu założyć, że posiada ona pewną minimalną, nieprzekraczalną szerokość. Jest to konieczne ze względu na potrzebę ominięcia przy analizie obrazu sonarowego, fragmentów w których występują echa od drobnych cząsteczek pływających w wodzie. Na przyjęcie pewnej minimalnej szerokości można sobie pozwolić ze względu na fakt, że sondaże przeprowadza się tylko wtedy, gdy statek na którym zamocowany jest sonar może wpłynąć na dany akwen, czyli zachowana jest pewna minimalna bezpieczna głębokość. Z drugiej strony, nawet w przypadku małych jednostek, pewna głębokość musi być zachowana, gdyż od niej zależy pole widzenia sonaru. Gdy jest ono zbyt małe robienie sondażu traci sens.

Najprostszą metodą wykrycia granicy martwej strefy jest detekcja nagłej zmiany jasności. Zmiana ta wynika z faktu, że echo odbite od dna zaczyna docierać do anteny sonaru. Należy zatem śledzić kolejne poziomy wartości linii obrazu sonarowego, począwszy od pewnej pozycji, aż do natrafienia nagłej zmiany jasności. Punkt nagłej zmiany jasności jest granicą martwej strefy. Można zatem usunąć część linii obrazu sonarowego do tego punktu. Będzie to równoznaczne z usunięciem martwej strefy. Rezultat takiego usunięcia przedstawiono na rysunku 5.



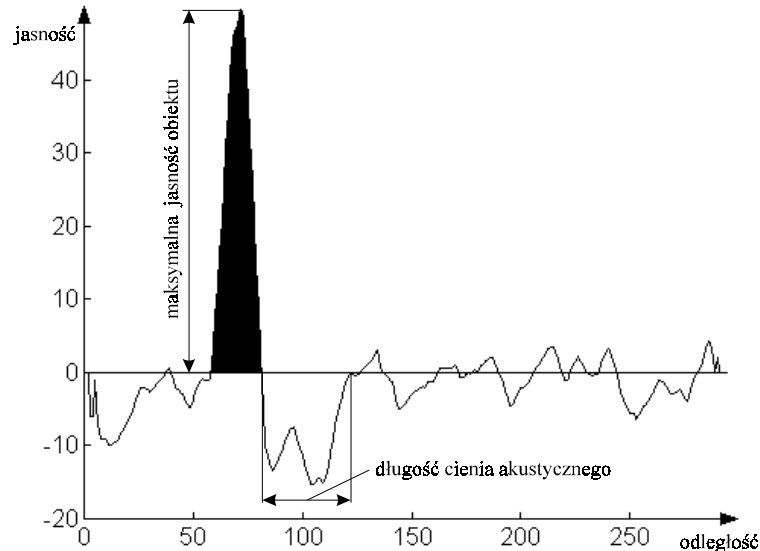
**Rys. 5.** Usunięcie martwej strefy: a – obraz oryginalny (źródło Akademia Morska w Szczecinie),  
b – obraz po usunięciu linii wody

Samo usunięcie martwej strefy nie jest tu wystarczające. Usuwa to błąd spowodowany przez nadmierne odsunięcie obrazu sonarowego od prawidłowej pozycji w kierunku od sonaru. Pojawia się jednak błąd nadmiernego przesunięcia obrazu sonarowego w kierunku do sonaru. Jest on jednak dużo mniejszy. Aby go usunąć konieczna jest znajomość kąta, pod którym jest wysyłana wiązka sonarowa. Kąt ten jest podstawą do przeliczenia szerokości martwej strefy na odsunięcie obrazu sonarowego od pozycji pionowo pod sonarem. Zgodnie z rysunkiem 2 byłoby to przeliczenie parametru  $c$  na parametr  $a$ .

## Oznaczenie cieni akustycznych

Cień akustyczny jest brakiem echa związanym z przysłonięciem przez obiekt wystający ponad dno. W związku z tym obszar cienia będzie charakteryzował się odmienną jasnością od pozostałych fragmentów obrazu sonarowego. Wyjątkiem od tej reguły są cienie w miejscach, w których w dnie są zglębienia. Przykładem mogą być miejsca po wyjętych palach. Nie jest konieczne ich usuwanie, gdyż niezależnie od przejścia statku sondującego będą zawsze znajdować się w tym samym miejscu.

Bazując na założeniu, że przed cieniem akustycznym znajduje się zawsze obiekt dający silne echo akustyczne można określić metodę wykrywania cienia akustycznego. W pierwszym etapie należy usunąć jasność obrazu. Poziome wartości pikseli będą oscylować wokół wartości zerowej. W celu wyeliminowania szumu, który powoduje nadmierne przejścia przez zero należy wykonać filtrację dolnoprzepustową. Przykładem tego typu filtru może być uśredniający filtr splotowy (Jain, 1989; Kuchariew, 1998). Obszar cienia akustycznego, ze względu na to, że reprezentuje brak odbicia fali dźwiękowej, znajdować się będzie zawsze poniżej linii zera. Natomiast echo obiektu, który „wywołuje” cień akustyczny będzie miało wartości dużo większe od zera i będzie znajdować się tuż przed cieniem akustycznym (rys. 6).



Rys. 6. Parametry wykorzystywane do oznaczenia cienia akustycznego

Zarówno wartość siły odbicia obiektu, jak i długość cienia akustycznego można policzyć. Na ich podstawie można wyznaczyć współczynnik:

$$wsp = d_{cien} \max(w_{obekt}) \quad (1)$$

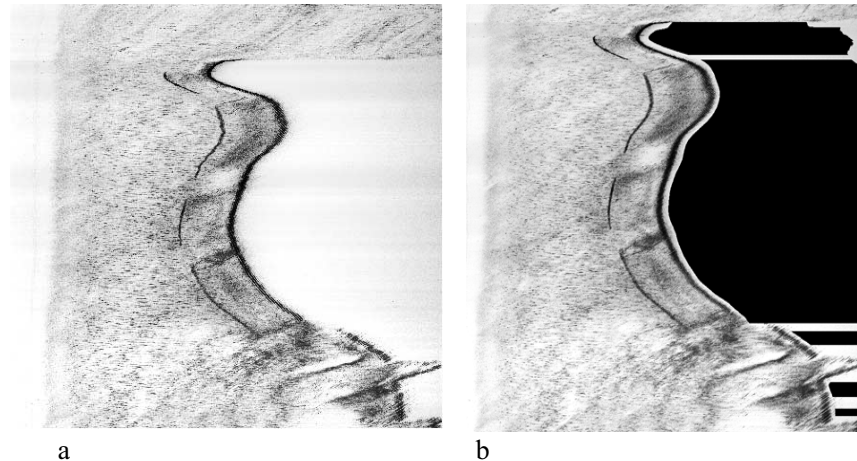
gdzie

- $wsp$  – współczynnik
- $d_{cien}$  – długość cienia akustycznego obiektu
- $w_{obekt}$  – jasności obiektu.

Im wyższa jest wartość tego współczynnika tym jest większa szansa, że w danym miejscu obrazu sonarowego znajduje się cień akustyczny. Jest to podstawą do oznaczenia cienia akustycznego na obrazie sonarowym. Przy czym wykryte będą tylko te cienie, które znajdują się tuż za obiektem dającym silne echo akustyczne. Przykład wykrywania cienia akustycznego przedstawiony jest na rysunku 7. Na czarno zaznaczono obszar wykryty jako cień akustyczny.

## Podsumowanie

Właściwe wykonanie sonarowej mapy dna wymaga wielu czynności przygotowawczych. Aby sonarowa mapa dna była czytelna konieczne jest ujednoczenie jasności i kontrastu obrazu sonarowego. Ze względu na istnienie martwej strefy obiekty na obrazie sonarowym są przesunięte względem faktycznego położenia. Konieczne jest zatem usunięcie martwej strefy, a jeżeli to możliwe, wyznaczenie faktycznego położenia geograficznego początków linii obrazu sonarowego. Ponadto wskazane jest oznaczenie obszarów cienia akustycznego, aby



**Rys. 7.** Wykrycie cienia akustycznego: a – obraz oryginalny (źródło Akademia Morska w Szczecinie),  
b – obraz z oznaczonym cieniem akustycznym

nie brały udziału w tworzeniu sonarowej mapy dna. Obszar cienia akustycznego nie niesie informacji o dnie, ale o przekroju pionowym obiektu, nie może zatem bezpośrednio uczestniczyć w tworzeniu mapy dna. Przedstawione metody obróbki wstępnej obrazu sonarowego umożliwiają wykonanie wszystkich tych operacji.

### Literatura

- Borawski M., 1998: Influence of Sonar Image Correction Considering Course and Location of Ship on Recognition Quality, The Fifth International Conference Advanced Computer Systems, Szczecin 19-20 November.
- Borawski M., 2007: Rachunek wektorowy w przetwarzaniu obrazów. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej. Szczecin.
- Gonzalez R., Woods R., 2002: Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey.
- Jain A.K., 1989: Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey.
- Kuchariew G., 1998: Przetwarzanie i analiza obrazów cyfrowych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej. Szczecin.
- Metody Nawigacji Porównawczej pod red. prof. Statecznego, 2004: Gdańskie Towarzystwo Naukowe.
- Szatan M., Kaberow R., 2008: Mozaikowanie obrazów sonarowych, *Przegląd Hydrograficzny*, nr 4, Gdynia.

### Abstract

*In the paper, preprocessing methods preparing the sonar image to the creation of sonar map of seabed are described. Three different methods are presented: automatic correction of lightness and contrast, removing the "dead zone" and finding the area of acoustic shadow. These methods are introduced to improve the quality of the sonar map. It is achieved thanks to the unification of sonar image's lightness and contrast, reduction of the error connected with displacement of sonar image's line to its geographical position and removal from the sonar image of such areas, that do not contain any information about the seabed.*

dr inż. Mariusz Borawski  
mborawski@wi.ps.pl  
tel. +4891 449 56 61