

WYKONYWANIE I OPRACOWANIE KARTOMETRYCZNE ZDJĘĆ PODWODNYCH

Leszek Beker, Romuald Kaczyński

Katedra Geodezji i Fotogrametrii WAT,
Instytut Geodezji i Kartografii

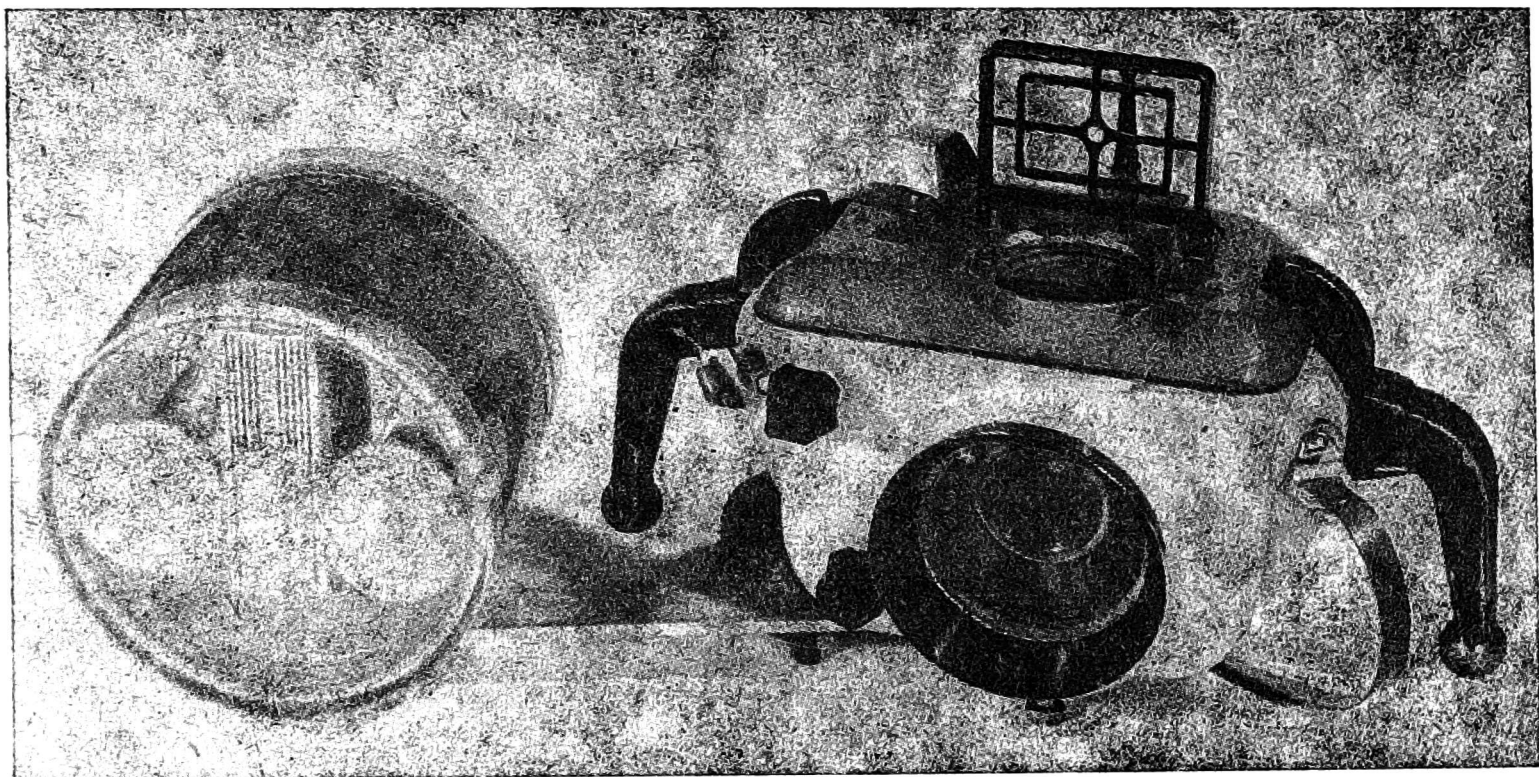
WSTĘP

W krajach mających dostęp do morza obserwuje się coraz większe zainteresowanie możliwością jego penetrowania i wykorzystywania zasobów wodnych. Jedną z efektywniejszych metod badawczych jest fotografia i fotogrametria podwodna dające możliwość wykonywania pomiarów metodą bezdotykową (nie niszczącą). Fotogrametria podwodna jest młodą dziedziną i zajmuje się wykonywaniem zdjęć w wodzie i ich kartometrycznym opracowaniem. Fotografowanie na mniejszych głębokościach (rzędu kilkudziesięciu metrów) wykonuje pływonek wyposażony w odpowiedni sprzęt, natomiast na większych — stosuje się specjalne zdalnie sterowane systemy, składające się z kamer, reflektorów i urządzeń nawigacyjnych. W artykule tym omówione są głównie zasady wykonywania zdjęć pomiarowych w wodzie oraz sposób ich kartometrycznego opracowania.

ZASADY WYKONYWANIA ZDJĘĆ POMIAROWYCH W WODZIE

Fotografowanie w wodzie jest procesem niezwykle skomplikowanym z uwagi na szereg utrudniających czynników, związanych z transmisją światła oraz przebiegiem promieni świetlnych w różnych ośrodkach (woda-szkło-powietrze). Jeszcze bardziej skomplikowane jest uzyskiwanie zdjęć podwodnych z dużą dokładnością. Oprócz selektywnego pochłaniania światła w wodzie na jakość obrazu fotograficznego obiektu wpływa jego kontrast, transmisja kontrastu, rozproszenie promieni niosących informację oraz jakość układu iluminator obudowy wodoszczelnej—obiektyw—film. Charakterystyka układu optycznego aparatu fotograficznego w wodzie jest inna niż w powietrzu, a mianowicie: zwiększa się ognisko-

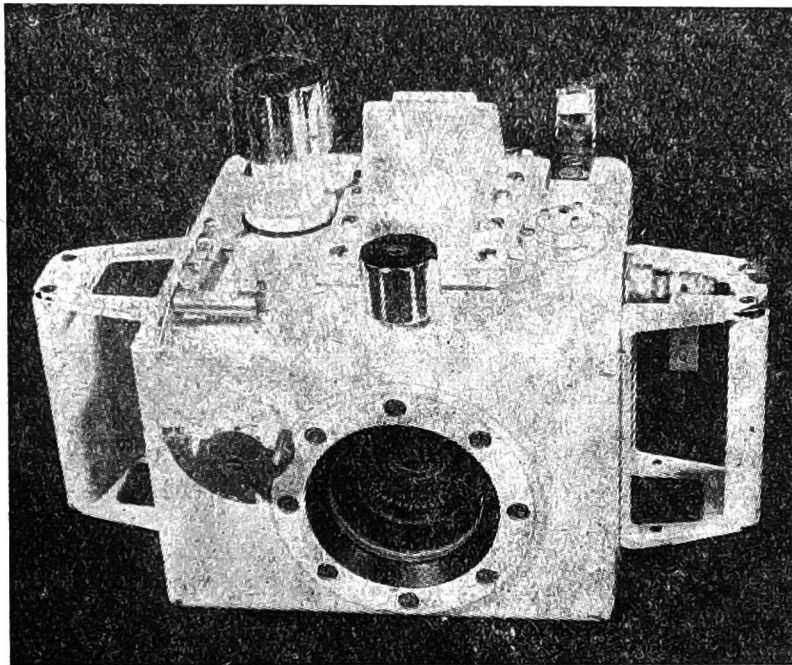
wa obiektywu, zmniejsza się pole widzenia obiektywu, pojawia się dodatkowa aberacja chromatyczna i dystorsja. Czynniki te w zasadniczym stopniu wpływają na pomiarową jakość zdjęć podwodnych. W większości przypadków zdjęcia pod wodą wykonuje się aparatem fotograficznym w wodoszczelnej obudowie z iluminatorem w postaci płytki płaskorównoległej, jakkolwiek istnieją już obudowy z iluminatorem sferycznym, skorygowanym na wymienione aberacje (Ocean eye do Nikona F-2, Hasselblad EL/M). Cechą aparatu fotograficznego, przeznaczonego do wykonywania zdjęć pomiarowych, jest ramka tłowa ze znaczkami pozwalającymi jednocześnie wyznaczyć punkt główny zdjęcia i odległość obrazową z dokładnością rzędu setnych części milimetra. Zwykle aparaty fotograficzne można odpowiednio adoptować do wykonywania zdjęć pomiarowych. Do tych celów autorzy przystosowali aparat Zorki-4 (rys. 1), Pentacon-six TL (rys. 2), Stereofotogrametryczny Zestaw Podwodny SZP-1 (rys. 3), którego opis podano w [2] oraz SZP-2 na bazie aparatów Hasselblad 500 C/M (rys. 4). Stereofotogrametryczne Zestawy Podwodne



Rys. 1. Aparat Zorki-4 w obudowie UPK z lampą błyskową National

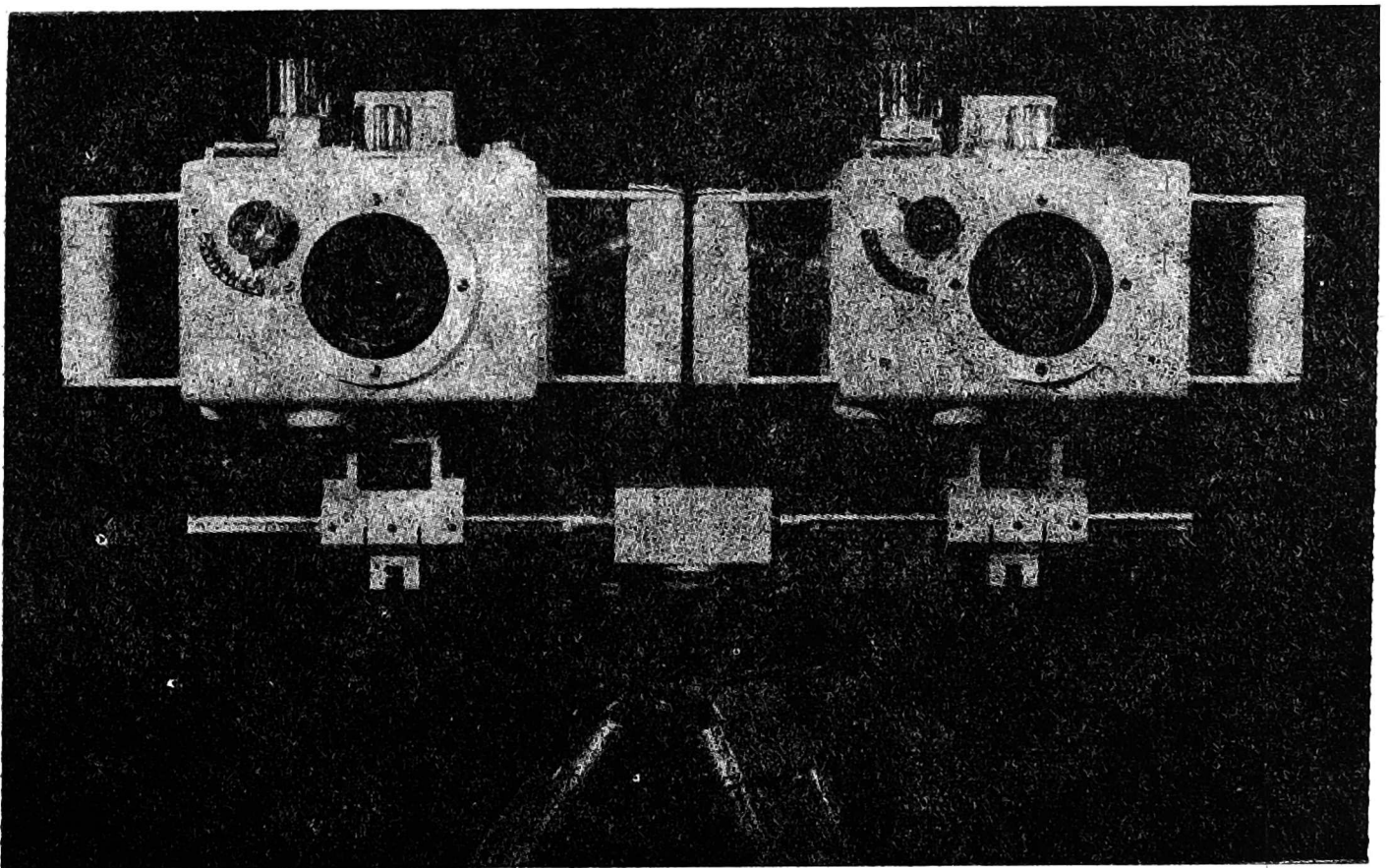
(Fot. J. Żukowska)

służą do wykonywania synchronicznych zdjęć z pewnej bazy, której wielkość może być regulowana. W rezultacie otrzymuje się stereogramy o znanych elementach orientacji wewnętrznej i wzajemnej, co pozwala na opracowanie ich na instrumentach analogowych typu autograf. Zasady wykonywania pojedynczych zdjęć pod wodą podano między innymi w pracach [1], [3], [6].



Rys. 2. Aparat Pentacon six-TL z SZP-1 w obudowie do zdjęć podwodnych wykonanej wg pomysłu autorów

(Fot. J. Żukowska)

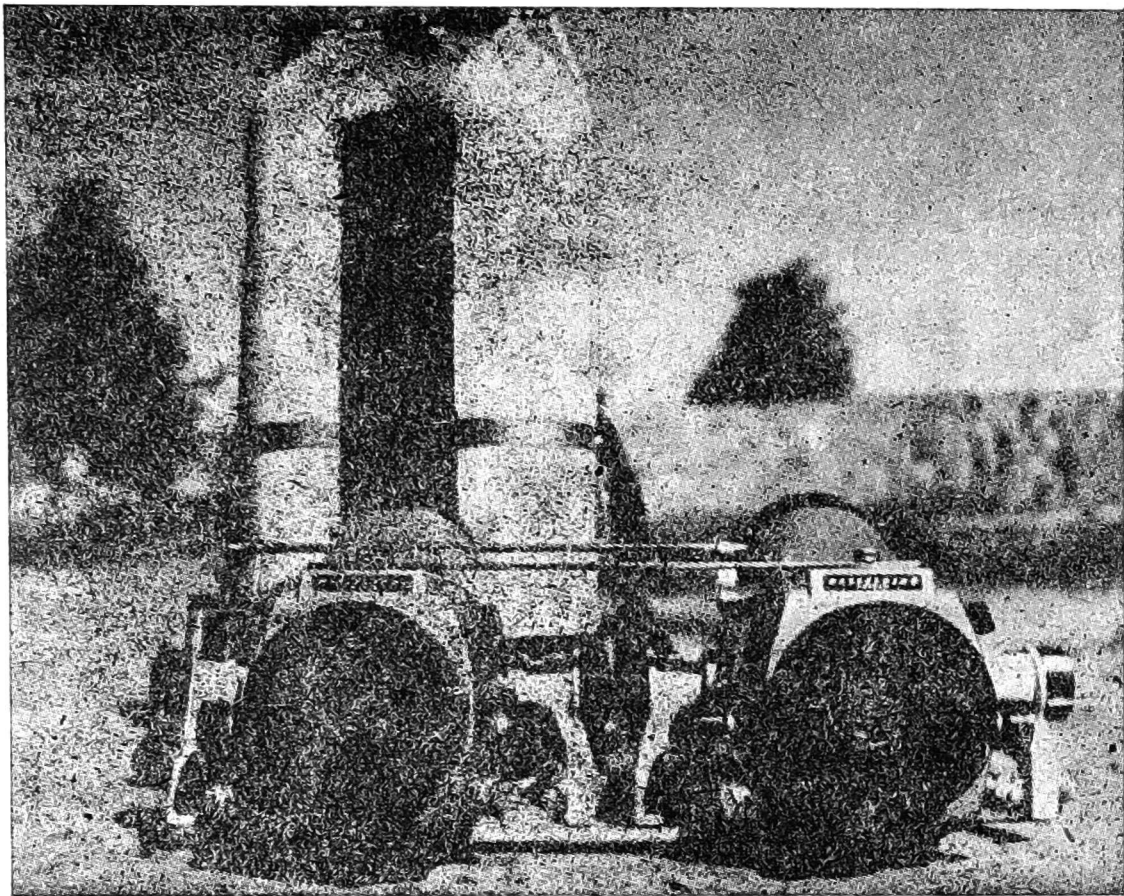


Rys. 3. Stereofotogrametryczny Zestaw Podwodny SZP-1

(Fot. J. Żukowska)

Zdjęcia stereofotogrametryczne można otrzymać w następujący sposób:

— w bezpośrednim kontakcie z dnem;



Rys. 4. SZP-2 wykonany na bazie aparatów Hasselblad 500 C/M

(Fot. R. Kaczyński)

— bez kontaktu z dnem, kiedy wykonywanie stereogramu odbywa się w toni wodnej.

W celu otrzymania maksymalnej ilości informacji na zdjęciu przeznaczonym do wykonywania na nim pomiarów stosuje się materiały fotograficzne, które charakteryzują się następującymi parametrami:

- dużą światłoczułością z maksymalnym uczuleniem przypadającym dla λ w przedziale od 480 do 530 nm;
- wysoką wartością współczynnika kontrastu;
- dużą zdolnością rozdzielczą;
- cienkim nie deformującym się podłożem;
- minimalną wartością zadymienia.

Wszystkie te cechy ma jedynie film firmy Kodak opisany w [5]. Film ten charakteryzuje się uczuleniem w przedziale od $\lambda = 400$ nm do $\lambda = 530$ nm, współczynnikiem kontrastu $\gamma = 5,0$ oraz maksymalną zdolnością rozdzielczą, dochodzącą do 180 l/mm. Autorzy do wykonywania zdjęć pomiarowych stosowali materiały filmowe o parametrach zbliżonych do żądanych, które wykorzystywane są w fotografii lotniczej z dużych wysokości (Kodak Panatomic-X, Kodak TRI-X, Aviphot PAN 33 firmy Gevaert). Zdjęcia wykonywano aparatami, w których wyznaczono ele-

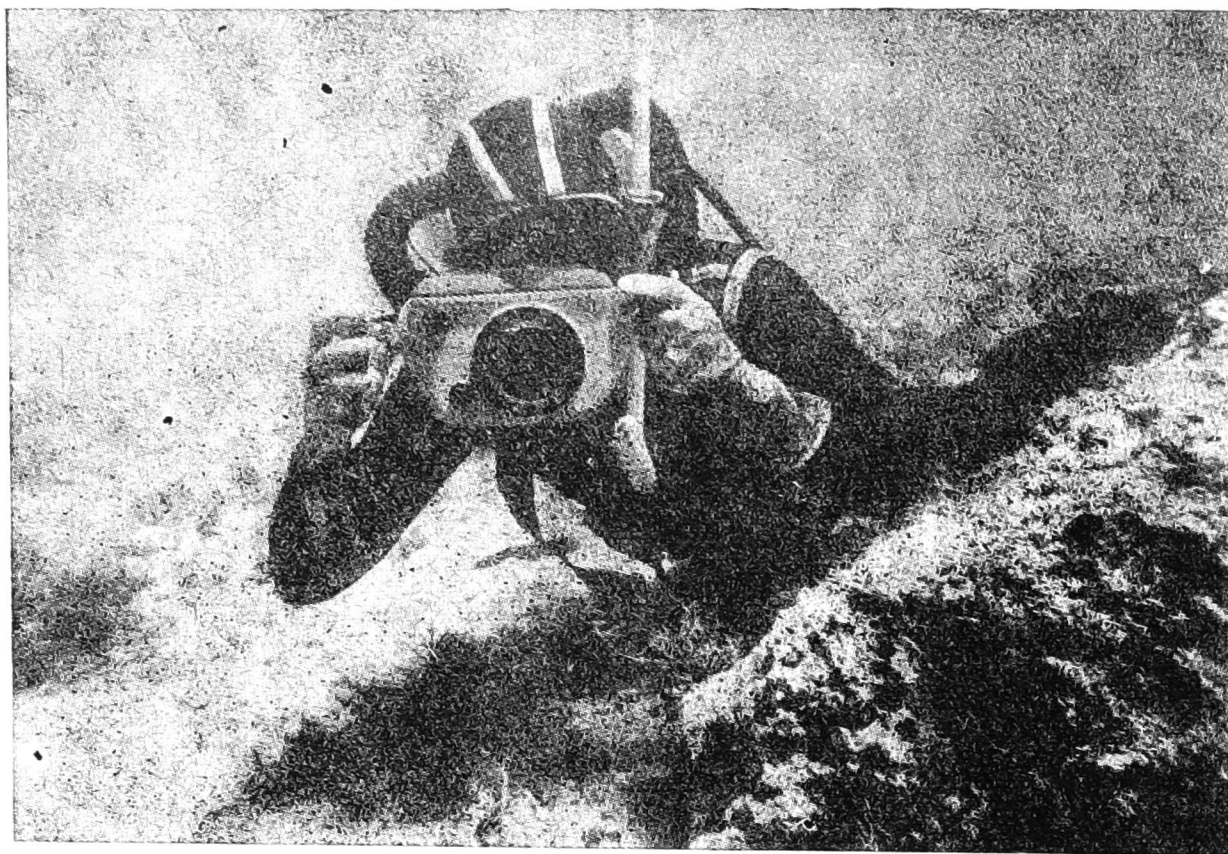
menty orientacji wewnętrznej (x_0 , y_0 i f_{kw}) oraz dla zestawów SZP-1 i SZP-2 dodatkowo elementy orientacji wzajemnej. Dane te są niezbędne w celu późniejszego opracowania zdjęć bądź to metodą analogową, bądź też metodą analityczną. Na rysunku 5 pokazano płetwonurka, wykonującego zdjęcia aparatem Zorka-4 w Adriatyku na głębokości 20 m.

OPRACOWANIE ZDJĘĆ PODWODNYCH I PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA

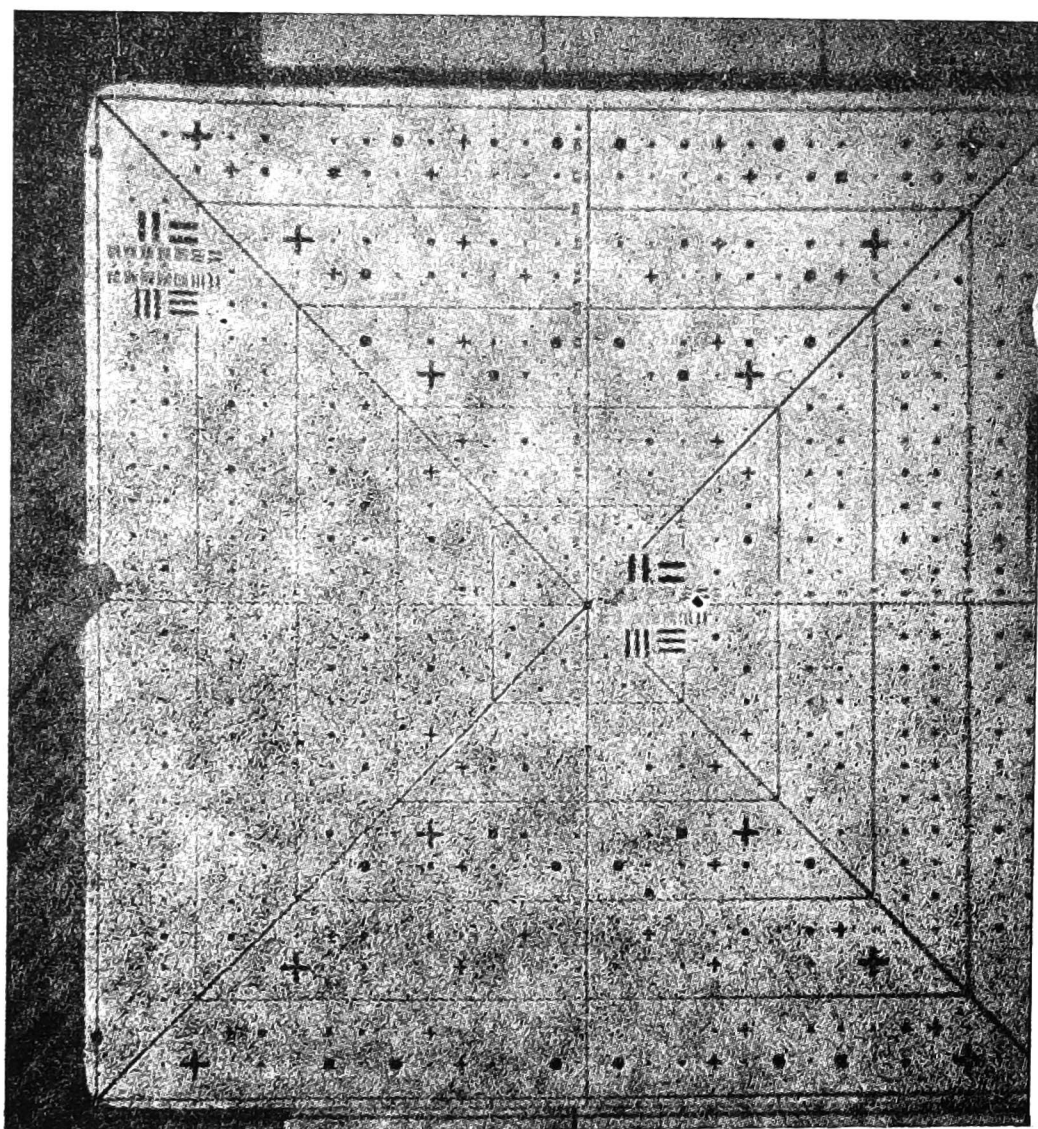
Wyniki opracowania mogą być przedstawione w formie graficznej lub w postaci cyfrowej. Opracowanie analogowe zdjęć podwodnych jest obecnie bardziej skomplikowane aniżeli opracowanie analityczne. Spowodowane jest to głównie trudnością w eliminowaniu zniekształceń obrazu, wywołanego aberacją i zmianą f_k kamery.

Pierwsze próby zastosowania metody fotogrametrii jednoobrazowej w Polsce do opracowania zdjęć wykonanych w wodzie przeprowadzili autorzy w 1972 r. Dla określenia dokładności proponowanej metody wykonano zdjęcia testu nr 1 z sygnalizowanymi punktami, których współrzędne X , Y wyznaczono pomiarem bezpośrednim z błędem $m_{xy} = \pm 0,02$ mm.

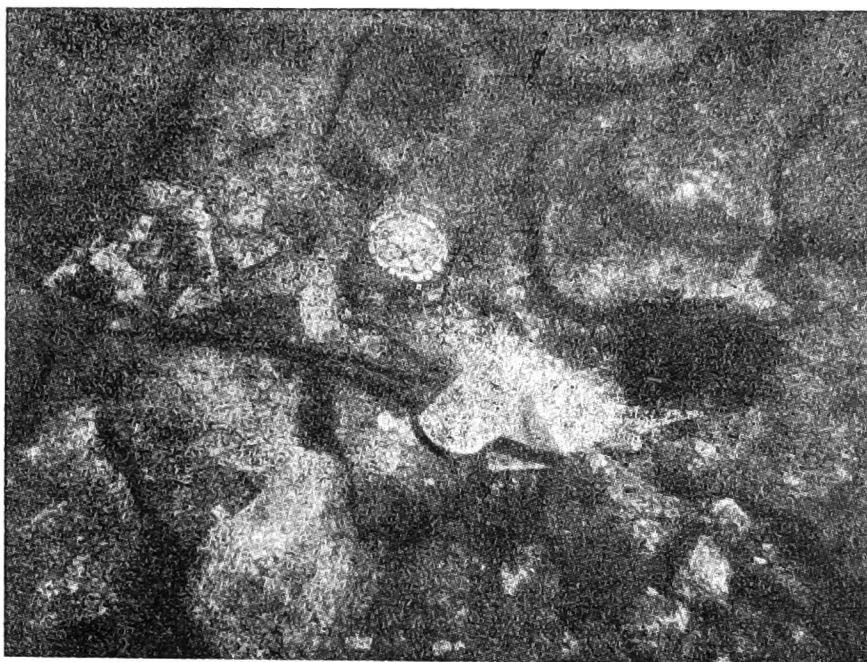
Zdjęcia wykonano w basenie (rys. 6), w jeziorze Morskie Oko i w Adriatyku. Pomiar współrzędnych na negatywie wykonano na stekometrze Zeissa, a obliczenie współrzędnych „terenowych” XY na EMC ODRA 1325 według ułożonego do tego celu programu „TRAN”, opartego na przekształceniach rzutowych. W rezultacie otrzymano dokładność wyznaczenia współrzędnych płaskich rzędu $m_x = m_y = \pm 0,03$ mm w skali zdjęcia. Te same zdjęcia opracowano również metodą przetwarzania fotomechanicznego na przetworniku Wild E-4, uzyskując błąd rzędu $m_x = \pm 0,03$ mm i $m_y = \pm 0,05$ mm dla zdjęć wykonanych aparatem Pentacon-six-T1. To samo zdjęcie przetworzono również metodą optyczno-fotograficzną na prostym instrumencie zwanym Małym Przetwornikiem Zeissa, gdzie otrzymano błąd $m_x = \pm 0,06$ mm i $m_y = \pm 0,17$ mm w skali zdjęcia. Instrument ten ze względu na niewysoki koszt i łatwość obsługi oraz zapewnienie wystarczającej dokładności opracowania może być stosowany przez użytkowników o niewielkim przygotowaniu fotogrametrycznym. Oprócz tego wykonano w 1973 i 1974 roku zdjęcia dna jeziora Morskie Oko w Tatrach dla określenia zanieczyszczeń i lawin schodzących z Szerokiego i Marchwicznego Żlebu (rys. 7, 8). Przeprowadzone zostały również próby zastosowania fotogrametrii dwuobrazowej do analogowego opracowania stereogramów podwodnych wykonanych SZP-1. Obiektem opracowania był fragment dna morskiego w Adriatyku na głębokości 15 m. Fragment ten sfotografowano na tle testu nr 2 z sygnali-



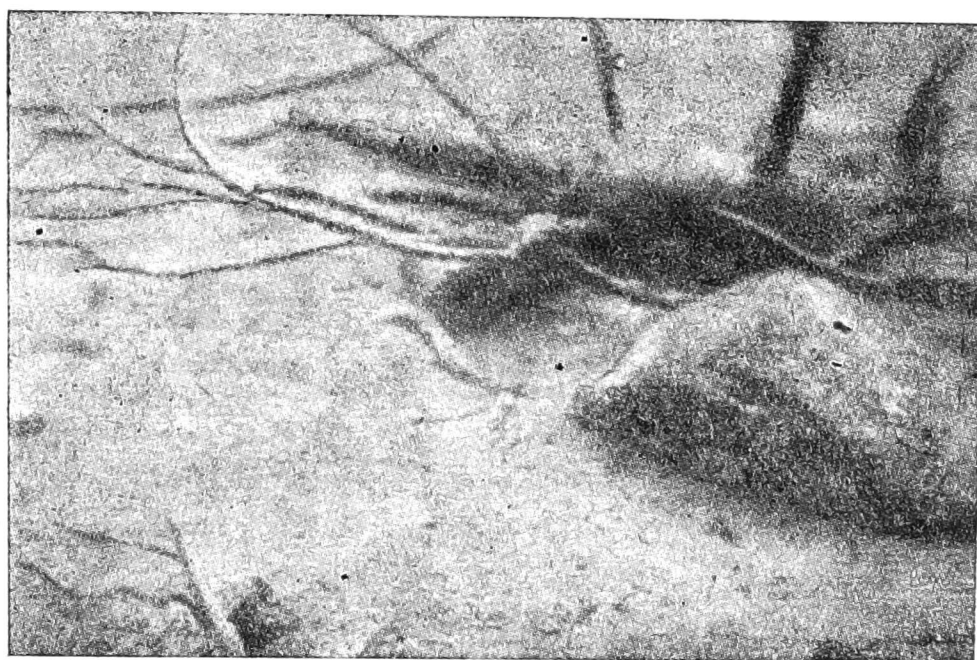
Rys. 5. Wykonywanie podwodnych zdjęć na głębokości 20 m w Adriatyku
(Fot. R. Kaczyński)



Rys. 6. Podwodne zdjęcie w basenie testu nr 1
(Fot. R. Kaczyński)



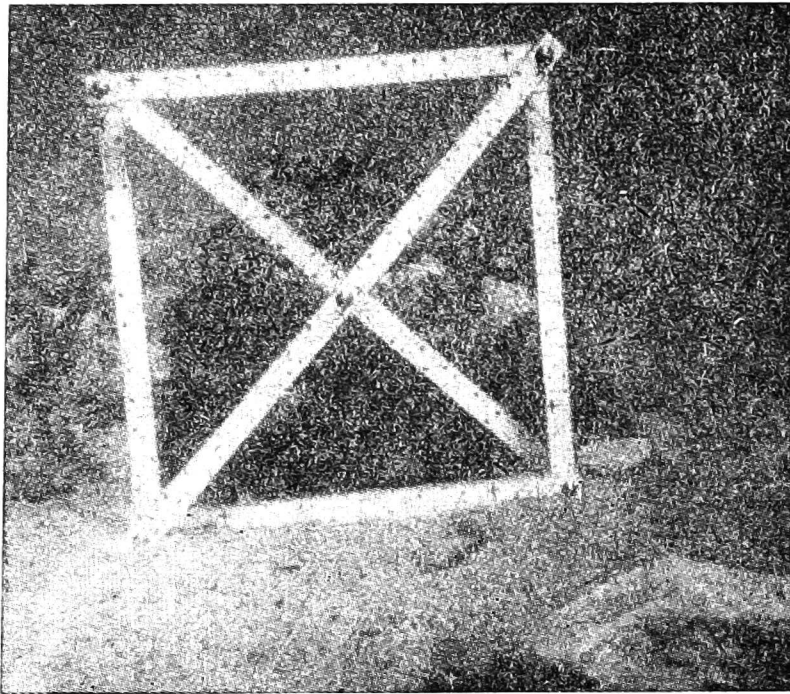
Rys. 7. Zdjęcie wykonane w jeziorze Morskie Oko
(Fot. R. Kaczyński)



Rys. 8. Skutki lawiny w Morskim Oku
(Fot. R. Kaczyński)

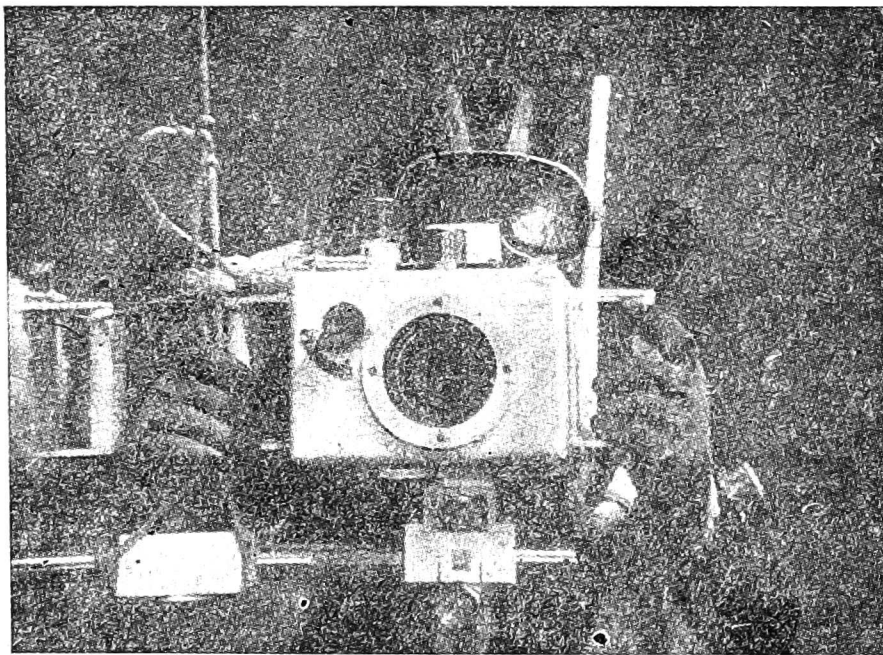
zowanymi punktami o znanych współrzędnych XYZ (rys. 9). Analogowe opracowanie wykonano na autografie Wild A-7, otrzymując plan warstwiczny fotografowanego wycinka. Na rysunku 10 pokazano SZP-1 w trakcie wykonywania stereogramów.

W 1976 r. autorzy wykonali serię eksperymentalnych zdjęć stereoskopowych ryb w basenie Instytutu Rybactwa Śródlądowego w Żabieńcu k. Warszawy. Celem eksperymentu było określenie przydatności nowej, nie niszczącej metody badawczej w pracach hydrobiologicznych. Zdjęcia wykonano SZP-2, fotografując m.in. rybę z gatunku *Tołpyga*



Rys. 9. Zdjęcie ze stereogramu wykonanego w Adriatyku SZP-1

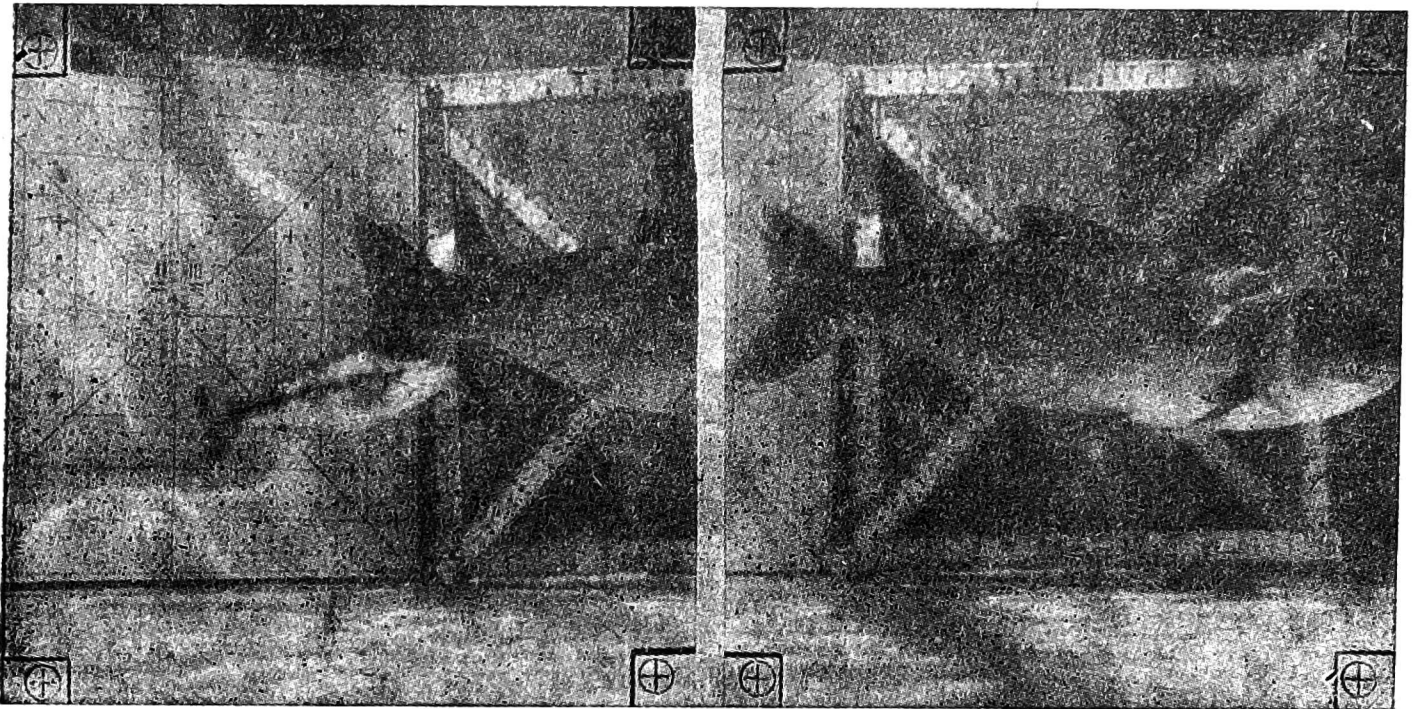
(Fot. L. Beker)



Rys. 10. Wykonywanie stereogramów SZP-1 w jeziorze na głębokości 10 m

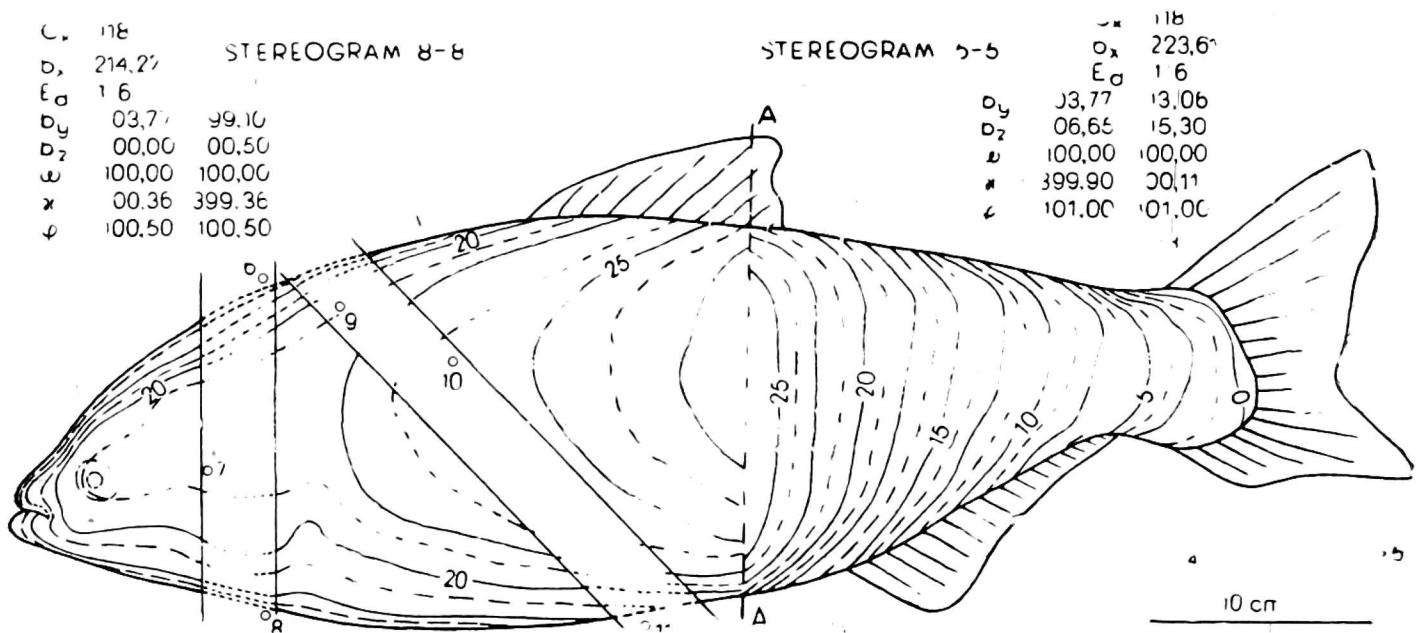
(Fot. R. Kaczyński)

Biała o długości około 60 cm i szerokości około 17 cm będącą w ruchu. Wykonane stereogramy (rys. 11) opracowano metodą analogową na auto-grafie Wild A-7 w skali 1:1,2 w rzucie na dwie płaszczyzny rozgraniczone linią A—A (rys. 12). Zastosowanie tej metody pozwoliło na bezkontaktowe określenie kształtu i wymiarów ciała ryby, wyeliminowanie pracochłonnych czynności związanych z pobieraniem próbek populacyjnych pod wodą. Zastosowanie fotogrametrii podwodnej i hydrobiologii pozwoli również na zdalne badanie tempa wzrostu ryby, zbadanie fauny



Rys. 11. Stereogram 8-8 ryby z gatunku Tołpyga Biała wykonany SZP-2 na tle testu nr 2

(Fot. L. Beker)



Rys. 12. Pomniejszony plan warstwiczny ryby Tołpygi Białej opracowany na auto-grafie Wild A-7 na podstawie stereogramów: 8-8, 5-5

bezkąrowej i flory wodnej, dzięki czemu można będzie uniknąć pewnych zmian w badanym środowisku wodnym. Dla ustalenia dokładności analitycznego opracowania stereogramów autorzy wykorzystywali przestrzenny test nr 2 z sygnalizowanymi punktami o znanych współrzędnych XYZ z błędem $m_{xy} = \pm 0,03$ mm i $m_z = \pm 0,02$ mm. Stereogramy

testu wykonano bez kontaktu z dnem w toni wodnej zestawem SZP-1. Obserwację stereogramów przeprowadzono na stekometrze Zeissa, a obliczenie współrzędnych terenowych według programu TAPE WODA-1. Uzyskano następujące błędy średnie w skali zdjęcia: $m_x = m_y = \pm 0,04$ mm i $m_z = \pm 0,19$ mm.

WNIOSKI

1. Wykorzystanie metod fotogrametrii do pomiarów podwodnych przy naturalnych warunkach oświetlenia może być stosowane w większości akwenów tylko do głębokości kilkunastu metrów. W przypadku konieczności wykonania rejestracji obiektu na większych głębokościach konieczne jest stosowanie sztucznego oświetlenia, którego źródło usytuować należy możliwie blisko fotografowanego obiektu.

2. Dokładność stereofotogrametrycznych pomiarów podwodnych jest niższa niż ta, którą można uzyskać w powietrzu przy stosowaniu tego samego SZP. Jest ona jednak wystarczająca dla szeregu opracowań.

3. Wybór metody wykonania i opracowania zdjęć zależy od celu i żądanej dokładności.

4. Fotogrametria podwodna jest jedną z prostszych, szybszych, dokładnych i ekonomicznych metod bezkontaktowej penetracji środowiska wodnego i może być zastosowana między innymi do:

— wykonania dokumentacji fotograficznej i kartograficznej podwodnych odkryć archeologicznych;

— określenia wymiarów i odkształceń obiektów znajdujących się w wodzie;

— rejestracji skutków badań prowadzonych na modelach w wodzie;

— wykonania map dna niewielkich powierzchni;

— badań hydrobiologicznych;

— opracowania mikroform morskiej strefy brzegowej.

LITERATURA

1. Beker L., Kaczyński R.: Fotogrametria Podwodna. Geodezja w gospodarce morskiej. Gdańsk, 1975.
2. Beker L., Kaczyński R.: Stereofotogrametryczny Zestaw Podwodny. Prz. geod. 3, 1975.
3. Beker L., Kaczyński R.: Fotografia w środowisku wodnym dla opracowań fotogrametrycznych. Prz. geod. 2, 1973.
4. Beker L., Kaczyński R., Woźniewski M.: Próba zastosowania stereofotogrametrii podwodnej w hydrobiologii. Prz. geod. 2, 1978.
5. Boller B. K., Bride C. E.: Experimental Black and White film for Underwater Photography. Photogrammetric Engineering 6, New York 1974.
6. Mertens L. E.: In Water Photography. New York — London, 1970.

Лешек Бекер, Ромуальд Качиньски

ВЫПОЛНЕНИЕ И КАРТОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОДВОДНЫХ СЪЕМОК

Резюме

Проводится краткий рассмотр принципам выполнения картометрических съемок в водной среде с помощью единичных фотоаппаратов соответственно адаптированных для измерительных целей, а также стереофотографических подводных составов. Рассматриваются результаты аналитической обработки отдельных подводных съемок выполненных фотоаппаратами Зоркий-4 и Пентакон сикс-ТЛ в водонепроницаемых корпусах. Эти результаты дали: $m_x = m_y = \pm 0,03$ мм в масштабе съемки. При разработке аналитическим методом стереограмм выполненных составом СЭП-1 сконструированным на базе Пентакон сикс были получены погрешности: $m_x = m_y = \pm 0,04$ мм и $m_z = \pm 0,19$ мм в масштабе съемки.

Приводятся также примеры для аналоговых обработок единичных и стереоскопных съемок, выполненных в разных водоёмах.

Leszek Beker, Romuald Kaczyński

EXECUTION AND ELABORATION OF CARTOMETRIC UNDERWATER SHOTS

Summary

Principles of taking photogrammetric shots in the water medium at use of photographic cameras appropriately adapted to measuring purposes as well as stereophotogrammetric underwater sets are discussed in short. Results of the analytical elaboration of single shots taken under water by the Zorki-4 and Pentacon six-TL cameras in waterproof casings are presented. The results gave: $m_x = m_y = \pm 0.03$ mm in the scale of the shot. In working out stereograms made at use of the analytic method by the SZP-1 set, constructed on the basis of the Pentacon six, errors: $m_x = m_y = \pm 0.04$ mm and $m_z = \pm 0.19$ mm in the scale of shot were obtained. Also some examples for analogous elaboration of the single and stereoscopic shots taken in various water basins are quoted.