

Opracowanie metodami fotogrametrii jednoobrazowej zdjęć wykonanych w środowisku wodnym

1. Wstęp

Około 70% kuli ziemskiej pokryte jest wodą i mimo, że człowiek zdobył Księżyc — to szersza penetracja środowiska wodnego dopiero się zaczyna. Badania prowadzone mogą być przy wykorzystaniu sprzętu zdalnie sterowanego lub przez pływonurka. W jednym i drugim przypadku istnieje problem rejestracji zjawisk zachodzących w wodzie. Wszędzie tam, gdzie obowiązuje zasada badań nie niszczących, jednymi z efektywniejszych metod badawczych są metody fotografii i fotogrametrii, które pozwalają otrzymać obiektywną informację zarejestrowaną w krótkim okresie czasu na materiale światłoczułym.

Czas pobytu pływonurka pod wodą jest ograniczony i maleje w funkcji wykładniczej wraz ze wzrostem głębokości. Stąd, mimo że próbowano stosować metody geodezyjne do pomiarów pod wodą [19], jedynie metody fotogrametryczne pozwalają skrócić czas pomiaru. Poza tym są one proste, ekonomiczne i dokładne.

O powadze problemu świadczy fakt włączenia do Komisji I na XII Międzynarodowym Kongresie Fotogrametrycznym w Ottawie zagadnień związanych z techniką wykonywania zdjęć podwodnych i fotogrametrycznymi metodami opracowań.

Próbné prace badawcze w zakresie wykorzystania zdjęć wykonanych w wodzie dla celów budownictwa wodnego i okrętowego, oceanografii i archeologii podwodnej podano w publikacjach [9, 10, 12, 14, 15, 17, 18]. W pracach tych jednak brak jest pełniejszych danych dotyczących wykonywania zdjęć w różnych środowiskach wodnych oraz danych o jednoobrazowym opracowaniu analitycznym. Podjęta praca miała na celu zbadanie możliwości wykonania zdjęć pomiarowych w różnych akwenach oraz ich opracowanie wybranymi metodami fotogrametrii jednoobrazowej.

2. Transmisja światła i obrazu w wodzie

Podstawowe prace z dziedziny optyki morza, która m. in. zajmuje się badaniem widzialności podwodnej, to jest procesami formowania, transmi-

sji i kontrastu obrazu, są zawarte w publikacjach [1, 5, 6, 7, 8, 11]. Prei-sendorfer [13] wyprowadził ogólny wzór na radiację w kierunku α , Θ i na głębokość z (rys. 2):

$$L_x(z, \Theta, \alpha) = L_0(z_t, \Theta, \alpha) \exp [-(c, z)] + \frac{L^*(z, \Theta, \alpha)}{c + k \cos \Theta} \left\{ 1 - \exp [-(c - k \cos \Theta) r] \right\}, \quad (1)$$

gdzie:

- Θ — kąt zawarty między zenitem a kierunkiem drogi promieni do kamery,
- α — azymut,
- z_t — głębokość na jakiej znajduje się obiekt,
- z — głębokość na jakiej znajduje się kamera: $z = z_t + r \cos \Theta$,
- c — całkowity współczynnik osłabienia radiacji,
- $x = z_t + r$ — całkowita droga przebiegu promieni w wodzie,
- r — odległość od obiektu do kamery,
- k — współczynnik dyfuzyjnego osłabienia radiacji.

Składnik I we wzorze (1) reprezentuje radiację, pochodzącą od bezpośredniego promieniowania słonecznego na głębokości z osłabioną na drodze x w kierunku Θ i azymucie α .

Składnik II przedstawia radiację światła dyfuzyjnego, które w wyniku wielokrotnego rozproszenia znalazło się na drodze r w kierunku Θ , α .

Oczywiste jest, że wielkość i rozkład radiacji słonecznej zależy od wielu czynników, takich jak: odległość zenitalna słońca, warunki atmosferyczne, współczynników absorpcji i rozpraszania, długość fali λ , głębokość i kierunek pomiaru. Schematyczną drogę promieniowania słonecznego pokazano na rysunku 1. Na rysunku 3 pokazano rozkład radiacji słonecznej, w zależności od głębokości i kierunku obserwacji dla $Z_\odot = 33,4^\circ$ i $\alpha = 0^\circ$, wykonany w wodzie o wartości współczynnika $c = 0,4 \text{ m}^{-1}$, fotometrem o kącie pomiaru $6,6^\circ$ dla $\lambda = 450 \text{ nm}$ wg [11].

Na całkowity współczynnik c składa się współczynnik pochłaniania a i współczynnik rozpraszania b , to znaczy:

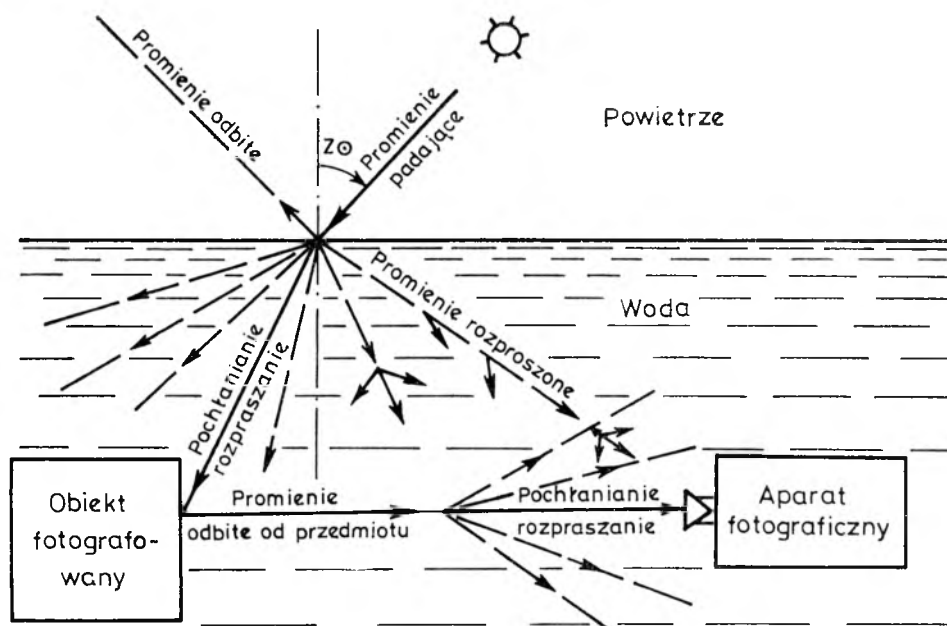
$$c = a + b.$$

Współczynnik b w punkcie P można obliczyć z wzoru

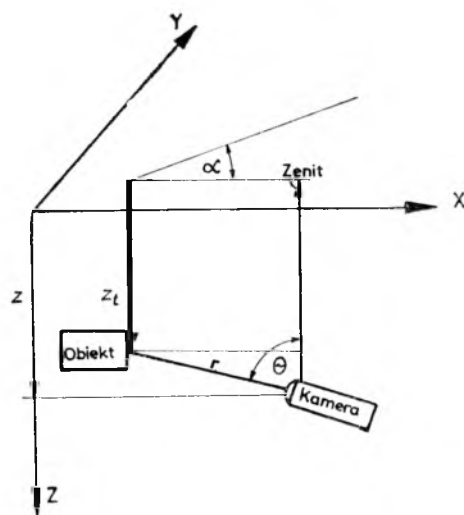
$$b(r_P) = b_P + b_W = \int_G \beta(r_P, \Theta, \alpha, \Theta', \alpha') d\omega (\Theta', \alpha'), \quad (2)$$

gdzie:

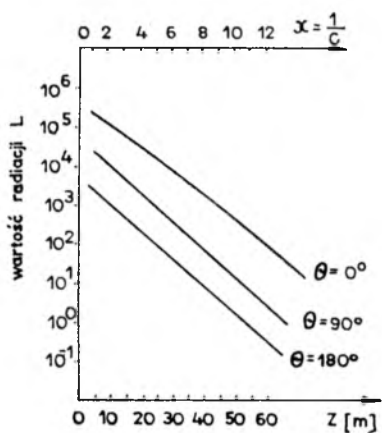
- b_P — współczynnik rozpraszania do przodu,
- b_W — współczynnik rozpraszania wstecz,
- β — objętościowa funkcja rozpraszania.



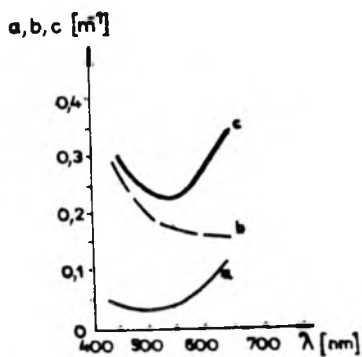
Rys. 1



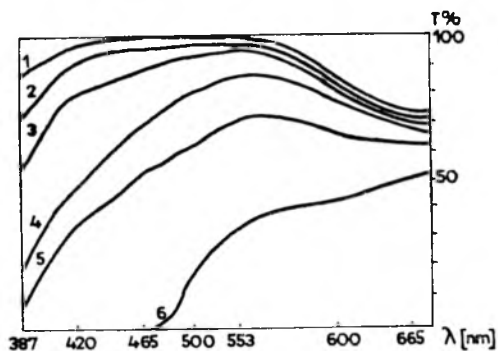
Rys. 2. Układ współrzędnych i geometria wykonania zdjęcia



Rys. 3



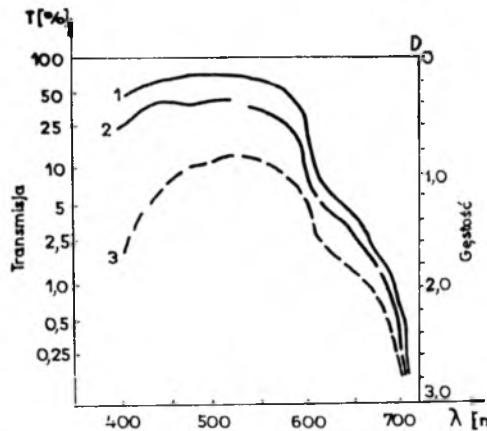
Rys. 4



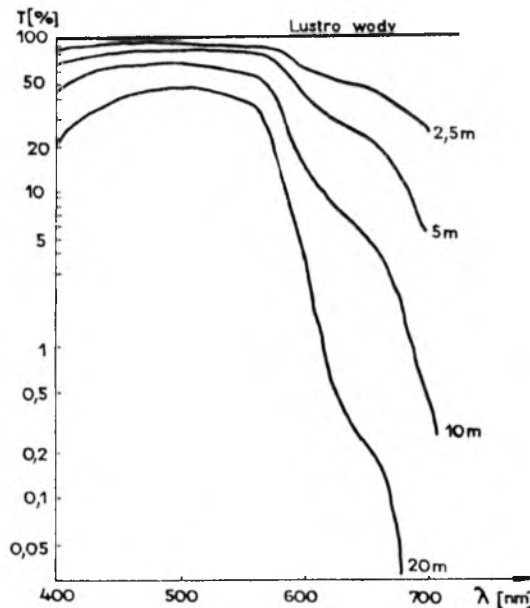
Rys. 5. Krzywe spektralne absorpcji światła na drodze 1 m w wodzie: 1 — destylowanej; 2 — północnego Atlantyku; 3 — Morza Północnego; 4 — Bałtyku; 5 — z kranu; 6 — z rzeki Elby

Schematyczne krzywe współczynników a , b , c w funkcji λ pokazano na rysunku 4.

Na rysunkach 5, 6 i 7 pokazano krzywe absorpcji światła po przejściu przez warstwę wody w różnych akwenach według [11] i [16]. Z rysunków 5, 6 i 7 wynika, że maksimum transmisji światła dla wody czystej zawarte jest w przedziale $440 \text{ nm} < \lambda < 540 \text{ nm}$. W wodzie zanieczyszczonej maksimum przypada dla $\lambda \cong 550 \text{ nm}$, co spowodowane jest większą

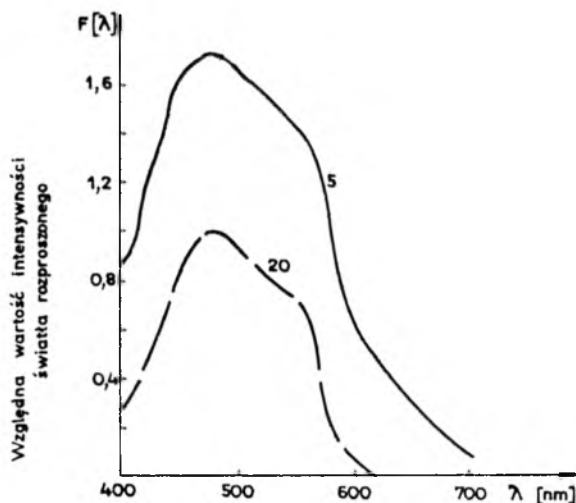


Rys. 6. Spektralna transmisja światła poprzez warstwę 10 m wody: 1 — destylowanej; 2 — oceanicznej; 3 — przybrzeżnej

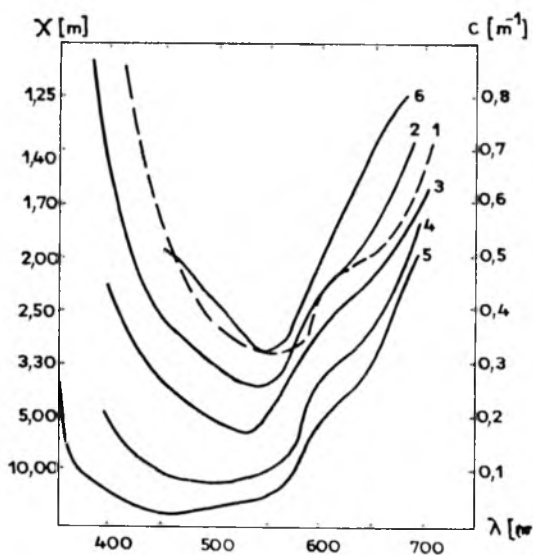


Rys. 7. Absorpcja spektralna światła słonecznego w Morzu Śródziemnym w zależności od głębokości i długości fali λ

ilością planktonu i zanieczyszczeniami organicznymi. Jednakże promieniowanie krótkofalowe o maksymalnej transmisji jest najbardziej rozpraszane (rys. 8). Na rysunku 9 podano krzywe całkowitego współczynnika osłabienia światła c w zależności od λ dla różnych akwenów.



Rys. 8. Przybliżony wykres rozkładu spektralnego światła rozproszonego na głębokości $Z_1 = 5$ m i $Z_2 = 20$ m



Rys. 9. Krzywe współczynników osłabienia c dla: 1 — Zatoki Chesapeake; 2 — wody przybrzeżnej (wartość średnia); 3 — wody przybrzeżnej (wartość minimalna); 4 — wody oceanicznej (wartość średnia); 5 — wody destylowanej; 6 — wody przybrzeżnej (wartość maksymalna)

Fotograficzny zasięg detekcji r_m obliczyć można z wzoru:

$$r_m = \frac{1}{c + K \cos \Theta} \ln \frac{K_{(0)}}{K_p},$$

gdzie:

$K_{(0)}$ — kontrast rzeczywisty obiektu,

K_p — progowa czułość kontrastu detektora

$$K_p = 1 - \exp\left(\frac{0,2}{\gamma}\right).$$

γ — współczynnik kontrastowości negatywowego materiału fotograficznego.

Dla akwenu Morskie Oko i Adriatyku wyznaczono następujące przybliżone wartości c :

$$c = 0,25 \pm 0,03 \text{ m}^{-1} \quad \text{dla Morskiego Oka}$$

$$c = 0,14 \pm 0,02 \text{ m}^{-1} \quad \text{dla Adriatyku.}$$

Fotograficzny zasięg detekcji r_m dla filmu Aviphot PAN 33 dla $\Theta = 90^\circ$ wynosi dla Morskiego Oka — 9 m, dla Adriatyku — 16 m.

3. Aberracje układu iluminator—obiektyw w wodzie

W większości stosowanych obudowach wodoszczelnych aparatów fotograficznych, jako iluminator stosuje się płytkę płaskorównoległą wykonaną ze szkła optycznego. Powoduje on:

— pojawienie się dodatkowej dystorsji:

$$\frac{\Delta r'}{r'} = [(1 - 0,78 \operatorname{tg}^2 \beta_w)^{-\frac{1}{2}} - 1] \cdot 100\%$$

— pozorne zwiększenie odległości obrazowej f_{kw} :

$$f_{kw} = n_w \cdot f_{kp} [1 - \operatorname{tg}^2 \beta_w (n_w^2 - 1)]^{-1/2},$$

$$\text{dla } n_w = 1,33 \quad f_{kw} = 1,33 \cdot f_{kp} (1 - 0,78 \operatorname{tg}^2 \beta_w)^{-1/2};$$

— pojawienie się dodatkowej aberracji chromatycznej, powodującej rozogniskowanie w kierunku osi optycznej obiektywu:

$$\Delta = -f_{kp} (n_{wF} - n_{wc}) \operatorname{tg} \beta_w (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_w) \{[1 - \operatorname{tg}^2 \beta_w (n_w^2 - 1)]^3\}^{-\frac{1}{2}};$$

— konieczność ogniskowania obiektywu na odległość pozorną:

$$r_w = \frac{1}{n_w} \cdot r'_p + \frac{1}{n_s} \cdot d + \frac{1}{n_p} D' \cong \frac{1}{n_w} r'_p.$$

W wyżej wymienionych wzorach oznaczenia są następujące:

- r' — długość promienia radialnego mierzona na zdjęciu,
- β_w — kątowa wielkość fotografowanego obiektu w wodzie,
- f_{kw} — odległość obrazowa obiektywu kamery w wodzie,
- f_{kp} — odległość obrazowa obiektywu kamery w powietrzu,
- n_w — współczynnik załamania wody,
- n_{wF} i n_{wC} — współczynniki załamania dla skrajnych fal widma,
- r_w — odległość pozorna w wodzie,
- r'_p — odległość rzeczywista w powietrzu,
- n_s — współczynnik załamania szkła iluminatora obudowy,
- d — grubość iluminatora,
- n_p — współczynnik załamania w powietrzu,
- D — odległość od pierwszego punktu węzłowego obiektywu do tylnej krawędzi iluminatora.

4. Dobór filmów i określenie parametrów ekspozycji

W celu otrzymania maksymalnej ilości informacji na zdjęciu, film przeznaczony do fotografii w wodzie powinien mieć następujące cechy:

- dużą światłoczułość S_λ ,
- dużą wartość współczynnika kontrastu γ ,
- maksimum uczulenia $S_{\max}$ dla λ w przedziale 480÷530 nm,
- dużą zdolność rozdzielczą R_e ,
- małe ziarno emulsji, tj. małą wartość G lub RMS,
- cienkie nie deformujące się podłoże,
- minimalną wartość zadymienia D_0 .

Dotychczas nie wyprodukowano takiego filmu, który by spełniał wszystkie wyżej wymienione parametry, jakkolwiek firma Eastman Kodak Co. opublikowała wyniki otrzymane z badań eksperymentalnego filmu przeznaczonego do fotografii podwodnej [4]. Obecnie więc zachodzi konieczność stosowania takich filmów przeznaczonych do fotografowania w powietrzu, które mają cechy zbliżone do podanych powyżej.

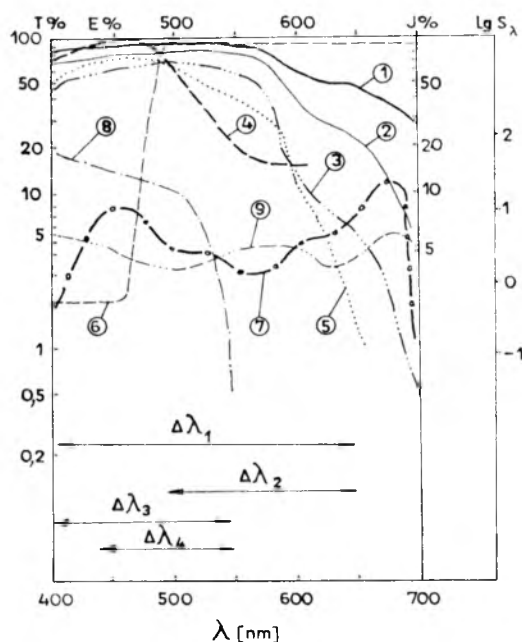
Na podstawie analizy kilku dostępnych filmów lotniczych wybrano film Aviphot PAN-33 Gevaert i Kodak Panatomic-X, które zostały przycięte do formatu małoobrazkowego i sperforowane oraz do formatu 6 cm dla aparatu Pentacon six-TL. Z uwagi na długi okres składowania filmu PAN-33 i pocięcie go w FOTONIE, wykonano badania sensytometryczne, których wyniki podano w tablicy 1.

Zbiorczy wykres krzywych, od których zależą możliwości wykonania zdjęć pod wodą — pokazano na rysunku 10. Z rysunku 10 można wyciągnąć następujące wnioski:

Tablica 1

Dane sensytmetryczne PAN-33

Czas wywoływania t_w (min)	6	8
Wartość zadymienia D_0	0.15	0.20
Wartość współczynnika kontrastu γ	1.9	1.9
Wskaźnik światłoczułości $S_{10\text{E}}$	25	24
Gęstość optyczna D_k	3.0	3.0
Szerokość fotograficzna L_f	1.6	1.6
Temp. wywoływania w GP-251 w $^{\circ}\text{C}$	20	20



Rys. 10. Zbiorczy wykres krzywych: 1 — spektralna transmisja światła słonecznego poprzez warstwę wody o grubości 2,5 m w Adriatyku; 2 — spektralna transmisja światła słonecznego poprzez warstwę wody o grubości 5 m w Adriatyku; 3 — spektralna transmisja światła słonecznego poprzez warstwę wody o grubości 10 m w Adriatyku; 4 — przybliżony wykres intensywności J promieniowania rozproszonego; 5 — przybliżony wykres natężenia oświetlenia E w Adriatyku na głębokości 10 m; 6 — krzywa rozkładu widmowego przepuszczalności filtra żółtego o $\varnothing 40,5$ mm; 7 — krzywa uczenia spektralnego filmu AVIPHOT PAN-33; 8 — krzywa uczenia filmu czarnobiałego firmy KODAK do fotografii w wodzie; 9 — krzywa uczenia filmu KODAK PANATOMIC X typ 3400; $\Delta\lambda_1$ — wykorzystywany zasięg promieniowania filmu AVIPHOT PAN-33 bez filtra; $\Delta\lambda_2$ — wykorzystywany zasięg promieniowania filmu AVIPHOT PAN-33 z filtrem żółtym; $\Delta\lambda_3$ — wykorzystywany zasięg promieniowania filmu KODAK bez filtra; $\Delta\lambda_4$ — wykorzystywany zasięg promieniowania filmu KODAK z filtrem KODAK nr 3

1) Na głębokości do 10 m przy naturalnym oświetleniu transmitowane jest głównie światło o długości fali zawartej w przedziale $400 \leq \lambda \leq 565$ nm. Promieniowanie o $\lambda > 565$ nm jest silnie pochłaniane i praktycznie nie może być wykorzystywane do naświetlenia filmu.

2) Maksimum intensywności promieniowania rozproszonego przypada w krótkofalowej części widma dla $\lambda \leq 490$ nm.

3) Maksimum natężenia oświetlenia E przypada dla $430 \leq \lambda \leq 580$ nm.

4) Maksimum uczulenia filmów Aviphot PAN-33 i Kodak Panatomic-X nie pokrywa się z max. transmisji światła T i max. natężenia E , a przypada na $\lambda \cong 540$ nm i $\lambda \cong 680$ nm.

6) Stosując filtr żółty (krzywa 6) ogranicza się wpływ szkodliwego promieniowania rozproszonego.

Biorąc powyższe pod uwagę, użyteczny zakres promieniowania może być następujący:

$\Delta\lambda_1$: 400 ÷ 650 nm dla Aviphot PAN-33 i Kodak Panatomic-X;

$\Delta\lambda_2$: 480 ÷ 650 nm dla Aviphot PAN-33 i Kodak Panatomic-X z filtrem;

$\Delta\lambda_3$: 400 ÷ 550 nm dla nowego filmu podwodnego Kodak.

Parametry ekspozycji, tj. wielkość przysłony f i czas t , które należy określić przy wykonywaniu zdjęć w wodzie zależą od:

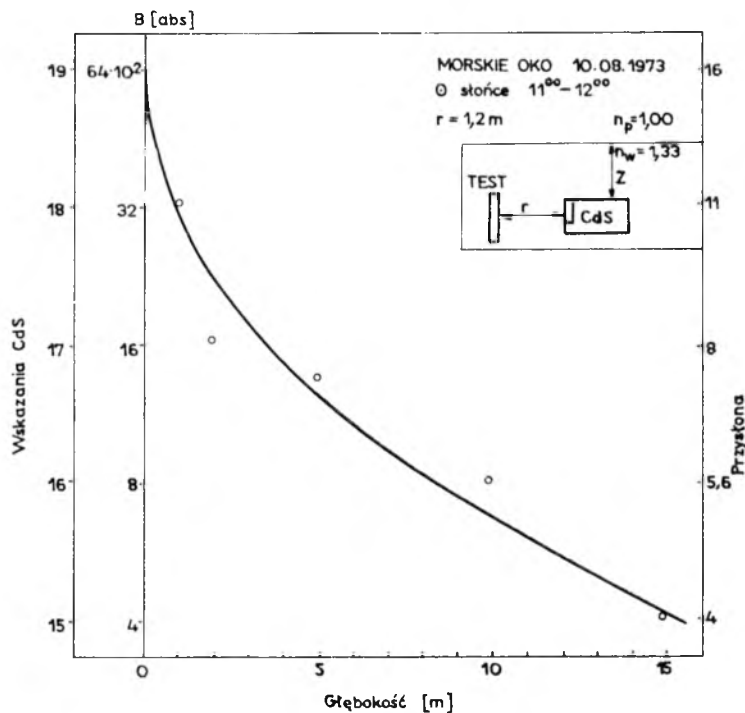
- warunków oświetlenia,
- przezroczystości wody,
- głębokości na jakiej wykonywane będzie zdjęcie,
- odległości do fotografowanego obiektu,
- kontrastu obiektu względem tła,
- rodzaju filmu.

Parametry te można określić analitycznie, na podstawie przybliżonych wykresów lub światłomierzem w wodoszczelnej obudowie. Dla określenia parametrów ekspozycji autor korzystał ze światłomierza Weimarlux w obudowie wodoszczelnej wykonanej w PZO, oraz ze światłomierza CdS w obudowie UPK. Na podstawie wykonanych pomiarów światłomierzem CdS oraz przeprowadzonej analizy naświetlonych filmów opracowano wykresy natężenia oświetlenia, wielkości luminacji oraz wartości parametrów ekspozycji dla Morskiego Oka i Adriatyku (rys. 11 i 12).

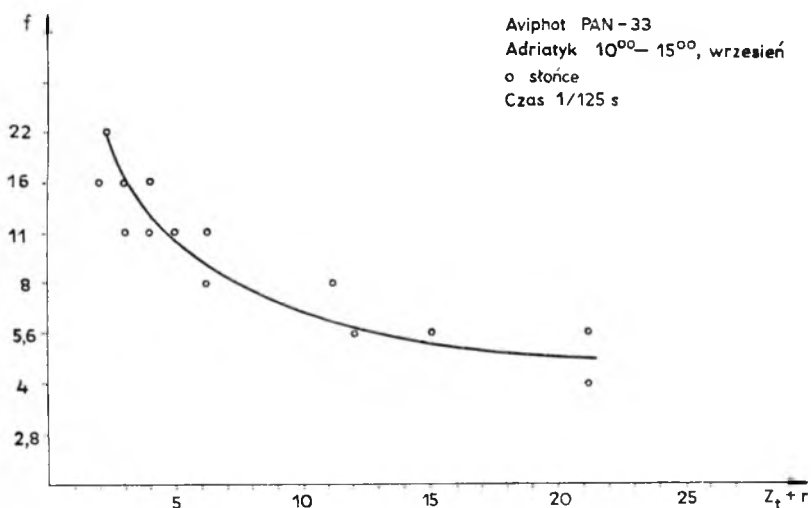
Fotograficzny interwał jasności testu l_0 charakteryzuje stosunek najmniej jasnego elementu testu do maksymalnie jasnego i oblicza się go z wzoru

$$l_0 = l_g \frac{r_{\max}}{r_{\min}},$$

gdzie r — współczynniki odbicia.



Rys. 11 Wielkość luminancji B w [abs] $= 1 \text{ nt} \cdot \pi^{-1} = \text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \pi^{-1}$ promieniowania odbitego od testu w funkcji głębokości w [m] oraz wartość przysłony dla filmu AVIPHOT PAN-33 przy czasie ekspozycji $t = 1/125 \text{ s}$ w Morskim Oku;



Rys. 12. Zależność wartości przysłony f od głębokości i odległości fotografowania w Adriatyku;

Wartości r wyznaczono na spektrofotetrze SP-700 UNICAM w WAT. Pomiaru czarnych marek sygnalizacyjnych dokonano w stosunku do białego tła testu dla długości fali od $\lambda = 500$ nm do $\lambda = 630$ nm i otrzymano:

$$r_{\max} = 100\%, r_{\min} = 20\%.$$

Stąd wartość kontrastu $K_M = 0,80$ i wartość $l_0 = 0,70$.

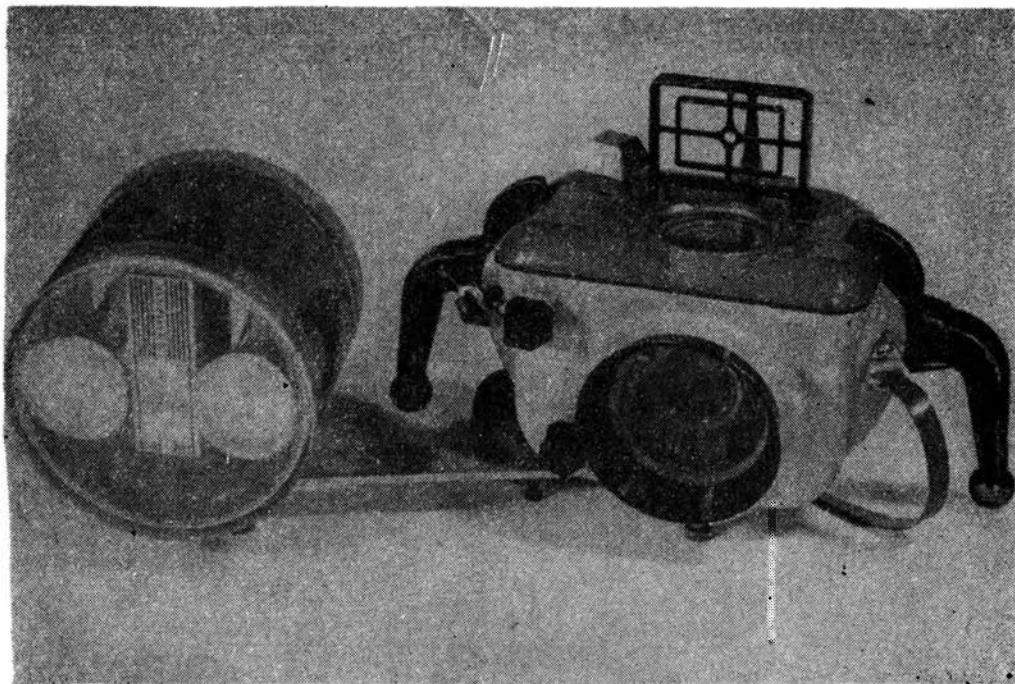
Szerokość fotograficzna filmu Aviphot PAN-33 (tablica 1) $L_f = 1,6$. $l_0 < L_f$ dzięki czemu można zmieniać ekspozycję o ponad dwa razy w stosunku do jej optymalnej wielkości średniej i otrzymać prawidłowo naświetlony negatyw.

5. Opis aparatury i metody badań

Do wykonania i opracowania zdjęć podwodnych wykorzystano następującą aparaturę fotograficzną i pomiarową:

— Małoobrazkowy aparat fotograficzny ZORKA-4 z obiektywami Jupiter 8/50 i Jupiter 12/35 w wodoszczelnej obudowie UPK (rys. 13). Na ramce tylnej aparatu zamontowano znaczki tłów.

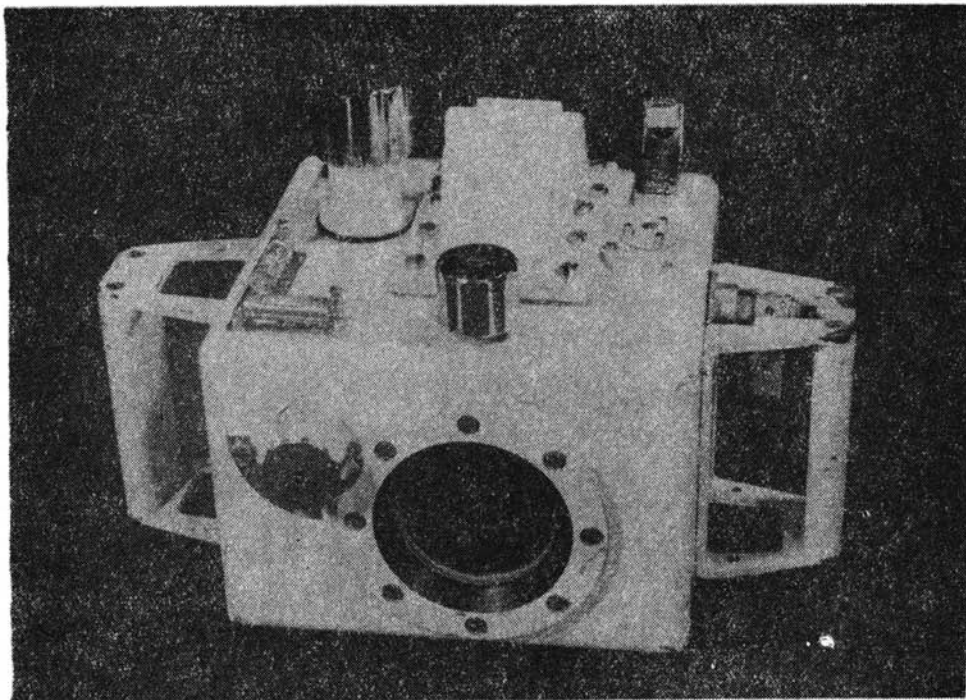
— Lustrzanek jednoobiektywową Pentacon six-TL o formacie zdjęcia 6×6 cm z obiektywem Biometar 2,8/80 w obudowie skonstruowanej



Rys. 13. Zorka-4 w obudowie UPK wraz z lampą błyskową PE-242 w obudowie wodoszczelnej;

w WAT wg pomysłu mgr inż. L. Bekera i autora (rys. 14). Opis całego zestawu SZP do wykonywania stereoskopowych zdjęć podwodnych zamieszczono w [3].

— Lampę błyskową PE-242 firmy National w obudowie wodoszczelnej wykonanej w WAT wg pomysłu autora (rys. 13).



Rys. 14. Pentacon six-TL w obudowie SZP

— Płaski test pomiarowy nr 1 (rys. 15) o znanych współrzędnych X i Y wyznaczonymi z błędem $m_x = m_y = \pm 0,03$ mm, oraz test nr 2 do badania wpływu środowiska na jakość zdjęć (rys. 16).

— Światłomierz CdS i Weimarlux w obudowie wykonanej w PZO wg pomysłu autora (rys. 17).

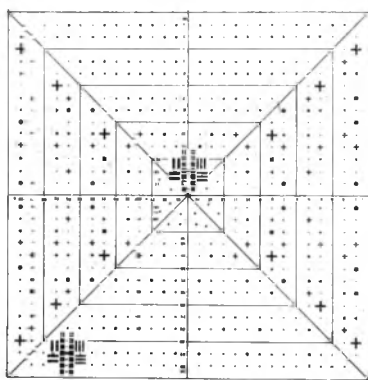
— Filtry jasnożółte nr 1, nr 2, nr 3 i żółtozielony nr 4.

— Stekometr Zeissa.

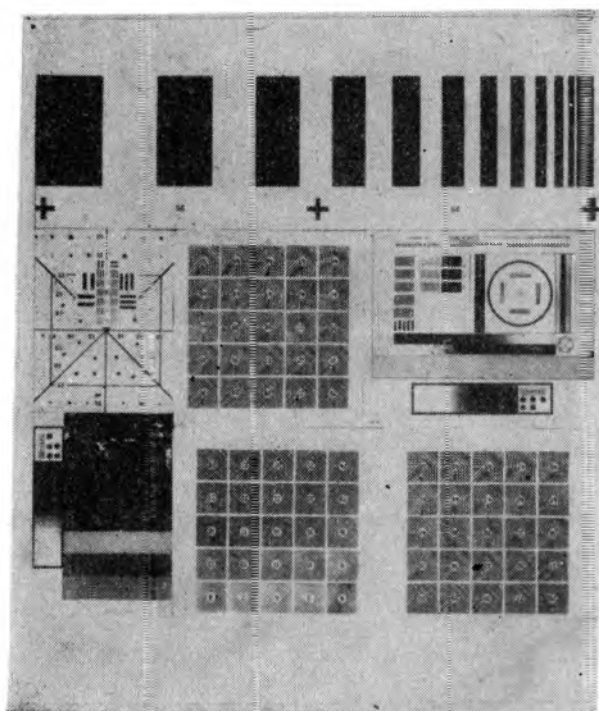
— Maszynę cyfrową ODRA 1003 i ODRA 1325.

Zwykły aparat fotograficzny w porównaniu do kamery fotogrametrycznej różni się następującymi cechami:

- nieznane są elementy orientacji wewnętrznej, to jest x_0 , y_0 , f_k ,
- ma większą wartość dystorsji dr ,
- brak wyrównywania i przylegania filmu do ramki tłowej,
- mały format zdjęć,

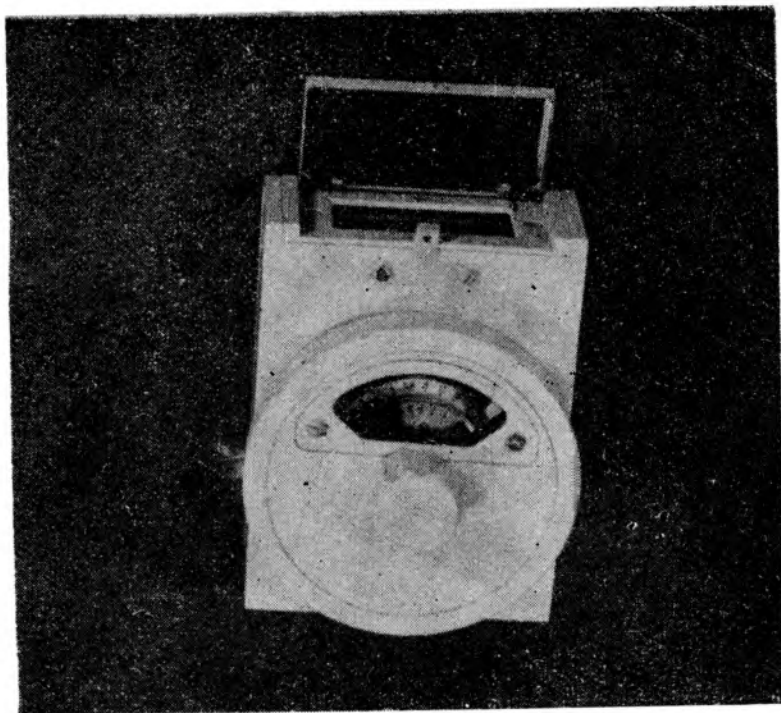


Rys. 15. Płaski test pomiarowy nr 1



Rys. 16. Test nr 2

- jest ekonomiczny, prosty w obsłudze i łatwo dostępny,
- możliwość stosowania wymiennej optyki,
- łatwość skonstruowania wodoszczelnej obudowy.



Rys. 17

W tablicy 2 przedstawiono niektóre wybrane typy aparatów, które są stosowane do wykonywania zdjęć podwodnych.

Elementy orientacji wewnętrznej aparatu ZORKA-4 nr 71015350 z obiektywem Jupiter 8/50 nr 173483 wyznaczone laboratoryjnie są następujące:

$$f_{kp} = 52,87 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ dla } r_p = \infty,$$

$$x_0 = -3,12 \text{ mm} \pm 0,12 \text{ mm},$$

$$y_0 = -2,88 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ mm}.$$

Wielkość poprawek Δf_{kp} dla $r_p \leq 10 \text{ m}$ podano w tablicy 3.

Pole widzenia w powietrzu ($n = 1,00$):

$$\text{— w dłuższym formacie klatki: } 2 \beta_p = 38^\circ,$$

$$\text{— w krótszym formacie klatki: } 2 \beta'_p = 24^\circ.$$

Pole widzenia w wodzie ($n = 1,33$):

$$\text{— w dłuższym formacie klatki: } 2 \beta_w = 28^\circ,$$

$$\text{— w krótszym formacie klatki: } 2 \beta'_w = 20^\circ.$$

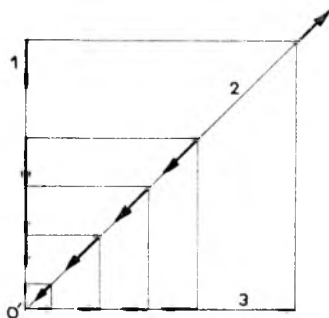
Dane techniczne niektórych aparatów fotograficznych stosowanych do fotografowania w wodzie

Tablica 2

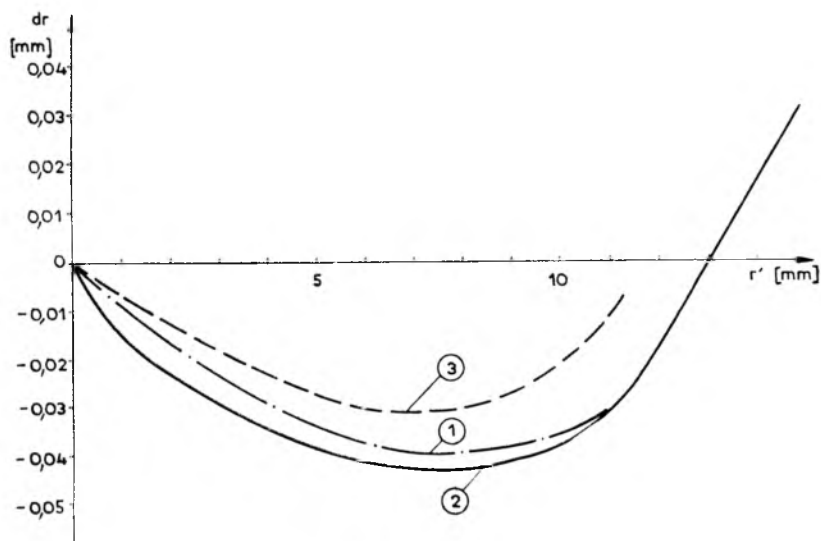
Lp.	Nazwa aparatu	Nazwa obudowy	Obiektyw Ogniskowa (mm) Max przysłona	Format zdjęcia (mm)	Ilość zdjęć	Rodzaj iluminatora	Rodzaj obserwacji obrazu	Max głębokość (mm)	U w a g i
1.	HASSELBLAD 500 C	HASSELBLAD	Distagon 50 f/4 Distagon 60 f/28 Planar 80 f/28	60×60		b	Matówka	150	
	500 C/M	HASSELBLAD	Opton 50 f/1.4 Planar 80 f/28	60×60		a	Matówka	150	
	SWC	HASSELBLAD	Biogon 38 f/4.5	60×60			Wizjer ramkowy	150	
	EL	HASSEACOR	21—160	60×60	75	a, b	Matówka	150	Elektryczne przewijanie filmu i wyzwalanie migawki
2.	NIKON F, F ₂	NIKOMAR III OCEANEYE 100 OCEANEYE 100E	Nikkor 20—105 7.5—135	24×35	36	b	Matówka	120 150 150	
3.	NIKONOS	NIKONOS	Nikkor od 7.5—135 mm	24×35	36		Wizjer ramkowy	60	Aparat specjalnie skonstruowany do fotografii podwodnej. Posiada obiektyw skorygowane na aberracje
4.	PENTACON SIX-TL	SZP	Biometar 2.8/80	60×60	12, 24	a	Matówka	40	Obudowa wykonana w WAT
5.	ROLLEIFLEX T	ROLLEIMARIN	Planar 80 f/2.8 Tessar 75 f/3.5	60×60	12	a	Matówka	100	
6.	ZORKA-4	UPK	Jupiter 12/35 f/2.8 Jupiter 8/50 f/2	24×35	36	a	Wizjer ramkowy	50	
7.	AQUA SCAN CAMERA	E. Leitz Ltd.	50°×120° 18.5 mm 1 : 2.8—1 : 11	24×52	825	b		330	

a) iluminator płaskorównoległy

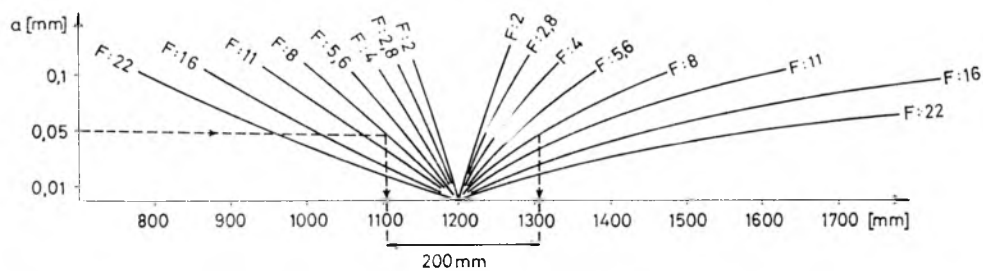
b) iluminator cylindryczny



1mm Skala wektora



Rys. 18



Rys. 19

Tablica 3

Wartość poprawek Δf_{kp} dla aparatu ZORKA-4

r_p (m)	1	1,2	1,5	1,7	2	2,5	3	4	5	7	10
Δf_{kp} (mm)	3,10	2,50	1,96	1,72	1,45	1,14	0,94	0,71	0,56	0,39	0,27

Wielkość dystorsji dr obiektywu Jupiter 8/50 nr 173483 pokazano na rysunku 18, a zasięg głębi ostrości w wodzie dla różnych wartości średnicy krążka nieostrości a i odległości $r_w = 1,2$ m pokazano na rysunku 19.

Elementy orientacji wewnętrznej wyznaczone laboratoryjnie aparatu Pentacon six-TL nr 45737 i obiektywu Biometar nr 8763195 są następujące:

$$\begin{aligned} f_{kp} &= 83,22 \text{ mm} \pm 0,07 \text{ mm}, \\ x_0 &= 0,30 \text{ mm} \pm 0,12 \text{ mm}, \\ y_0 &= -0,61 \text{ mm} \pm 0,39 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Dane lampy błyskowej PE-242 National, w powietrzu:

- kąt błysku pionowy 55° ,
- kąt błysku poziomy 60° ,
- liczba szacunkowa (LS) wynosi 24 dla filmu o czułości 21 DIN.

Dla innych wartości czułości filmu LS podano w tablicy 4.

Tablica 4

Wartość liczby szacunkowej LS lampy PE-242

DIN	24	21	20	19	18	15
LS	34	24	22	19	17	12

Wartość przysłony oblicza się z wzoru $f = \frac{LS}{r_p}$.

Synchronizacja dla migawki szczelinowej: X lub 1/30 s,

Synchronizacja dla migawki centralnej: od 1/30 s do 1/500 s.

W wodzie liczba szacunkowa $LS_w = LS \cdot A$, gdzie $A = f[r_l + r_p]c$;

w tym:

c — całkowity współczynnik osłabienia światła w wodzie,

r_l — odległość od lampy do fotografowanego obiektu,

r_p — odległość od aparatu fotograficznego do obiektu.

Można przyjąć, że $r_l \cong r_p = r$, wtedy $LS_w = LS \exp(-cr)$.

Wartości A w funkcji rzeczywistej odległości fotografowania r_p podano w tablicy 5.

Tablica 5

r_p (m)	1	2	3	4	5	6
A	0.95	0.92	0.9	0.85	0,8	0.75

W tablicy 6 podano obliczone wartości przysłony f dla filmu Aviphot PAN-33 i Kodak Panatomic-X, oraz wartości f otrzymane eksperymentalnie przy fotografowaniu testów nr 1 i 2.

Tablica 6

FILM	r_w	r_p	t	LS_w	f_{obl}	f dla testu
PAN-33	1,2	1,7	1/30	30	1:8	1:11
24 DIN	2.5	3.3	1/30	24	1:4	1:5.6
17 DIN	1.2	1.7	X	14	1:4	1:5.6 i 1:8
	2.5	3.3	X	12	1:2	1:4

Z testowania lampy PE-242 wynikało, że f_{obl} jest słuszne jedynie przy fotografowaniu obiektów pod wodą o małym kontraście rzeczywistym. Przy fotografowaniu testów, dla których kontrast rzeczywisty wynosi $K_M = 0,80$, należy zmniejszyć otwór przysłony co najmniej o jeden skok wartości f .

Kolejność przeprowadzenia badań eksperymentalnych była następująca:

1. Określenie elementów orientacji wewnętrznej i dystorsji aparatu.
2. Skonstruowanie i wykonanie obudów wodoszczelnych do aparatu Pentacon six-TL, lampy błyskowej i światłomierza.
3. Analiza dostępnych filmów pod kątem możliwości wykorzystania ich do fotografii podwodnej, oraz przeprowadzenia badań sensytometrycznych wybranych filmów.
4. Wykonanie testu nr 1 i nr 2 oraz określenie współrzędnych X i Y pomiarem bezpośrednim na koordynatografie.
5. Wykonanie aparatami zdjęć testu pomiarowego nr 1 w powietrzu oraz poprzez iluminator obudowy wodoszczelnej.
6. Określenie parametrów ekspozycji dla różnych akwenów.
7. Określenie rozkładu widmowego przepuszczalności filtrów i iluminatora obudowy SZP.
8. Wykonanie zdjęć na różnych odległościach i w różnych akwenach (basen, Morskie Oko, Adriatyk, Morze Egejskie).

9. Analiza wykonanych zdjęć i wybór optymalnych do opracowań fotogrametrycznych.

10. Opracowanie programów na maszyny cyfrowe ODRA 1003 i ODRA 1325 obliczenia współrzędnych terenowych na podstawie punktów dostosowania.

11. Obserwacje zdjęć na stekometrze z kodowaniem wyników wg opracowanych programów.

12. Obliczenie współrzędnych „terenowych”, odchylek i błędów średnich.

13. Analiza wyników i korekta programów.

6. Warunki wykonania zdjęć

Przy fotografowaniu testu nr 1 odległość fotografowania dobrano tak, aby całą powierzchnię klatki wypełniał obraz testu oraz aby można było łatwo określić zdolność rozdzielczą R_s na podstawie testów NBS umieszczonych na teście pomiarowym nr 1. Warunki wykonania zdjęć aparatem ZORKA-4 i Pentacon six-TL podano w tablicy 7.

7. Fotogrametryczne opracowanie zdjęć

Zdjęcia podwodne opracowano numerycznie następującymi metodami:

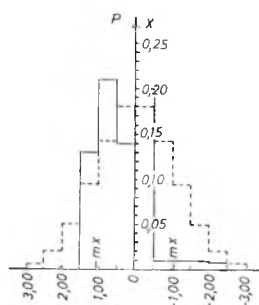
a) przetwarzaniem analitycznym w oparciu o ułożone programy na ODRA 1003 i „TRAN” na ODRA 1325,

b) przetwarzaniem na przetworniku E-4 Wilda,

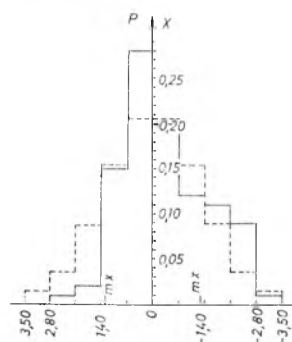
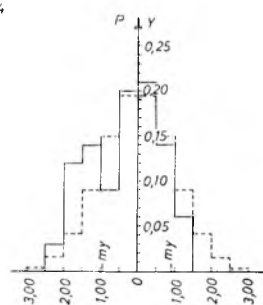
c) przetwarzaniem metodą optyczno-fotograficzną na Małym Przetworniku Zeissa.

Ad.a) Współrzędne tłowe x_i, y_i punktów odfotografowanych na zdjęciach podwodnych pomierzono na stekometrze Zeissa dwukrotnie, korzystając z $12\times$ powiększenia systemu obserwacyjnego i średniego znacznika pomiarowego w postaci pierścienia w kolorze czerwonym. Pomiar i rejestrację na taśmie 5-kanalowej w kodzie nr 2 i 8-kanalowej w kodzie ICL wykonano zgodnie z ułożonymi wcześniej programami obliczeniowymi na ODRA 1003 i ODRA 1325. Program obliczenia współrzędnych geodezyjnych na ODRA 1003 realizował następujące czynności:

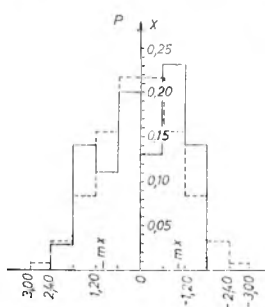
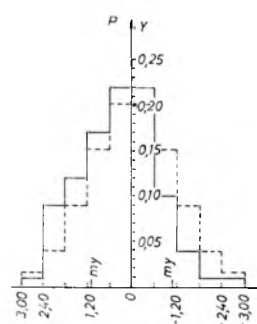
- obliczenie średnich wartości x'_i, y'_i z obserwacji wykonanych parami;
- obliczenie błędu średniego współrzędnych punktów obserwacji na stekometrze m_0 na podstawie pomiarów wykonanych parami;
- ułożenie i rozwiązanie układu równań błędów metodą najmniejszych kwadratów;



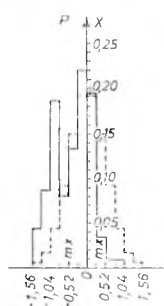
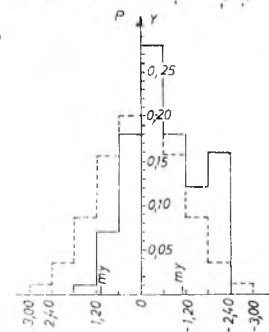
ZDJĘCIE NR 26/14



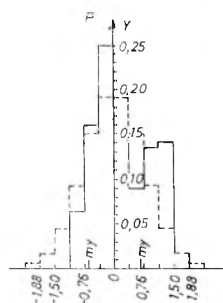
ZDJĘCIE NR 26/17



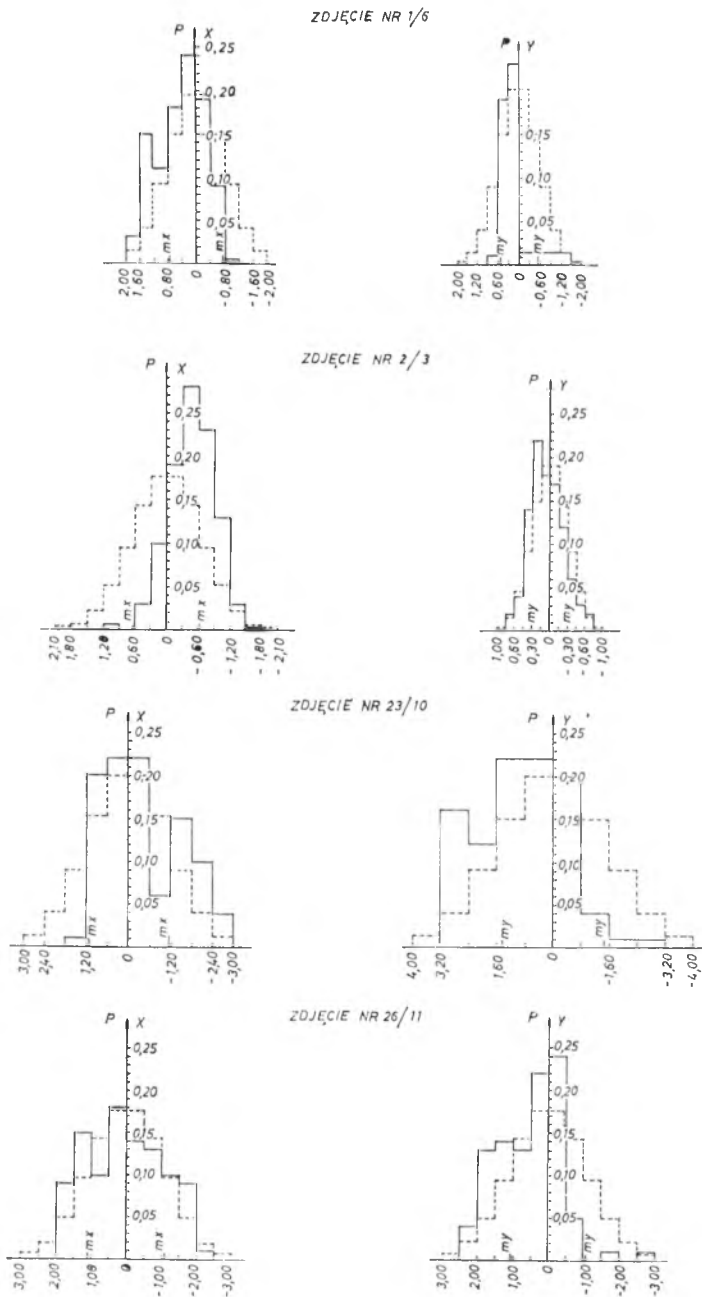
ZDJĘCIE NR 22/12



ZDJĘCIE NR 51/9
PRZETWORZONE NA E-4



Rys. 20a



Rys. 20b

Tablica 7

Warunki wykonania zdjęć aparatem ZORKA-4 z obiektywem Jupiter 8/50 na filmie Aviphot PAN-33,
oraz wartości R_s określone na podstawie testu NBS

Nr zdjęcia	t (s)	f	τ_{ω} (m)	τ_D (m)	z (m)	Filtr	Miejsce	Skala zdjęcia	Oświetle- nie	Uwagi	R_s (l/mm)			Stosunek kontra- stu C
											środek zdjęcia	skraj. zdjęcia		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1/6	1/250	22	1,2	1,2	0	—	Powietrze	1 : 25	Naturalne	Iluminator obudowy UPK	40	40	1 : 10	
2/3	1/250	22	1,2	1,2	0	—	Powietrze	1 : 25	Naturalne	Sam obiek- tyw UPK	40	40	1 : 10	
22/12	1/125	5,6	1,2	1,7	10	—	Morskie Oko	1 : 25	Naturalne	Obudowa UPK	28	—	1 : 2,4	
23/10	1/80	8	1,2	1,7	5	Żółty Nr 1	Morskie Oko	1 : 25	Naturalne	Obudowa UPK	20	14	1 : 2,1	
26/11	1/125	5,6	1,2	1,7	5	—	Adriatyk	1 : 25	Naturalne	Obudowa UPK	20	14	—	
26/14	1/125	8	1,2	1,7	10	—	Adriatyk	1 : 25	Naturalne	Obudowa UPK	20	10	—	
26/17	1/125	5,6	1,2	1,7	20	—	Adriatyk	1 : 25	Naturalne	Obudowa UPK	14	10	1 : 4,5	

Warunki wykonania zdjęć aparatem Pentacon six TL z obiektywem Biometar 2,8/80 na filmie Panatomic X, oraz wartości R_s określone na podstawie testu NBS														
51/4	×	5,6	1,2	1,7	1	—	Basen	1 : 15	Flesz	Obudowa SZP	40	20		
51/9	×	8	1,2	1,7	1	—	Basen	1 : 15	Flesz	Obudowa SZP	14	14		
55/6	1/125	8	1,0	1,3	5	Żółty Nr 2	Morze Egejskie	1 : 10	Naturalne	Obudowa SZP	20	14		

— obliczenie odchyłek współrzędnych na 8 punktach dostosowania;
 — obliczenie błędu średniego m_k na podstawie 8 punktów dostosowania;

— obliczenie współrzędnych punktów wyznaczanych X_F, Y_F .

Następnie obliczono odchyłki $dx = X_F - X_G, dy = Y_F - Y_G$ oraz błędy średnie m_x i m_y z wzorów:

$$m_x = \left[\frac{\sum^N dx dx}{N-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad m_y = \left[\frac{\sum^N dy dy}{N-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Według tego programu opracowano następujące zdjęcia wykonane aparatem ZORKA-4 bez znaczków tłowych: 1/6, 2/3, 22/12, 23/10, 26/11, 26/14, 26/17. Histogramy pokazano na rysunku 20.

Ad.b) Zdjęcia nr 22/12 i 51/9 opracowano również na przetworniku E-4 Wilda nr 3002. Zdjęcie nr 22/12 przetworzono w oparciu o punkty: 301, 328, 2127, 2124 i 814 skartowane na pokład w skali 1 : 4. Zdjęcie po wpasowaniu, naświetlono na papierze KODAK z wkładką aluminiową i po obróbce fotochemicznej pomierzono dwukrotnie współrzędne punktów na koordynatografie Zeissa nr 226899 z błędem średnim $m_{x,y} = \pm 0,03$ mm. Po doprowadzeniu pomierzonych współrzędnych X_F, Y_F do skali 1 : 1 i porównaniu ich ze współrzędnymi geodezyjnymi otrzymano błąd średni $m_x = \pm 0,20$ mm i $m_y = \pm 0,09$ mm w skali zdjęcia.

Tablica 8

**Błędy średnie współrzędnych płaskich obliczonych na EMC ODRA 1003
bez wprowadzenia poprawek**

Nr zdjęcia	Skala zdjęcia	Ilość punktów wpasowania	m_x (mm)	m_y (mm)	Ilość punktów wyznaczanych	Błąd średni w terenie (mm)		Błąd średni w skali zdjęcia (mm)		Uwagi
						m_x	m_y	m_x'	m_y'	
1/6	1 : 23	2×4	0,005	0,17	201	0,79	0,57	0,032	0,023	W powietrzu przez iluminator
2/3	1 : 25	2×4	0,005	0,22	193	0,65	0,30	0,026	0,012	W powietrzu — sam obiektyw
22/12	1 : 25	2×4	0,010	0,14	83	1,06	1,10	0,043	0,044	Morskie Oko
23/10	1 : 25	2×4	0,003	0,38	81	1,15	1,55	0,046	0,062	Filtr żółty Nr 1 Morskie Oko
26/11	1 : 25	2×4	0,007	0,36	90	1,08	1,09	0,043	0,043	Adriatyk
26/14	1 : 25	2×4	0,007	0,21	85	1,07	0,98	0,043	0,039	Adriatyk
26/17	1 : 25	2×4	0,006	0,24	91	1,30	1,13	0,052	0,045	Adriatyk

Zdjęcie nr 51/9 przetworzono w oparciu o punkty: 301, 328, 2802, 2827 i 2115 skartowane na podkład w skali 1 : 2,5. Po pomiarze współrzędnych na koordynatografie i doprowadzeniu ich do skali 1 : 1 otrzymano następujące błędy: $m_x = \pm 0,03$ mm i $m_y = \pm 0,05$ mm w skali zdjęcia. Histogram pokazano na rysunku 20.

Ad.c) Zdjęcie nr 51/9 przetworzono również na Małym Przetworniku Zeissa w oparciu o punkty: 301, 328, 2802, 2827 i 2115 skartowane na podkład w skali 1 : 2,5. Po naświetleniu i obróbce fotochemicznej pomierzono współrzędne na koordynatografie Zeissa z błędem $m_x = m_y = \pm 0,03$ mm. Po doprowadzeniu współrzędnych do skali 1 : 1 i porównaniu ich ze współrzędnymi geodezyjnymi otrzymano $m_x = \pm 0,05$ mm i $m_y = \pm 0,17$ mm w skali zdjęcia.

Błędy średnie współrzędnych obliczonych na ODRZE 1003 podano w tablicy 8, a obliczonych programem „TRAN” z wprowadzeniem poprawek — w tablicy 9. Dane otrzymane z przetworzenia zdjęć na przetwornikach zamieszczono w tablicy 10.

Tablica 10

Dane z przetwarzania zdjęć na instrumentach i otrzymane błędy

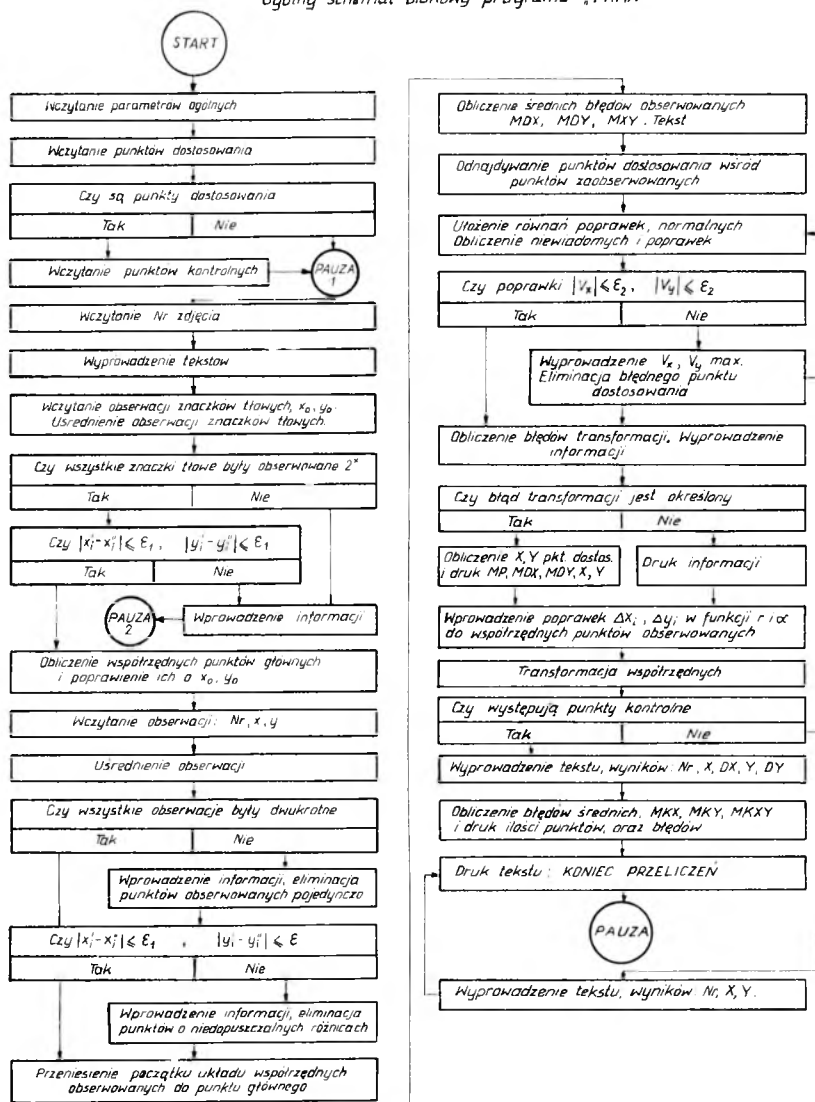
Nr zdjęcia	Skala zdjęcia	Powiększenie V	Skala zdjęcia przetworzonego	Ilość punktów	Przetwornik	Błędy średnie w mm					
						Błąd średni pomiaru X, Y na koordynatografie w skali zdjęcia przetworzonego		Błąd średni w terenie		Błąd średni w skali zdjęcia	
						m_x	m_y	m_x	m_y	m_x'	m_y'
22/12	1 : 25	4,89	1 : 4	74	WILD E-4	0,03	0,03	5,1	2,2	0,20	0,09
51/9	1 : 15	5,92	1 : 2,5	113	WILD E-4	0,02	0,02	0,52	0,75	0,03	0,05
51/9D	1 : 15	—	1 : 2,5	113	Mały Zeissa	0,02	0,03	0,88	2,5	0,06	0,17

Tablica 11

Zestawienie wyników z opracowania analitycznego zdjęcia Nr 26/14 różnymi programami

Nr zdjęcia	Program	Ilość punktów wpasowania	Błąd średni w terenie		Błąd średni w skali zdjęcia		Ilość punktów	Uwagi
			m_x	m_y	m_x'	m_y'		
26/14	ODRA 1003	2×4	1,07	0,98	0,043	0,039	85	Wersja A
26/14A	TRAN-ODRA 1325	4	0,86	0,75	0,034	0,030	80	
26/14B	TRAN-ODRA 1325	10	1,01	0,73	0,040	0,029	75	Wersja B
26/14C	TRAN-ODRA 1325	4	0,86	0,82	0,034	0,033	80	Wersja C

Ogólny schemat blokowy programu „TRAN”



Rys. 21

W tablicy 11 podano wyniki otrzymane z opracowania analitycznego zdjęcia nr 26/14 różnymi wersjami programów.

Ogólny schemat blokowy programu „TRAN” pokazano na rysunku 21.

8. Wnioski

1. Zastosowana przybliżona metoda wyznaczania wartości całkowitego współczynnika osłabienia c z pomiarów wykonanych światłomierzem CdS jest wystarczająca dla określenia parametrów ekspozycji zdjęć podwodnych.

2. Z badanych filmów optymalnym do fotografii w wodzie okazał się film AVIPHOT PAN-33 firmy Gevaert. Obróbkę fotochemiczną tego filmu należy przeprowadzić w wywoływaczu GP-251 w czasie $t_w = 6$ minut w temperaturze 20°C .

3. Opracowane wykresy przybliżonych parametrów ekspozycji w funkcji głębokości i odległości fotografowania dla akwenów, w których wykonywano zdjęcia przy stałych warunkach oświetlenia okazały się wystarczająco dokładne.

4. Opracowane testy pozwoliły na obiektywną ocenę jakości zdjęć oraz ich numeryczne opracowanie.

5. Opracowany program „TRAN” w wersji C pozwala na przeprowadzenie obliczeń współrzędnych płaskich obiektu z wysoką dokładnością na podstawie zdjęć wykonanych niemetrycznymi kamerami.

6. Przy wykonywaniu zdjęć bardzo istotne jest dokładne nastawienie pozornej odległości fotografowania na skali odległości obiektywu aparatu fotograficznego z powodu małej głębi ostrości.

7. Przy niekorzystnych warunkach oświetlenia fotografowanego obiektu należy stosować sztuczne oświetlenie.

8. Stosowanie filtrów powoduje spadek dokładności opracowania.

9. Zdjęcia podwodne wykonane zwykłymi aparatami fotograficznymi można opracować metodami fotogrametrii jednoobrazowej. W zależności od żądanej dokładności opracowania można stosować przetwarzanie optyczno-fotograficzne, fotomechaniczne lub analityczne.

10. Autor widzi celowość kontynuowania prac związanych z fotogrametrią podwodną jakkolwiek już obecnie istnieje możliwość wykorzystania w praktyce osiągniętych rezultatów na przykład do:

- określenia kształtu i wymiarów płaskich obiektów znajdujących się pod powierzchnią wody;

- wykonania dokumentacji fotograficznej i kartograficznej podwodnych odkryć archeologicznych;

- opracowania mikroform dna morskiej strefy brzegowej;

- badań modelowych prowadzonych w wodzie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Babak W.Z., Ivanow P.D., Kotlecow N.B., Rodinow S.A.: *Podwodnaja fotografija*, Leningrad 1969.
- [2] Ball G.M.: *A deep sea camera system*. Photogrammetric Engineering, nr 8, 1967.
- [3] Beker L., Kaczyński R.: *Stereofotogrametryczny zestaw podwodny*. Przegląd geodezyjny, nr 3, 1975.
- [4] Boller B.K., Mc Bride C.E.: *Experimental black-and-white film for underwater photography*. Photogrammetric Engineering, nr 6, 1974.
- [5] Clarke G.L., James H.R.: *Laboratory Analysis of the selective absorption of light by sea water*. Journal of the Optical society of America, nr 2, 1939.
- [6] Dera J., Kalinowski J.: *Przenoszenie energii promienistej w morzu*. Postępy fizyki, nr 17, 1966.
- [7] Dera J., Kalinowski J.: *Wybrane zagadnienia fizyki morza*. Postępy fizyki, nr 5, 1966; nr 2, 1968.
- [8] Dera J., Olszewski J.: *Wybrane zagadnienia fizyki morza*. Postępy fizyki, nr 4, 1969.
- [9] Höhle J.: *Zur theorie und praxis der unterwasser photogrammetrie*. Diss „Veröff. Deutsch. geod. Kommis. Bayer Akad. Wiss”, nr 163, 1971.
- [10] Mc. Neil G.T.: *Underwater photography*. Photogrammetric Engineering, nr 11, 1969.
- [11] Mertens L.E.: *In-water photography*. New York 1970.
- [12] Olszewski J.: *Analiza warunków widzialności podwodnej w morzu na przykładzie Zatoki Gdańskiej*. Oceanografia, nr 2, 1973.
- [13] Preisendorfer R.W.: Rep. Scripps Institute of Oceanography, 1957.
- [14] Sołodownikowa A.M.: *O stieriefotogrammetriczeskom mietodie issledowanija podwodnogo rieljefa, Giediezija i aerofotosjomka*, nr 3, 1962.
- [15] Smarth R.D.: *Man in the sea*. The Military Engineering, Vol 62, nr 106, 1970.
- [16] Specht M.R., Needler D., Fritz N.L.: *New Color film for water photography penetration*, Photogrammetric Engineering, nr 4, 1973.
- [17] Szarowatow L.: *Primienienije fotogrammetrii w izuczenii morskogo dna*. Riefieratiwnyj Žurnal 10. 52. 128, 1972.
- [18] *Tektine II photonauts return from 7-day underwater mission*. Technical Photography, nr 3, 1971.
- [19] Wereszczyński J.: *Poligonizacja pod wodą*. Przegląd Geodezyjny, nr 9, 1971.

Recenzował dr inż. Adam Linsenbarth

Rękopis złożono w Redakcji w czerwcu 1977 r.

РОМУАЛЬД КАЧИНСКИ

РАЗРАБОТКА МЕТОДАМИ КОНТУРНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ СНИМКОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ В ВОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Р е з ю м е

В статье рассматриваются передача (трансмиссия) света и снимка в воде, абберация оптической системы, состоящей из плоскопараллельного иллюминатора и объектива фотоаппарата, пленки применяемые в подводной фотографии, параметры экспозиции при фотографировании в воде. В исследовательской части изложены условия произведения снимков в озере Морское Око, в бассейне, в Адриатическом и Эгейском морях фотографическими аппаратами: Зорька-4 и Пентакон six-TL в водонепроницаемых корпусах. Помещены результаты числовой разработки снимков, сделанных в разных акваториях. Средняя квадратическая ошибка определения плоских координат в масштабе снимка, выполненного аппаратом Зорька-4 и обработанного аналитически без введения поправок, есть порядка: $m_x = m_y = \pm 0,04$ мм, а после введения поправок: $m_x = m_y = \pm 0,03$ мм.

Для аппарата Пентакон six-TL: $m_x = \pm 0,04$ мм и $m_y = \pm 0,03$ мм. Средняя квадратическая ошибка определения координат методом трансформации на Вильд Е-4 для аппарата Зорька-4 в масштабе составляет: $m_x = 0,20$ мм и $m_y = \pm 0,09$ мм, а для аппарата Пентакон six-TL: $m_x = \pm 0,03$ мм и $m_y = \pm 0,05$ мм.

ROMUALD KACZYŃSKI

USE OF SINGLE PHOTOGRAMMETRIC METHODS FOR NUMERICAL ELABORATION OF UNDERWATER PHOTOS

S u m m a r y

In the article transmission of light and image in water, aberrations of optical systems with plane optical window, Photographic films and parameters of exposure for underwater photography are discussed. Experimental part of the paper presents conditions for photography in the Morskie Oko Lake, swimming pool and Mediterranean Sea with non-measuring cameras: ZORKA-4 and PENTACON six-TL in watertight Housings. Results of numerical elaboration of photograpgs taken in water are presented. The mean error of plate coordinates determination in the scale of photographs taken with ZORKA-4 camera, elaborated analitically without correction is: $m_x = m_y = \pm 0,04$ mm. and after correction: $m_x = m_y = \pm 0,03$ mm. For camera PENTACON six-TL: $m_x = \pm 0,04$ mm and $m_y = \pm 0,03$ mm. The mean error of coordinates determination with the method of conversion into Wild E-4 for picture taken with ZORKA-4 camera amounts in the photograph scale is: $m_x = \pm 0,20$ mm, $m_y = \pm 0,09$ mm and for PENTACON six-TL camera: $m_x = \pm 0,03$ mm, $m_y = \pm 0,05$ mm.

SPIS TREŚCI

HENRYK Z. KOWALSKI

Wykorzystanie interferencji światła spójnego (zarejestrowanego pola interferencyjnego) do pomiaru wielkości liniowej i kątowej 3

ANDRZEJ UHRYNOWSKI

Izopory magnetycznego pola Ziemi w Polsce w okresie 1957—1971 63

ROMUALD KACZYŃSKI

Opracowanie metodami fotogrametrii jednoobrazowej zdjęć wykonanych w środowisku wodnym 83

СОДЕРЖАНИЕ

ХЕНРЫК З. КОВАЛЬСКИ

Использование интерференции когезионного света (зарегистрированного интерференционного поля) для измерения линейных и угловых величин 3

АНДЖЕЙ УХРЫНОВСКИ

Изопоры магнитного поля Земли в Польше в период 1957—1971 г. 63

РОМУАЛЬД КАЧИНЬСКИ

Разработка методами контурной аэрофотосъемки снимков, выполненных в водном пространстве 83

CONTENTS

HENRYK Z. KOWALSKI

The use of coherent light interference (registered interference field) for measurement of line and angle quantities 3

ANDRZEJ UHRYNOWSKI

The Earth magnetic field isopores in Poland in the period 1957—1971 63

ROMUALD KACZYŃSKI

Use of single photogrammetric methods for numerical elaboration of underwater photos 83

