

FOTOGRAMETRYCZNA TECHNIKA REJESTRACJI
I INTERPRETACJI TOPOGRAFII MODELI HYDROTECHNICZNYCH

Zdzisław Marcinowski, Marian Mokwa

Akademia Rolnicza we Wrocławiu
Wydział Melioracji Wodnych

Obraz fotograficzny odznacza się obiektywnością, dokumentalną wartością oraz krótkim czasem rejestracji. Cechy te zdecydowały o powszechności i uniwersalizmie technik fotograficznych. Zdjęcie fotograficzne w sensie geometrycznym jest rzutem środkowym, co oznacza, iż w ogólnym przypadku nie posiada ono cech kartometrycznych. Wiele dyscyplin naukowych, głównie technicznych, posługując się fotografią, zgłasza potrzebę nie tylko opisowej, ale i metrycznej interpretacji zdjęć. Żądaniem tym jest w stanie sprostać fotogrametria - dyscyplina naukowa zajmująca się metryczną interpretacją obrazów fotograficznych. Technika fotogrametryczna pozwala na określenie płaskich i przestrzennych wymiarów fotografowanych obiektów, bądź zjawisk, oraz na określenie ich zmian w czasie. Stwarzają możliwość prezentacji wyników w różnorodnej formie dostosowanej do charakteru badanego zjawiska. Zdjęcie fotograficzne posiada pewne zniekształcenia treści, spowodowane czynnikami fizycznymi, a głównie wadami optycznymi obiektywu, niepłaskością materiału światłoczułego w momencie ekspozycji i jego nieprzyleganiem do płaszczyzny tłowej. Od zdjęcia fotogrametrycznego wymaga się, ażeby było wolne od wpływu czynników fizycznych deformujących obraz oraz, aby miało określoną tzw. orientację wewnętrzną (odległość obrazowa, układ współrzędnych tłowych, dystorsja obiektywu). Z tych powodów do wykonania zdjęć fotogrametrycznych stosuje się specjalne kamery pomiarowe (lotnicze, naziemne, stereometryczne). Ograniczony zasięg tych kamer sprawia, że w specjalnych zastosowaniach fotogrametrii używa się również aparatów fotograficznych wysokiej precyzji, dla

których przeprowadza się kalibrację [2]. Współczesny aparat matematyczny pozwala bowiem na wyeliminowanie w trakcie analitycznego opracowania zdjęć błędów systematycznych zniekształcających obraz fotograficzny.

Obok wymienionych już zalet obiektywności, dokumentalności, krótkiego momentu rejestracji, fotogrametrię charakteryzują [11]:

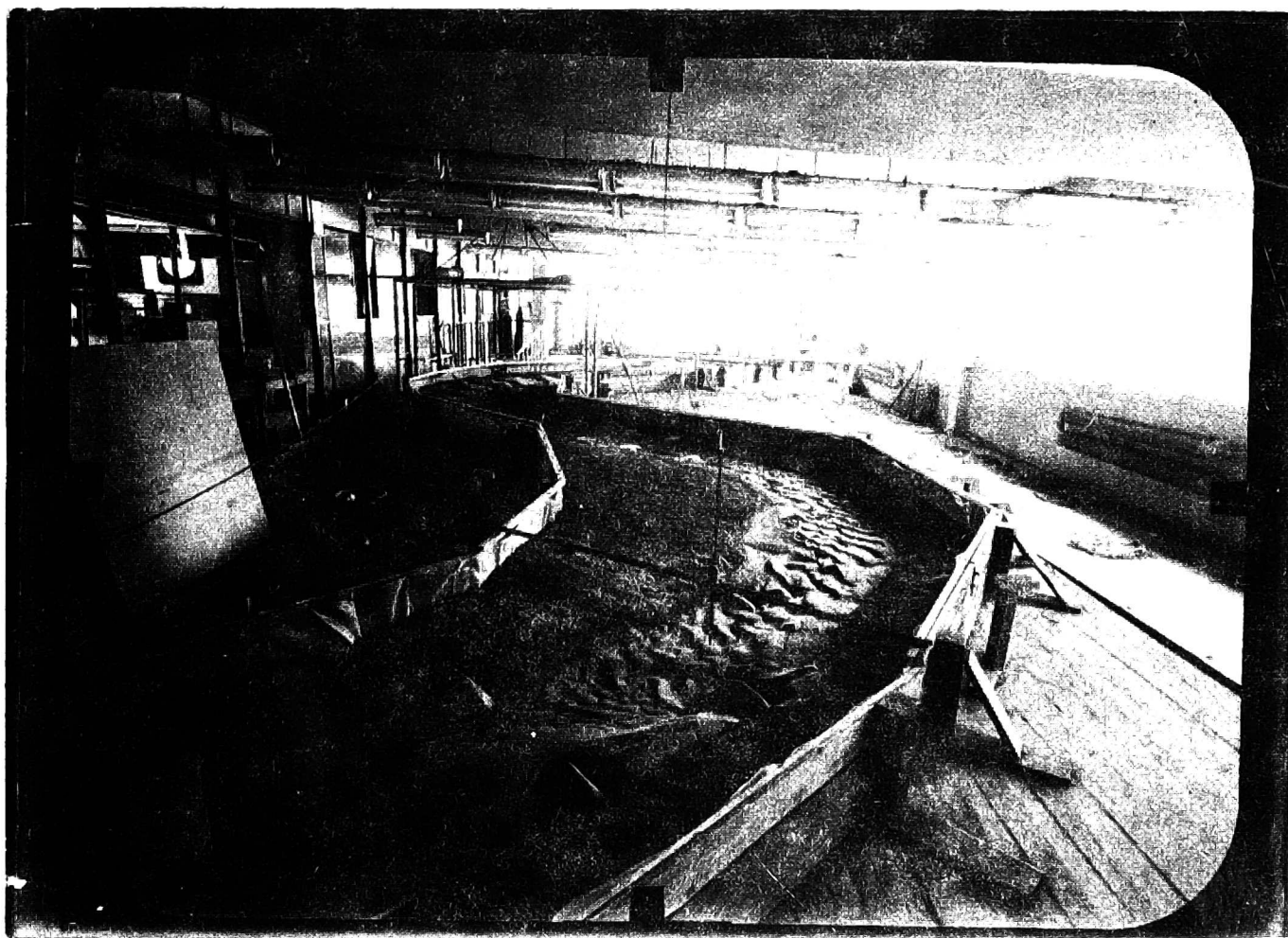
- bezkontaktowa (zdalna) metoda pozyskiwania informacji o obiekcie;
- przeniesienia ciężaru prac w warunki kameralne, bez potrzeby kontaktu z mierzonym obiektem;
- możliwość przedstawienia wyników badań w różnorodnej postaci (fotomapa, mapa kreskowa, profile, zbiór współrzędnych itp.).

Cechy te decydują o stale rosnącym zastosowaniu techniki fotogrametrycznej jako doskonałej metody jakościowego i ilościowego określania wielu zjawisk. Przedstawiając przykład zastosowania fotogrametrii w modelowych badaniach hydrotechnicznych, skonkretyzowano myśl Majdego i Niepokólczyckiego [5]: „...fotogrametria może i chyba powinna dostarczyć cennych metod badawczych i pomiarowych specjalistom z dziedziny gospodarki wodnej. Ma ona bowiem jeden niezwykle dla nich istotny walor - jest jakby stworzona do rejestrowania i pomiarów stanów chwilowych, zmiennych w czasie...”. Nadmienić tu należy, że znane są już próby stosowania fotogrametrii w laboratoryjnych badaniach hydrotechnicznych do określenia charakterystyki powierzchni wody, czyli tzw. falowania [9, 10], do rejestracji deformacji dna, spowodowanej postawieniem podpór mostowych [1] i do pomiaru tłumienia przepływu na przeszkodach przy symulacji na kanale wodnym [4].

Laboratoryjne badania modelowe poprzedzają wszystkie ważniejsze inwestycje w budownictwie wodnym. Określenie zjawisk hydraulicznych występujących na modelach budowli i urządzeń hydrotechnicznych w porównaniu z kryteriami geometrycznego podobieństwa modelu z naturą [3] daje podstawę do prognozy zjawisk, które wystąpią w określonych warunkach w skali naturalnej. W doświadczeniach tego typu występuje potrzeba wykonania pomiarów topograficznych w skali modelu. Dotyczą one najczęściej określenia kształtu dna modelu w danych warunkach hydraulicznych. Stosowane powszechnie dla tego celu metody pomiarów bezpośrednich polegają na profilowaniu dna w wybranych przekrojach, a także na układaniu warstw nitko-

wych wzdłuż krawędzi lustra wody i ich fotograficznej rejestracji [3]. Sposoby te są bardzo żmudne, czasochłonne i grożą przypadkową deformacją badanego modelu.

W Instytucie Budownictwa Wodnego i Ziemnego AR we Wrocławiu prowadzone są badania nad określeniem właściwego sposobu zabudowy regulacyjnej środkowej Odry, w celu przystosowania rzeki na drogę wodną IV klasy międzynarodowej. Na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej oraz wyników sondowania Odry w wybranych przekrojach zbudowano model odcinka rzeki. Ogólny widok tego modelu przedstawiono na rysunku 1. Model wykonano w skali poziomej 1:135 i pionowej 1:45 z zachowaniem kryteriów podobieństwa modelu z naturą.

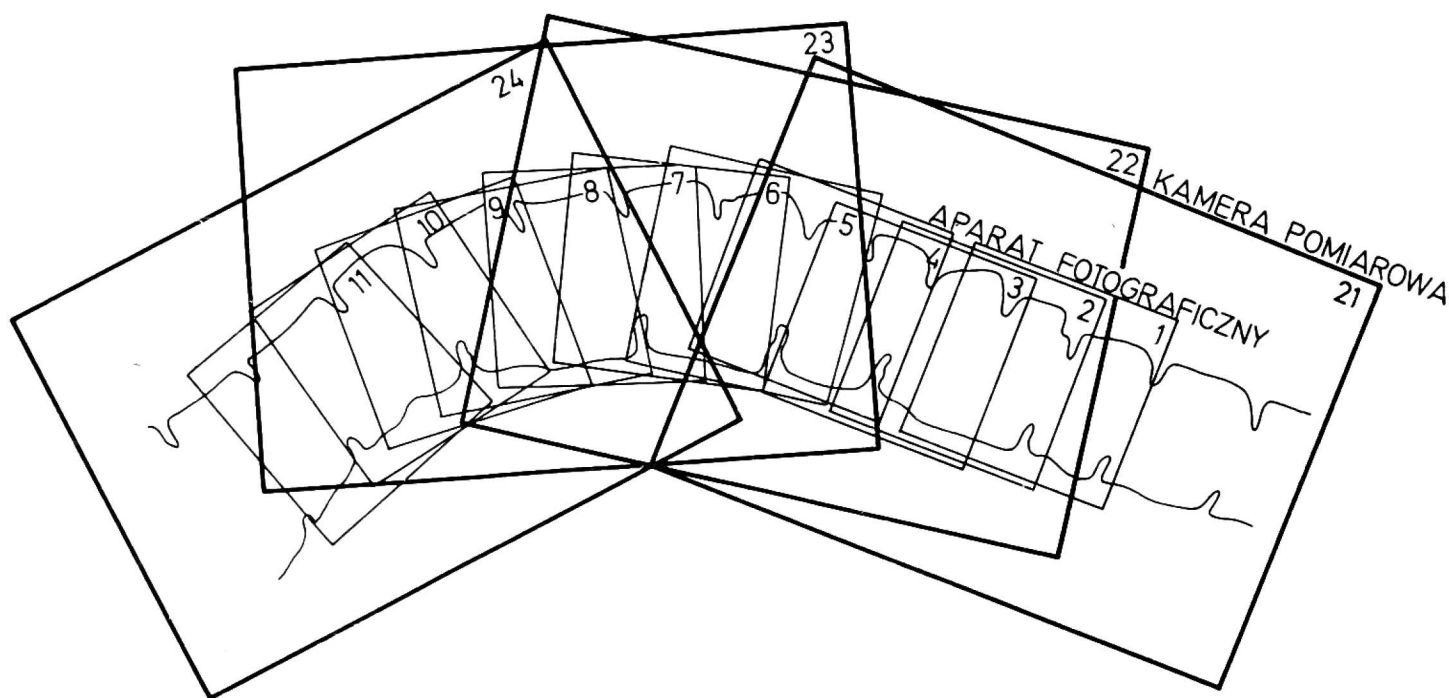


Rys. 1. Ogólny widok modelu odcinka rzeki Odry

Wymiary jego wynoszą 26,0 x 1,5 x 0,5 m; do badań metodą fotogrametryczną wybrano środkową część - łuk o długości 5,0 m. Do precyzyjnych opracowań zdjęć wymagane jest posiadanie na fotografowanym obiekcie pewnej liczby tzw. fotopunktów, czyli jednoznacznych punktów o znanych współrzędnych przestrzennych. Badany frag-

ment modelu uzbrojono w ok. 60 fotopunktów, których współrzędne XYZ określono z pomiarów bezpośrednich, a także z pomiarów na zdjęciach [6]. Tak duża liczba punktów pozwoliła na przeprowadzenie analiz dokładnościowych.

Przewidując fotografowanie modelu kamerą pomiarową UMK 10/1318 [8] oraz aparatami fotograficznymi Pentacon six TL i Kiev 80, projekt rejestracji fotograficznej wykonano w dwóch wariantach (tab.1). Schemat rozmieszczenia zdjęć przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Projekt rozmieszczenia zdjęć na modelu

Wykonanie zdjęć wymagało przygotowania stanowisk kamery i aparatu fotograficznego. Badany fragment modelu obudowano rusztowaniem, na którym umieszczono specjalnie sporządzone podwieszenie dla kamery UMK. W celu zapewnienia przybliżonej stałości orientacji zewnętrznej zdjęć w kolejnych cyklach badawczych na rusztowaniu umieszczono specjalne jarzma, w które wkładano w sposób jednoznaczny podwieszenie kamery. Do zwalniania migawki kamery zastosowano urządzenie elektromagnetyczne. Podwieszenie do aparatu fotograficznego stanowiły specjalne haki - uchwyty przymocowane do sufitu hali laboratorium. Aparat łączono z tymi uchwytami za pomocą specjalnej przystawki, zapewniającej przybliżoną stałość elementów orientacji zewnętrznej. Obydwa rodzaje podwieszeń zostały tak przygotowane, że pozwoliły na wykonanie zdjęć prawie pionowych. Techniczne warunki fotografowania zestawiono w tabeli 2.

T a b e l a 1

Dane do sporządzenia projektu wykonania zdjęć

Wielkości dane i obliczone	Wariant I	Wariant II
	kamera UMK 10/1318	aparat fotograficz- ny Kijev 80 i Pen- tacon six
Stała kamery, c_k	100 mm	90 mm
Użyteczny format zdjęć	165 x 115 mm	55 mm x 55 mm
Przybliżona wysokość fotografowania	2,4 m	2,8 m
Przybliżona skala zdjęć	1:24	1:31
Obszar, jaki pokryje jedno zdjęcie w skali modelu	4,0 x 2,8 m	1,7 x 1,7 m
Pokrycie podłużne zdjęć	średnio 60%	średnio 60%
Liczba zdjęć	4 w szeregu	11 w szeregu

Do uzyskania informacji o deformacji dna modelu rzeki w różnych stanach hydraulicznych (przy zróżnicowanych przepływach) wykonano cztery cykle rejestracji fotograficznej, określone czasem przepływu wody [6]. Każdorazowo przed wykonaniem zdjęć spuszczało wodę z modelu, rejestrując kształt dna wytworzony przez określony przepływ.

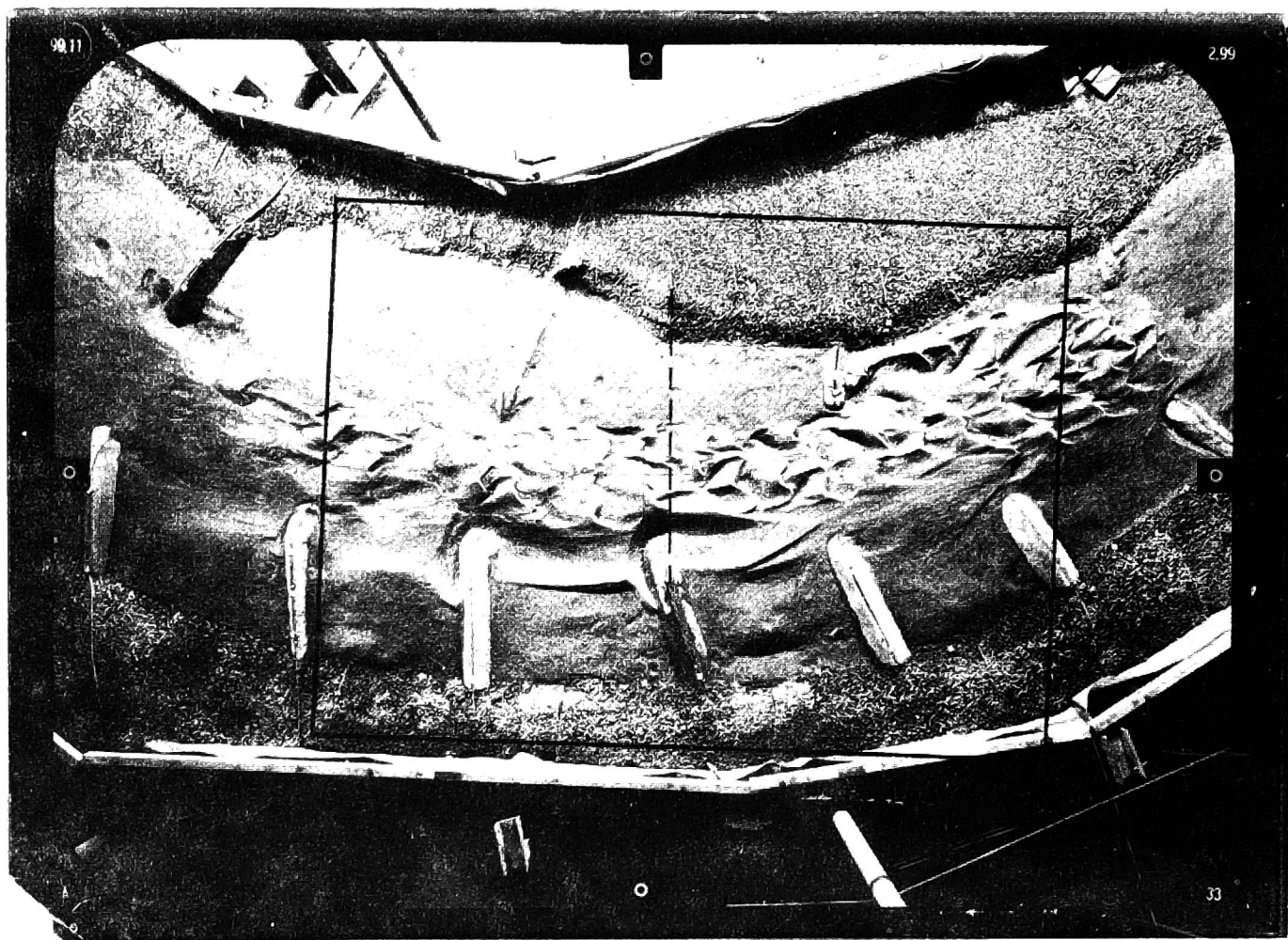
Fotogrametryczna interpretacja obrazów fotograficznych polegała na przekształceniu rzutu środkowego w kartometryczny rzut ortogonalny. Zadanie to wykonano, stosując znane w fotogrametrii metody przetwarzania zdjęć [7, 8]. Z każdą z tych metod wiąże określona postać prezentacji wyników. Zdjęcia wykonane kamerą UMK (rys.3) opracowywano metodami: analityczną, analogową i fotomechaniczną. Efektem analitycznej metody opracowania stereogramów jest tzw. fotogrametryczny cyfrowy model terenu (FCMT), czyli zbiór współrzędnych przestrzennych mierzonych punktów. W przedstawionych badaniach obserwacje zdjęć prowadzono wzdłuż wybranych przekrojów, co pozwo-

Techniczne warunki rejestracji fotograficznej

Wyszczególnienie	Kamera UMK	Aparaty fotograficzne
Numer fabryczny	281635	1/Kijev 80 nr 7703355 2/Pentacon six TL nr 46282
Obiektyw	Lamegon nr 7363767	1/Vega 12B nr 772260 2/Biometar nr 8766902
Odległość obrazowa	102,10 mm	1/93,40 mm 2/86,50 mm
Materiał negatywowo	Klisyze szklane TO1 i ORWO o czułości 1 DIN	Błona zwojowa NP 20 ORWO o czułości 20 DIN
Oświetlenie	2 oświetlacze halogenowe	Lampa błyskowa
Przysłona	1:32	1:8
Czas naświetlania 1 zdjęcia	5 min	Błysk lampy równy ok. 1/500 sek.

liło na przetworzenie FCMT na postać graficzną - profile dna modelu rzeki (rys. 4).

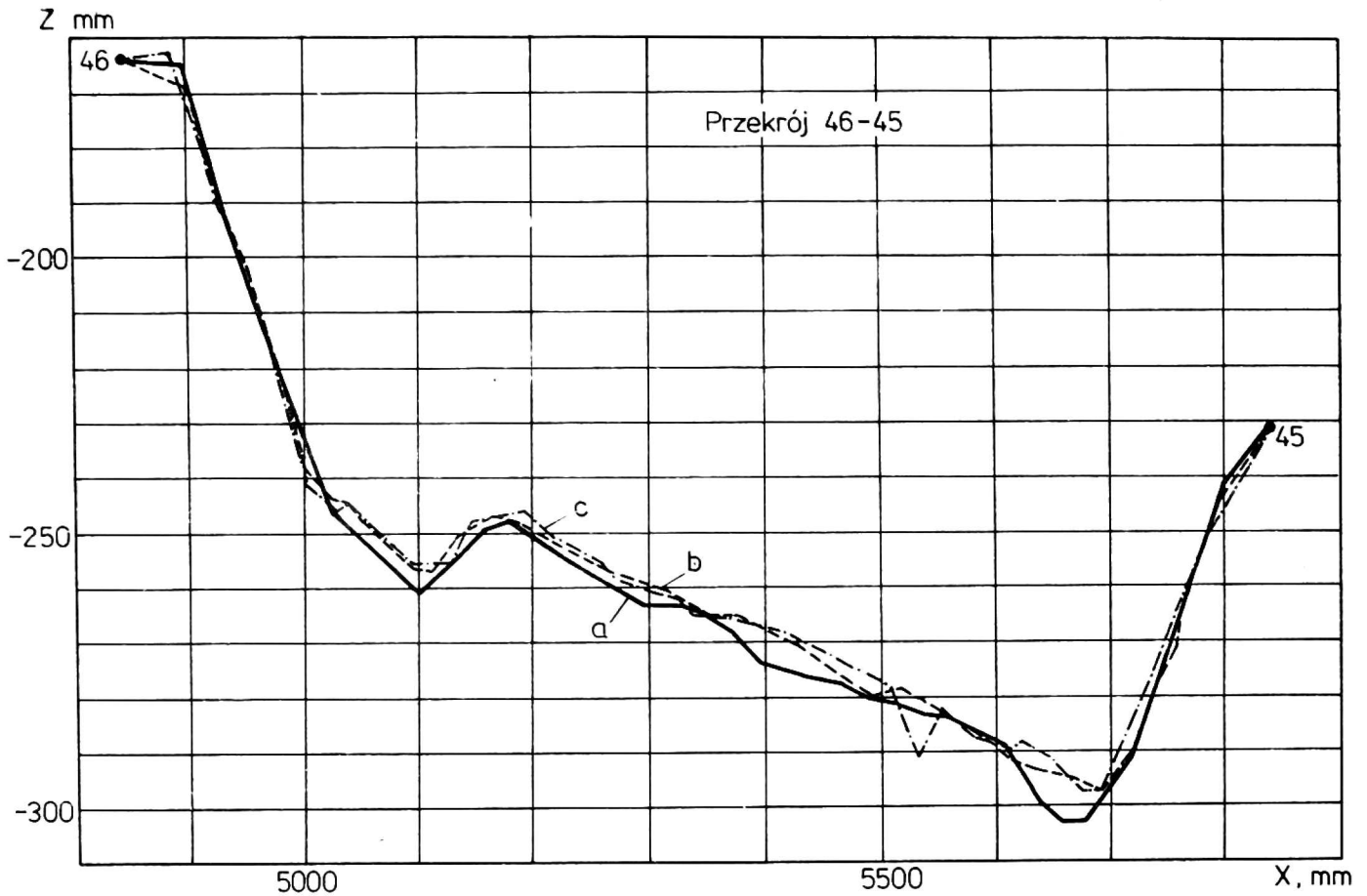
Metoda analogowa polega na ciągłym opracowaniu stereogramów i sporządzaniu mapy sytuacyjno-wysokościowej. Jej skala oraz cięcie warstwiczne jest funkcją skali zdjęć oraz deniwelacji terenu. Na rysunku 5 przedstawiono fragment mapy warstwicznej dna przy przepływie Q_{brzeg} po 18,5 godzinach.



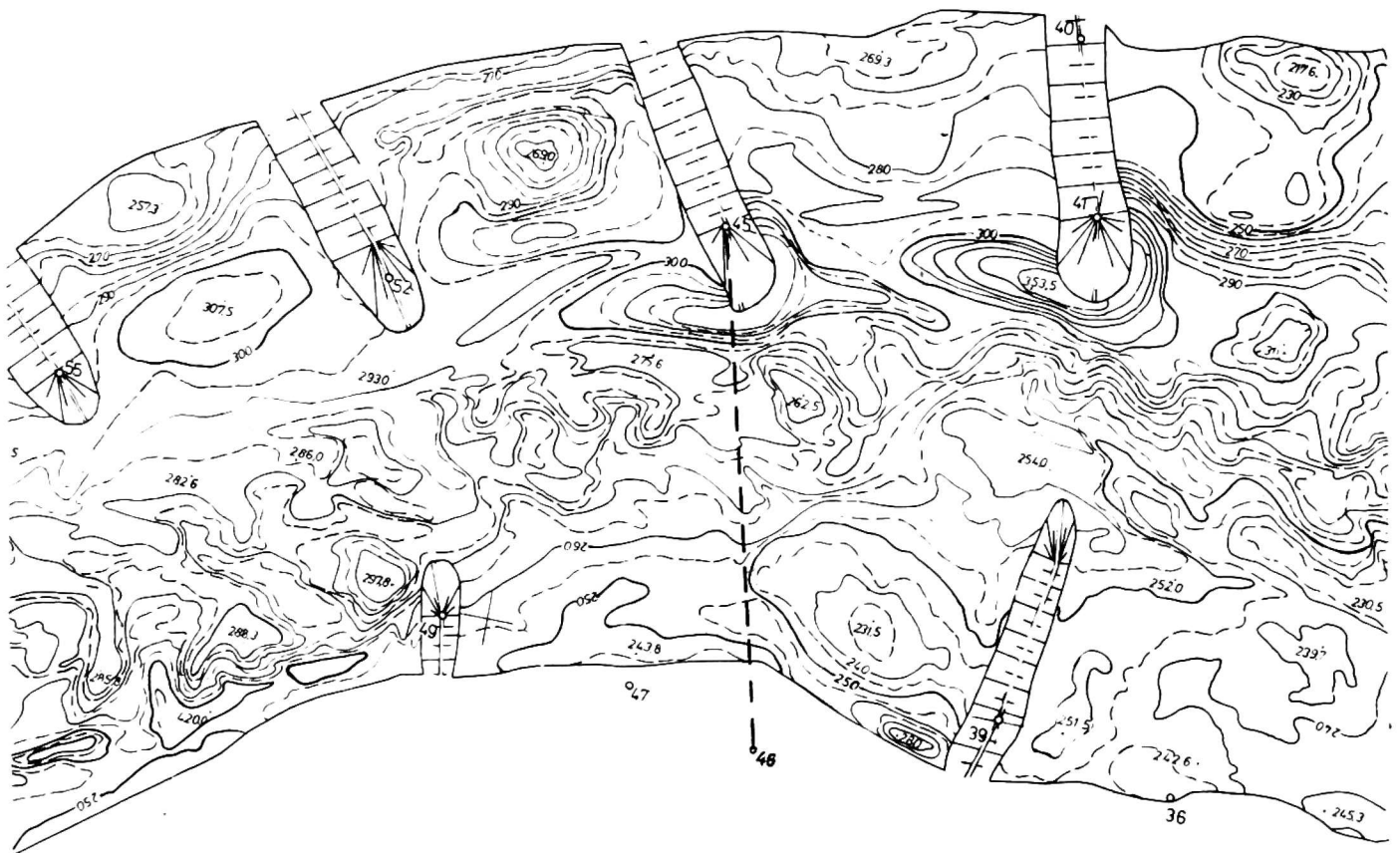
Rys. 3. Zdjęcie wykonane kamerą UMK (zdjęcie nr 23, przepływ 18,5 godz). Zaznaczono zakres opracowania przedstawiony na rysunku 5 i 6 oraz trasę profilu 46-45

W metodzie fotomechanicznej przekształca się zdjęcie w rzut środkowy, równoważny rzutowi ortogonalnemu w określonej skali. Uzyskana fotomapa wyróżnia się z pośród poprzednich form prezentacji wyników posiadaniem fototonu. Daje ona jednakże tylko płaski obraz dna - nie ma współrzędnej pionowej. W celu nadania metryczności tej bardzo wizualnej postaci prezentacji zaproponowano nałożenie na fotomapę (fotoszkic; warstwicy uzyskanych z metody analogowej. Efekt tego zabiegu przedstawiono na rysunku 6.

Zdjęcia wykonane aparatami fotograficznymi posiadają dość znaczne zniekształcenia obrazu, spowodowane głównie aberacjami obiektywu. Na przykład, dla używanego w badaniach egzemplarza aparatu Kijev 80 deformacja obrazu sięga wartości 0,2 mm dla promienia radialnego 30 mm [6]. Zdjęcia takie, bez wprowadzenia poprawek, mogą być używane do sporządzenia fotoszkiu badanego obiektu oraz do pewnej szczególnej metody przetwarzania analityczne-



Rys. 4. Profil dna modelu rzeki w przekroju 46-45: a - stan wyjściowy, b - przepływ 4 godz, c - przepływ 7 godz



Rys. 5. Fragment mapy warstwicznej dna modelu rzeki po przepływie 18,5 godz (wartości Z - ujemne). Zaznaczono trasę profilu 46-45

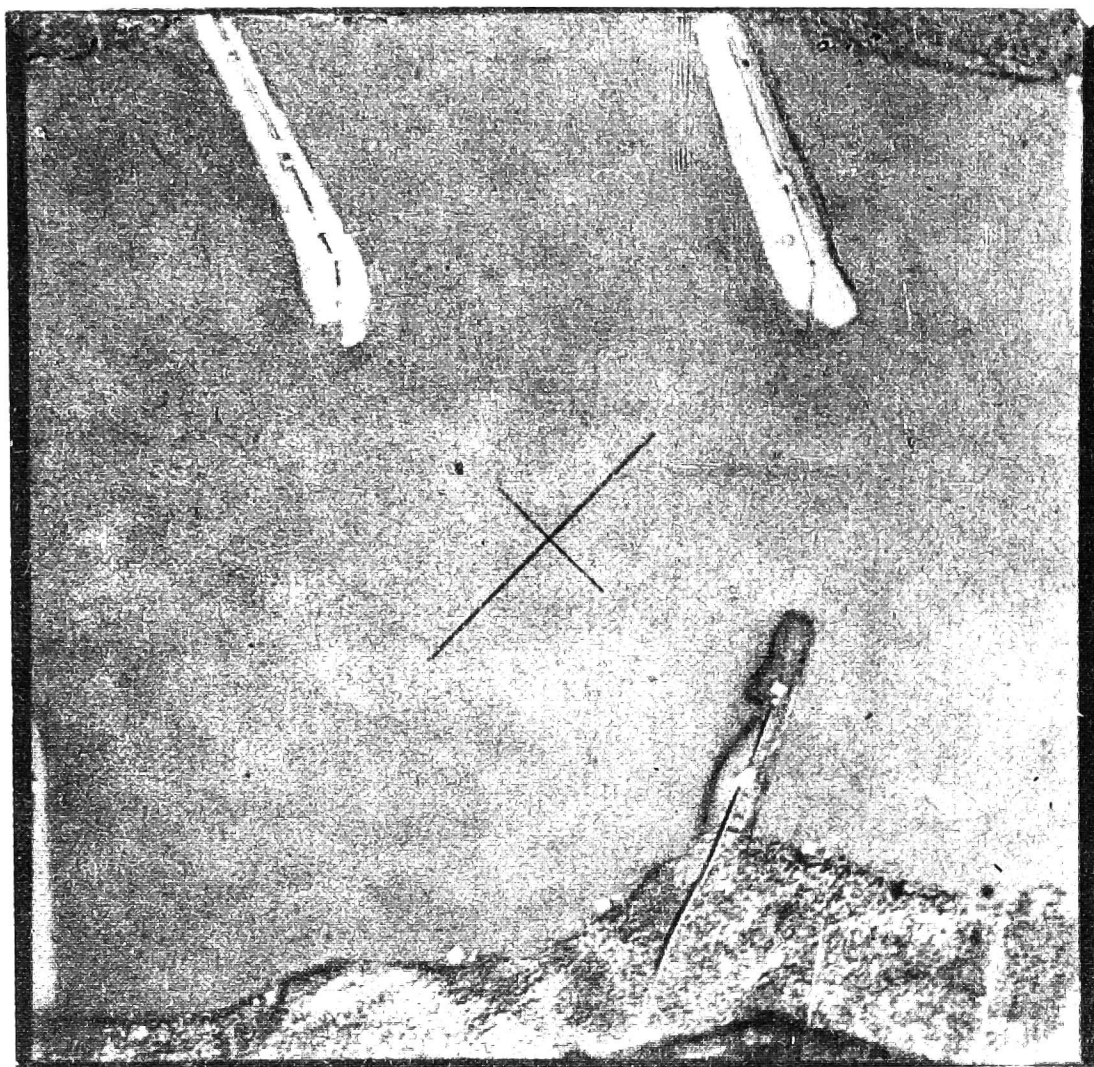


Rys. 6. Fotoszkic dna modelu rzeki z nałożonym rysunkiem warstwic.
Zaznaczono trasę profilu 46-45

go [6]. Na rysunku 7 przedstawiono przykład zdjęcia z aparatu Kijew 80.

Przeprowadzona analiza dokładności opracowania zdjęć [6] dowiodła, iż w danych warunkach fotografowania największą dokładnością charakteryzuje się metoda analityczna. Dokładność określenia współrzędnych płaskich ze zdjęć z kamery UMK wynosi $\pm 0,5$ mm, zaś współrzędnej pionowej $\pm 0,7$ mm. W aparacie fotograficznym błąd dla współrzędnych płaskich wynosi średnio $\pm 1,3$ mm, zaś dla współrzędnej pionowej średni $\pm 6,0$ mm. Stosowanie tego samego aparatu w kolejnych cyklach daje błąd określenia różnic wysokości rzędu $\pm 1,5$ mm.

Przeprowadzone badania i uzyskane rezultaty pozwalają na stwierdzenie, że fotograficzna rejestracja oraz jej fotogrametryczna interpretacja stanowi cenną metodę pomiarową w badaniach modeli hydrotechnicznych. Możliwość różnorodnej formy prezentacji wyników opracowania zdjęć z uchwyconym stanem czasowym modelu (zja-



Rys. 7. Zdjęcie wykonane aparatem fotograficznym Kijev 80 (zdjęcie nr 7 przepływ 7 godz)

wiska) stanowi o szerokiej przydatności metody w rozwiązywaniu zagadnień hydraulicznych na modelach. Specyfika zmienności badanego modelu, często bez możliwości powrotu do stanu poprzedniego, uwytkła dokumentalny walor obrazu fotograficznego.

LITERATURA

1. Bonneval H.: Photogrammetrie Generale, t. IV. Eyrolles Paryż, 1972.
2. Bujakiewicz A.: Badanie możliwości zastosowania aparatów fotograficznych do pomiarów geodezyjnych. Geodezja i Kartografia 1978, nr 1.
3. Cebertowicz R.: Budowle hydrotechniczne w świetle doświadczeń na modelach. PWN Warszawa 1958.

4. Höhle J.: Zur Theorie und Praxis der Unterwasser - Photogrammetrie. München, 1971.
5. Majde A., Niepokólczycki M.: Pomiarы fotogrametryczne dla potrzeb gospodarki wodnej. Przegląd Geodezyjny 1974, nr 1.
6. Marcinowski Z.: Zastosowanie fotogrametrii w modelowych badaniach hydrotechnicznych (na przykładzie hydrotechnicznego modelu odcinka rzeki Odry). Praca doktorska, Akademia Rolnicza Wrocław, 1979.
7. Pęczek L.: Nowa metoda analityczna rozwiązania podstawowego problemu fotogrametrii. WPW Geodezja nr 15, Warszawa, 1975.
8. Piasecki M. B.: Fotogrametria lotnicza i naziemna. PPWK Warszawa, 1973.
9. Rusinow M. M.: O fotogrammetriczeskom opriedielenii kartiny wodnoobrazowania. Geodezja i Kartografia nr 8, Moskwa 1974.
10. Szczechowski B., Mucha A.: Badania modelowe w budownictwie wodnym (na przykładzie pomiarów kanału falowego w Politechnice Gdańskiej). Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej SGP nt. Geodezyjna obsługa budownictwa przemysłowego, Katowice, 1977.
11. Świątkiewicz A.: Fotogrametria. PWN Warszawa, 1977.

Здзислав Марциновски, Мариян Моква

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА РЕГИСТРАЦИИ
И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТОПОГРАФИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Р е з ю м е

Основные достоинства фотограмметрии: объективизм, документальная ценность съемок, короткое время регистрации и бесконтактное измерение объектов на съемках, делают из нее превосходный метод топографических измерений в модельных гидротехнических исследованиях. В настоящем труде применяли фотограмметрию для определения топографии дна гидротехнической модели участка реки. Съемки делались с использованием измерительной камеры УМК производства Цейсса в Иене, а также фотоаппаратов Пентакон ТЛ сикс (ГДР) и Киев 80 (СССР). Интерпретация съемок проводилась по аналитическому, аналоговому и фотомеханическому методу. Результаты фотоинтерпретации представлены в виде карты горизонталей, фотоэскиза с наложенным рисунком горизонталей, а также профилей дна для выбранных участков реки.

Zdzisław Marcinowski, Marian Mokwa

PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUE OF REGISTRATION AND INTERPRETATION
OF THE TOPOGRAPHY OF HYDROTECHNICAL MODELS

S u m m a r y

Basic advantages of the photogrammetry: objectiveness, documentary value of photographs, short time of registration and contactless measurement of the photographed objects, make that it is an excellent method of topographic measurements in the model hydrotechnical investigations. Photogrammetry for determining topography of bottom of the hydraulical model of the river sector was applied. Photographs were made using the UMK measuring camera of the VEB Zeiss Jena make and the photographic cameras of Pentacon six TL (GDR) and Kiev-80 (USSR). The interpretation of photographs was performed by the analytic, analogous and photomechanical method. Results of the photointerpretation of the hydrotechnical model of a river have been presented in the form of the contour map, photo-sketch, with overlapped graph of contours as well as of bottom profiles in chosen river sectors.