

Bogdan Woźniak
Miroslaw Jonasz
Kazimierz Furmańczyk
/Gdańsk/

NIEKTÓRE ASPEKTY DOTYCZĄCE WPLYWU PARAMETRÓW OPTYCZNYCH MORZA
NA TWORZENIE SIĘ OBRAZU DNA NA ZDJĘCIACH LOTNICZYCH

1. Wprowadzenie

W opracowaniu dyskutujemy zagadnienie określania głębokości morza w strefie brzegowej za pomocą fotometrycznej analizy negatywu zdjęcia lotniczego. Możliwość oceny głębokości akwenu wynika z faktu, że wielkość radiacji oddolnej docierającej do kamery lotniczej jest w znacznym stopniu zależna od głębokości skwenu w fotografowanym rejonie strefy brzegowej. Całokształt zjawisk związanych z formowaniem oddolnego strumienia światła schematycznie ilustruje rys. 1*.

Oświetlenie zewnętrzne E_z /pochodzące od bezpośredniego strumienia słonecznego i światła "nieba"/, wskutek oddziaływania z morzem powoduje powstanie oddolnego strumienia promieniowania. W strumieniu tym L_m jest radiacją morza w kierunku pionowym. Radiacja ta jest sumą trzech składników:

$$L_m = L_1 + L_2 + L_3 \quad /1.1/$$

gdzie:

- L_1 - przyczynek do radiacji morza powstały wskutek odbicia strumienia zewnętrznego od powierzchni wody,
- L_2 - składnik pochodzący od rozpraszania światła w warstwie wody między powierzchnią morza a dnem, w kierunku pionowym /do kamery/,
- L_3 - radiacja odbita od dna morza.

* Patrz wszystkie rysunki na końcu artykułu.

Radiacja morza L_m jest transmitowana w kierunku kamery lotniczej przez warstwę atmosfery zawartą między powierzchnią morza a poziomem, na którym znajduje się kamera. W tej warstwie atmosfery rozprasza się również strumień światła padający na powierzchnię morza. Część tego strumienia, rozproszona w kierunku obiektywu kamery reprezentowana jest przez radiację L^* . Do obiektywu dociera więc sumaryczna radiacja:

$$L = L_m \cdot \tau + L^* \quad /1,2/$$

gdzie:

τ - jest współczynnikiem transmisji radiacji morza L_m w atmosferze.

Wielkość radiacji rejestrowanej przez materiał światłoczuły zależy ponadto od transmisji układu optycznego obiektywu oraz widmowej czułości użytego filmu. Problem ten nie będzie tu dyskutowany.

Spośród składników radiacji L /1.2/ tylko L_2 i L_3 zależą od głębokości akwenu. Zależność ta stanowi podstawę fotometrycznej metody określania głębokości. Pozostałe składniki wprowadzają dodatkowe zaciemnienie negatywu zdjęcia lotniczego niezależne od głębokości fotografowanego akwenu.

Charakter zależności radiacji L rejestrowanej na filmie od głębokości morza determinowany jest wieloma parametrami optycznymi morza i atmosfery. Problem ten jest szczegółowo dyskutowany w przygotowywanej do druku pracy [8], oraz obszernej pozycji [5]. Ze względu na ograniczone rozmiary niniejszego opracowania stanowi ono jedynie uzupełnienie pracy [8] i ogranicza się do dyskusji odbicia odgórnego strumienia światła w morzu od dna akwenu. W szczególności autorzy dokonali wstępnej analizy wpływu kształtu dna morskiego na wielkość odbijanej od dna radiacji L_3 . Ilościowe zależności radiacji L_3 od kąta nachylenia dna otrzymano przy przyjęciu upraszczających założeń o jednokrotnym rozpraszaniu światła w morzu i izotropowym odbiciu od dna.

Podstawy używanej tu terminologii optycznej /definicje wielkości fotometrycznych pola światła takich jak radiacja i oświetlenie oraz definicje współczynników osłabiania, absorpcji i rozpraszania światła w wodzie morskiej/ zawarte są we wspomnianej pracy [8] i innych pracach z zakresu optyki morza [4], [1], [2], [6].

2. Określenie wielkości radiacji odbitej od dna akwenu

Wielkość radiacji odbitej od dna morza zależy od szeregu charakterystycznych parametrów optycznych akwenu, mających wpływ na strukturę podwodnego pola światła, oraz od kąтового rozkładu strumienia promieniowania dyfundującego w głąb morza. W przypadku ogólnym uzyskanie analitycznego wyrażenia na radiację odbitą od dna, nawet przy znajomości powyższych danych środowiskowych, jest niemożliwe. Udaje się jedynie otrzymać rozwiązania przybliżone dla najprostszycch przypadków, przy użyciu szeregu założeń upraszczających. Tu przyjmujemy trzy takie założenia:

- 1/ Zasadnicza część oświetlenia zewnętrznego na powierzchni morza zawarta jest w skierowanym strumieniu bezpośredniego światła słonecznego. Założenie to pozwala pominąć świecenie nieba i jest uzasadnione dla bezchmurnej i niezamglonej atmosfery, szczególnie przy dużych wysokościach kątowych słońca.
- 2/ Opis pola światła w morzu uzyskujemy korzystając z modelu jednokrotnego rozpraszania wg Jerlov'a /patrz prace [3], [4], [7], [2]/. Model ten daje pozytywne rezultaty w ośrodkach o niewielkiej głębokości optycznej i nadaje się do opisu pola światła w akwenach płytkich.
- 3/ Odbicie światła od dna ma charakter izotropowy.

Zewnętrzne oświetlenie E_z , pochodzące od skierowanego strumienia promieniowania słonecznego, jest transmitowane przez powierzchnię morza zgodnie z zależnością:

$$E / 0 / = E_z T \quad /2.1/$$

gdzie:

- $E / 0 /$ - oświetlenie odgórne tuż pod powierzchnią morza
 T - transmisja oświetlenia przez powierzchnię morza.

Przy przejściu przez powierzchnię morza następuje zmiana kierunku propagacji strumienia skierowanego w morzu względem kierunku propagacji w atmosferze zgodnie z prawem załamania światła:

$$\frac{\sin(90^\circ - h_\odot)}{\sin \epsilon_\odot} = n \quad /2.2/$$

gdzie:

- h_\odot - wysokość katowa słońca,
 ϵ_\odot - kąt załamania światła,

n - współczynnik załamania światła w wodzie względem powietrza
 $/n \approx 1.33/$.

Oświetlenie odgórne w morzu zawiera sumaryczne efekty pochodzące od strumienia promieniowania skierowanego $/E_s/$ oraz od światła rozproszonego $/E_r/$, patrz rys. 2. W pracy [7] wykazano, że przyjęcie założeń 1 i 2 pozwala wyrazić oświetlenie dna akwenu wzorem:

$$E_d/h/ = E/O/e^{-ch\sec\theta_0} \left[1 + \frac{\sec\theta_0}{c} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{\beta(\alpha)\sin\theta}{\sec\theta - \sec\theta_0} (1 - e^{-ch(\sec\theta - \sec\theta_0)}) d\varphi d\theta \right] \quad /2.3/$$

gdzie:

h - głębokość akwenu,

c - współczynnik osłabiania światła w wodzie morskiej,

$\beta(\alpha)$ - objętościowa funkcja rozpraszania światła w wodzie morskiej,

α - kąt zawarty między kierunkiem propagacji strumienia skierowanego w morzu a kierunkiem rozproszenia, opisanym współrzędnymi sferycznymi $/\theta, \varphi/$,

(θ, φ) - współrzędne sferyczne kierunku rozproszenia.

Uwzględniając charakter rozpraszania światła w morzu, a mianowicie znaczne uprzywilejowanie rozpraszania pod małymi kątami, i dokonując przybliżenia $1 - \exp/\sec\theta - \sec\theta_0/ch \rightarrow /sec\theta - \sec\theta_0/ch$ słusznego dla małych głębokości optycznych, wyrażenie /2.3/ można przedstawić w postaci:

$$\begin{aligned} E_d/h/ &\approx E/O/e^{-ch\sec\theta_0} \left[1 + h\sec\theta_0 2\pi \int_0^{\pi/2} \beta(\alpha)\sin\theta d\theta \right] \\ &\approx E/O/e^{-ch\sec\theta_0} \left[1 + bh\sec\theta_0 \right] \\ &\approx E/O/e^{-ah\sec\theta_0} \\ &= E_z Te^{-ah\sec\theta_0} \end{aligned} \quad /2.4/$$

gdzie $a = c - b$ jest współczynnikiem absorpcji światła w wodzie morskiej.

Równanie /2.4/ wskazuje na dominującą rolę absorpcji w procesie osłabiania odgórnego strumienia promieniowania. Strumień ten ulega odbiciu

od dna zgodnie z równaniem:

$$E_{\text{odb}}/h/ = E_d/h/R_d \approx E_z T_e^{-ah \sec \theta_0} \quad /2.5/$$

gdzie:

$E_{\text{odb}}/h/$ - oświetlenie oddolne /odbite od dna/ tuż nad dnem,

R_d - współczynnik odbicia oświetlenia od dna.

Zgodnie z założeniem 3 rozkładu radiacji w strumieniu odbitym jest niezależny od kierunku:

$$L_3/h/ = \frac{E_{\text{odb}}}{\pi} = \frac{1}{\pi} E_z T_{R_d} e^{-ah \sec \theta_0} \quad /2.6/$$

Radiacja L_3 jest transmitowana do góry ulegając jednocześnie osłabieniu. W pracy [8] wykazano, że odpowiedni współczynnik K_{L_3} osłabiania radiacji L_3 przyjmuje w pierwszym przybliżeniu wartość równą a . Zatem tuż pod powierzchnią morza wielkość radiacji odbitej od dna pionowo do góry można określić w przybliżonej zależności:

$$L_3/0/ = L_3/h/ e^{-2ah} = \frac{E_z}{\pi} T_{R_d} e^{-ah/\sec \theta_0} + 1/ \quad /2.7/$$

Odpowiednia wartość radiacji L_3 tuż pod powierzchnią morza jest równa:

$$L_3 = L_3/0/ \frac{T}{n^2} = \frac{E_z T T R_d}{\pi n^2} e^{-ah/\sec \theta_0} + 1/ \quad /2.8/$$

gdzie: T jest transmisją radiacji $L_3/0/$ przez powierzchnię morza.

Równanie /2.8/ oddaje jedynie przybliżoną wartość przyczynku L_3 do całkowitej radiacji morza. Dokładniejsza analiza tego zagadnienia jest przedstawiona w pracy [8] i nie jest istotna dla celów niniejszego opracowania.

3. Wpływ nachylenia dna na wielkość odbijanej radiacji

Równania /2.6/ i /2.8/ opisują radiację odbitą od dna poziomego. Nachylenie dna względem poziomu związane jest ze zmianą efektywnej powierzchni elementu dna odbijającego światło, a zatem również ilości światła odbijanego. Ze względu na uprzywilejowanie rozpraszania światła pod małymi kątami w wodzie morskiej, słuszne jest założenie że większość promieniowania oświetlającego dno zawarta jest w strumieniu skierowanym, któ-

rego kierunku dany jest kątem θ_0 , lub pada z kierunków zbliżonych do θ_0 . Niech S/O i S/α będą odpowiednio powierzchniami elementów dna poziomego i nachylonego pod kątem α ^{xxx} do poziomu /patrz rys.3/. Wówczas zmiana efektywnej powierzchni elementu dna nachylonego względem efektywnej powierzchni dna poziomego /tu: powierzchnie normalne do kierunku opisanego kątem θ_0 / wyrażona jest zależnością:

$$\frac{S_n(\alpha)}{S_n/O} = 1 + \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \alpha \quad /3.1/$$

Stosunek powierzchni efektywnych określa jednocześnie stosunek radiacji odbitej przez dno nachylone L_3'/L_3 do radiacji odbitej przez dno płaskie L_3/L_3 :

$$\frac{L_3'/h}{L_3/h} = 1 + \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \alpha \quad /3.2/$$

Jak wynika z powyższego równania, dla słońca w zenicie $h_0 = 90^\circ \rightarrow \theta_0 = 0$ nachylenie dna nie powoduje zmiany odbijanej radiacji. Wpływ ten pojawia się dla niższych położenia słońca i rośnie w miarę zmniejszania się wysokości katowej słońca h_0 . Zmiany radiacji odbijanej przez dno w funkcji kąta jego nachylenia względem poziomu, dla trzech położenia słońca $h_0 = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ przedstawia rys. 4.

Zgodnie z równaniem /3.2/ można, korzystając z równań /2.6/ i /2.3/, podać wyrażenia na radiację odbitą od dna pionowo do góry:

- tuż nad dnem

$$L_3'/h = L_3/h / 1 + \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \alpha / \approx \frac{E_z \operatorname{TR}_d}{\pi} / 1 + \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \alpha / e^{-ah \sec \theta_0} \quad /3.3/$$

- po wyjściu z morza

$$L_3' = L_3/O / 1 + \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \alpha / \approx \frac{E_z \operatorname{TT}' R_d}{\pi n^2} / 1 + \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{tg} \alpha / e^{-ah / \sec \theta_0} + 1 / \quad /3.4/$$

Równania /3.3/ i /3.4/ określają zależność odbitej radiacji nie tylko od dna na głębokości h , ale też od nachylenia dna względem poziomu. Wpływ nachylenia dna jest widoczny na rys. 5, gdzie przedstawiono radiację odbitą od dna o przekroju sinusoidalnym dla dwu położenia słońca:

Przez ^{xxx} rozumiemy kąt nachylenia dna do poziomu, leżący w płaszczyźnie wyznaczonej przez kierunek pionowy oraz kierunek strumienia skierowanego światła.

$h_{\odot} = 45^{\circ}$ /rys. 5b/ oraz $h_{\odot} = 0^{\circ}$ /rys. 5a/. Widoczne jest tam przesunięcie maksimum radiacji L'_3 względem położenia wierzchołka sinusoidy /rewy/ w kierunku nasłonecznienia. Fakt ten może powodować fałszowanie informacji o głębokościach morza o pofałdowanym dnie, uzyskanych metodą fotometryczną przy oświetleniu słonecznym padającym prostopadle do kierunku przebiegu rew.

4. Zakończenie

W pracy rozpatrywano radiację odbitą od dna morskiego jako składową całkowitej pionowej radiacji morza, docierającej do kamery lotniczej. Uzyskano przybliżone wyrażenie na radiację odbitą od dna w zależności od parametrów optycznych morza, jego głębokości oraz - co jest najistotniejsze - od kąta nachylenia dna /w pionowej płaszczyźnie strumienia skierowanego/ względem poziomu. Otrzymane wyniki wskazują, że istnieje dezinformacyjny wpływ nachylenia dna na fotometryczną metodę określania głębokości morza, dając jednocześnie możliwość eliminowania takiego wpływu.

Uzyskane rezultaty nie są pełne. Ze względu na przyjęte w rozważaniach założenia upraszczające, dotyczą one jedynie przypadku, kiedy zasadniczą część oświetlenia zewnętrznego zawarta jest w bezpośrednim strumieniu słonecznym /pogoda słoneczna/. Opis pola światła w morzu, przy uwzględnieniu rozproszonej składowej oświetlenia zewnętrznego jest znacznie bardziej skomplikowany. Ze względu na rozmiary pracy, przypadek ten nie był tu rozpatrywany.

LITERATURA

1. Dera J. /1971/, Charakterystyka oświetlenia strefy euforycznej w morzu, *Oceanologia* 1, 9-98.
2. Dera J., Kalinowski J. /1966/, Przenoszenie energii promienistej w morzu, *Postępy Fizyki*, 17, 537-563.
3. Jerlov N.G., /1961/, Irradiance in the Sea in Relation to Particle Distribution, *IUGG Monographie, Symposium on Radiant Energy in the Sea*, No 10, 3-8, Helsinki.
4. Jerlov N.G. /1968/, *Optical Oceanography*, Elsevier Publ. Company, Amsterdam-London-New York.

5. Primienienije aerometodow dla issledowanija moria /1963/, pod red. W.G.Zdanowicza, Izdat.ANSSSR, Moskwa-Leningrad.
6. Szuleikin W.W., /1968/, Fizika moria, Izdat.Nauka, Moskwa.
7. Woźniak B., /1973/, Badania wpływu składników wody morskiej na pole światła w morzu, Studia i Materiały Oceanologiczne KBM PAN, 6.
8. Woźniak B., Furmańczyk K., Wensierski W., Optyczne aspekty fotometrycznej metody określania głębokości morza w strefie brzegowej, Zeszyty Naukowe UG - Geografia, /w druku/.

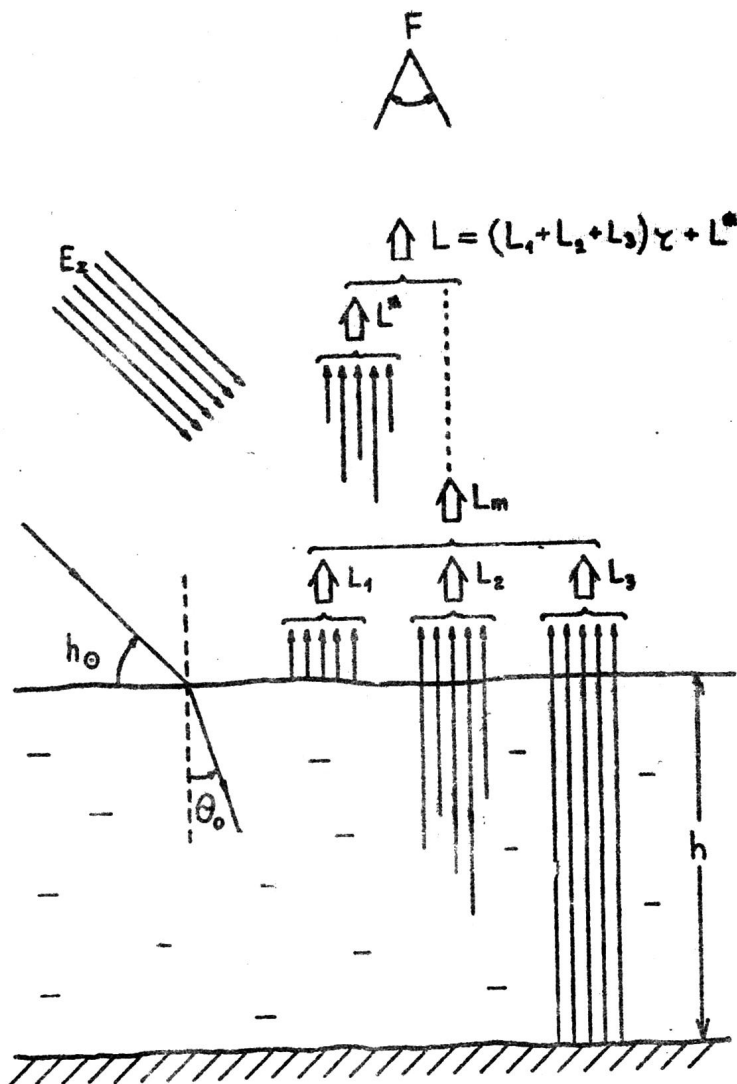
Bogdan Woźniak

Mirosław Jonasz

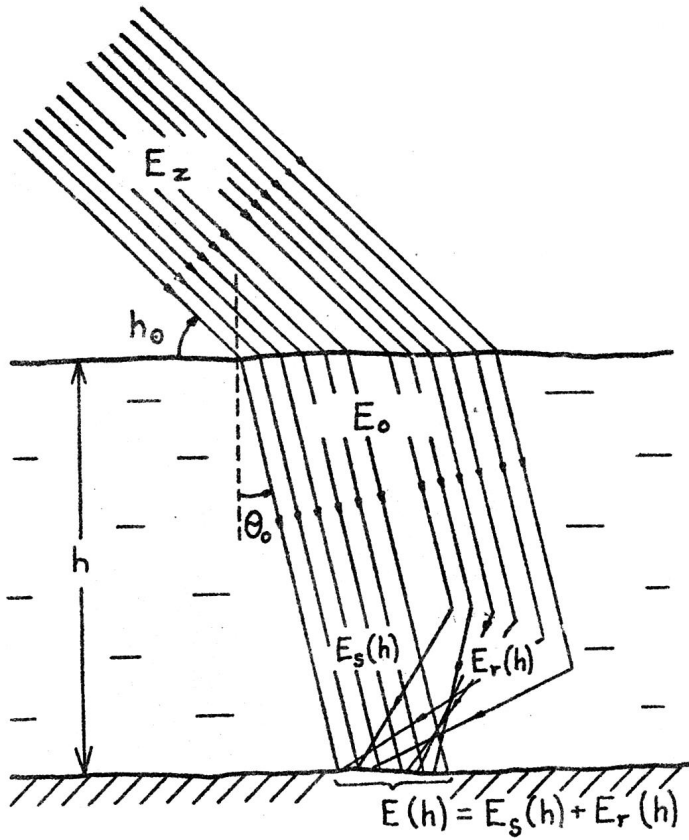
Kazimierz Furmańczyk

SOME PROBLEMS RELATED TO THE EFFECT OF OPTICAL PARAMETERS
OF THE SEA ON BOTTOM IMAGE FORMATION IN AERIAL PHOTOGRAPHS

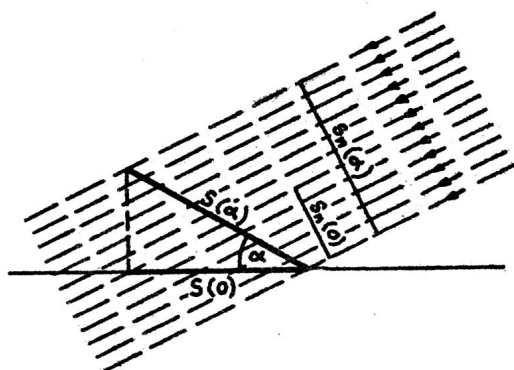
The paper presents some optical aspects of the determination of sea depth in the shore zone on the basis of aerial photograph interpretation. The components of the upwelling radiance reaching the aerial camera are described in outline. Most attention is given to the process of reflection of the downwelling radiation flux and the corresponding component of the upwelling radiance associated with it, and in particular to the analysis of the effect of sea floor shape on the proportion of the incident radiation flux reflected by it.



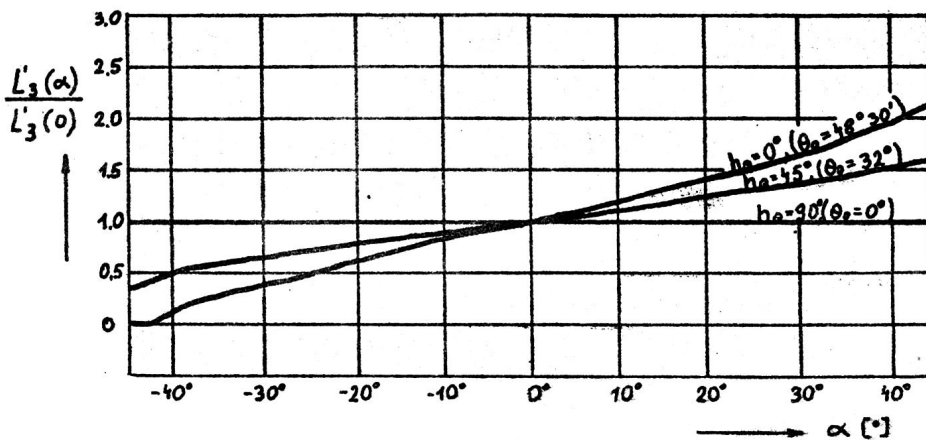
Rys. 1 Ilustracja radiacji pionowej w oddolnym strumieniu promieniowania formowanym skutkiem oddziaływania światła zewnętrznego z morza oraz warstwą atmosfery



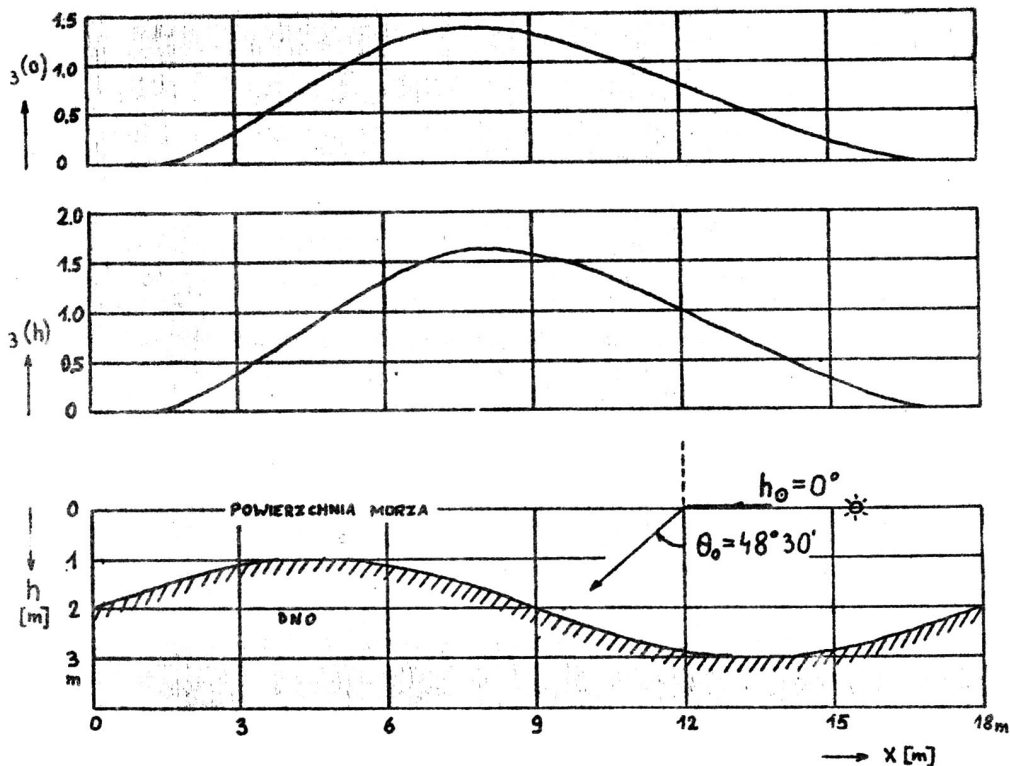
Rys. 2 Oświetlenie dna przez skierowanie światła słonecznego oraz promieniowanie jednokrotnie rozproszone w morzu



Rys. 3 Powierzchnie normalne do kierunku propagacji światła dla dna płaskiego- $S_n/o/$ i nachylonego pod kątem $\alpha-S_n/\alpha/$



Rys. 4 Zależność radiacji dna od kąta jego nachylenia

Rys. 5a $h_0 = 0^\circ$

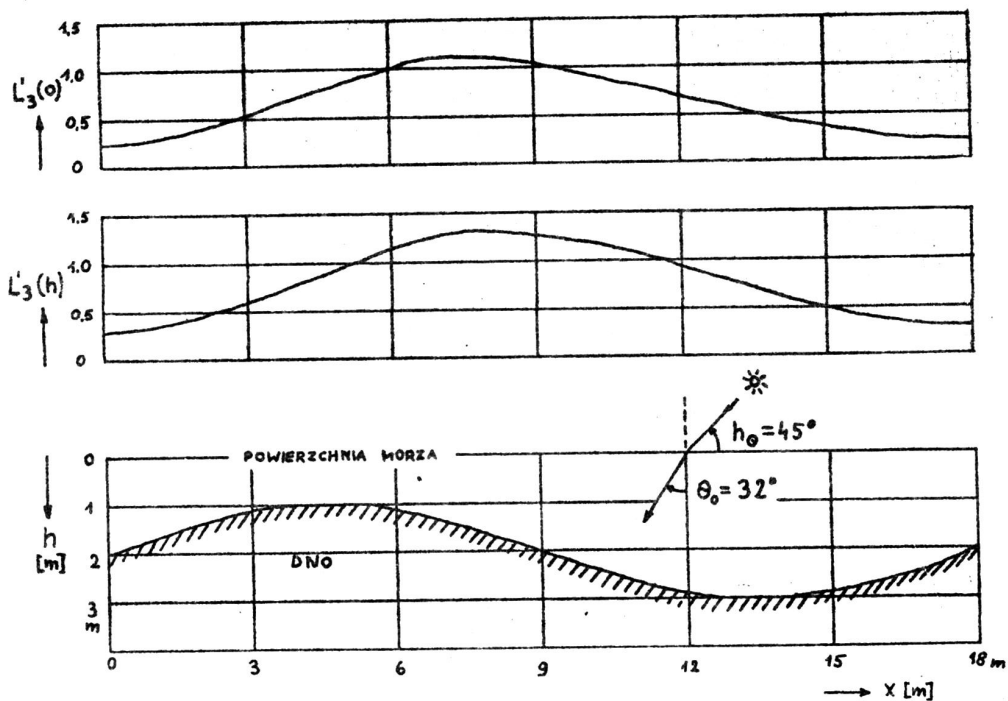
Radiacja pionowa /wyrażona w jednostkach względnych/
w strumieniu odbitym od dna o przekroju sinusoidalnym
dla dwu położeń słońca:

$$a/h_0 = 0^\circ$$

$$b/h_0 = 45^\circ$$

$L_3^r/h/$ - radiacja dna tuż nad jego powierzchnią

$L_3^r/0/$ - radiacja dna tuż pod powierzchnią morza



Rys. 5b $h_0 = 45^\circ$