

Interpretacja zdjęć lotniczych w badaniu dynamiki mezoform korytowych dolnej Wisły

Rozwój mezoform korytowych rzeki jest ściśle związany z dynamiką jej wód. Fakt ten nadaje temu procesowi charakter dużej i szybkiej zmienności zarówno w czasie, jak i przestrzeni. Stąd też jego analiza, a dotyczy to szczególnie koryt rzek wielkich, takich jak np. Wisła, przysparza wiele trudności. Wynikają one głównie z niedoskonałości metod pomiarowych. Stosowane dotychczas metody, oparte głównie na pomiarach geodezyjnych dna koryta w profilach poprzecznych (sondowanie), a następnie zinterpretowane w formie planów batymetrycznych, pozwalają jedynie na dokonanie ogólnej charakterystyki tych form bez uwzględnienia ich dynamiki. Pomiarów te, wykonywane w rocznych lub wieloletnich odstępach czasu, uniemożliwiają także scharakteryzowanie ciągłości tego procesu. Najbardziej zadowalającą metodą analizy rozwoju form korytowych jest metoda interpretacji zdjęć lotniczych. Za jej pośrednictwem można określić nie tylko kształt, wielkość i wysokość niektórych form pozytywnych koryta, ale również układ prądów rzecznych oraz przebieg rozwoju form w czasie. Niestety, nawet ta metoda ma swe słabe strony. Wynikają one głównie stąd, że zdjęcia lotnicze muszą być wykonywane przy stanach wody w rzece niższych niż średnie, gdy łachy są wynurzone.

Dotychczas interpretacja zdjęć lotniczych znalazła szersze zastosowanie do analizy rozwoju łożysk rzecznych. Na tej zasadzie ustalono wielkość i kształt oraz następstwo rozwoju meandrów rzecznych występujących na poziomie zalewowym (Trafas, 1975, 1977; Ruszczycka-Mizera, 1978; Bukowska-Jania, 1981; Szumański, 1981). Scharakteryzowano typy koryt rzecznych (Sundborg, 1956; Collinson, 1970; Falkowski, 1967, 1970; Trafas, 1975, 1977; Castiglioni, Pellegrini, 1981). Natomiast zagadnienie rozwoju mezo-

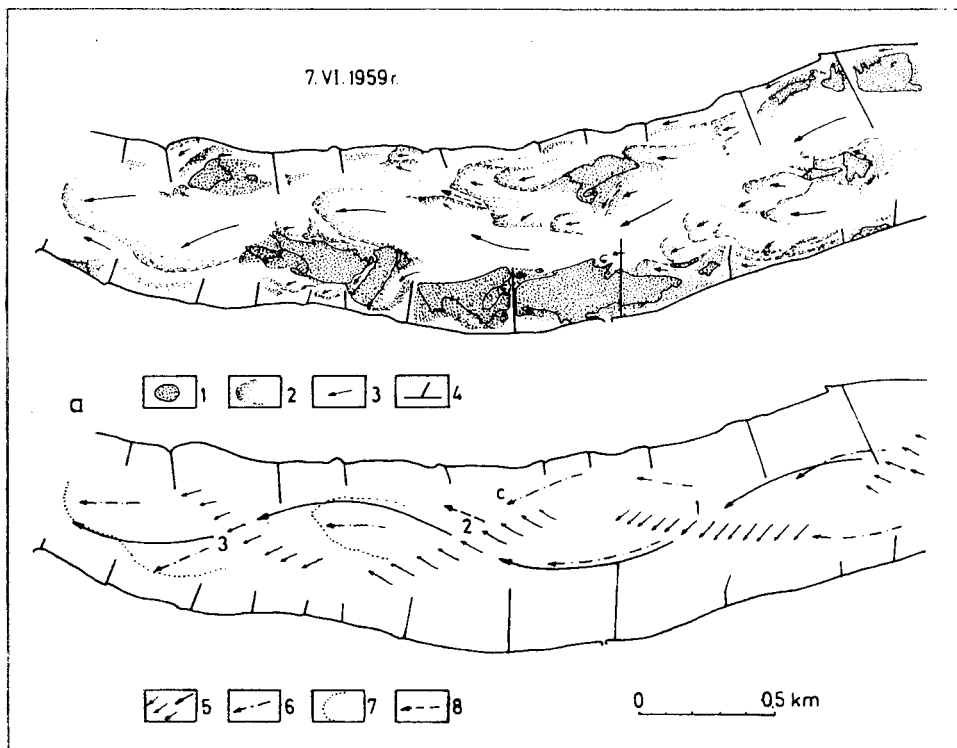
form korytowych nie doczekało się jeszcze szczegółowej analizy. Na ten temat w sposób głównie metodologiczny wypowiedzają się m.in. G. W. Gospodinow (1964), K. Trafas (1975), A. Ciołkosz i in. (1978)*.

Celem niniejszej pracy jest zasygnalizowanie niektórych możliwości wykorzystania metody interpretacji zdjęć lotniczych do analizy morfodynamiki dna koryta dolnej Wisły. Jako materiał wyjściowy posłużyły zdjęcia lotnicze z nalotów z 1959 roku, wykonane w skali około 1 : 9 900, oraz z 1972 roku w skali około 1 : 19 000. Następnie fotograficznie odniesiono te sytuacje koryta do jednakowej, porównywalnej skali 1 : 10 000. Dokonano ich dalszej interpretacji zarówno z punktu widzenia form korytowych, jak i struktury potoku rzecznego (ryc. 1—3). Przedstawiony w ten sposób materiał kartograficzny, dotyczący trzech wybranych odcinków koryta, nie daje pełnego obrazu tego procesu. Służy jedynie do scharakteryzowania niektórych zagadnień związanych z dynamiką mezoform korytowych. Na jego bazie określono układ przestrzenny łąch skośnych i zakolowych od momentu przejścia wysokiej wody do niskich stanów wody. Przedstawiono też zmiany warunków hydrodynamicznych rzeki związane z działalnością człowieka.

Analizując badane odcinki Wisły, wyróżniono trzy typy mezoform korytowych: łąchy boczne, łąchy skośne oraz łąchy zakolowe. Łąchy boczne zajmują głównie brzeżne fragmenty łąch skośnych w miejscach ich łączenia się, jak też miejsca pomiędzy ostrogami rzecznyymi. Formy te najczęściej związane są z odpowiednim charakterem regulacji rzeki, takim jaki ma dolna Wisła — ogranicznie przez ostrogi meandrowania. Również regulacja Wisły sprzyja tworzeniu się łąch skośnych. Formy te, typowe dla zakolowego przebiegu nurtu, powstają w okresie wysokich stanów wody, w miejscu „przebieg” meandrów. W trakcie obniżania się zwierciadła wody są niszczone i przemieszczane w dół rzeki w postaci łąch językowych — ryc. 1. Ponownie łąchy skośne kształtowane są wraz z nadejściem wysokich wód. W podobnych warunkach tworzą się łąchy zakolowe, które są jednak ściśle związane z meandrami rzecznyymi. Powstają bowiem u wypukłych brzegów koryta.

Zdjęcia lotnicze wykonane w czerwcu 1959 roku przedstawiają sytuację dna koryta w czasie trwania niskich stanów wody (wod. Włocławek, $h = 256$ cm) — ryc. 1. Stąd też w korycie występuje wielkie nagromadzenie łąch, głównie bocznych (w strefie ostróg rzecznych, co świadczy o dobrej regulacji rzeki), o bardzo jasnym i zarazem zróżnicowanym fototonie. Można więc na podstawie tego określić bezwzględną wysokość łąch (znając m. in. spadek zwierciadła wody) oraz ich kształt dla odpowiednich głębokości wody (zróżnicowanie fototonu). Należy przy tym

* Ze względu na wstępny charakter opracowania cytowano tylko niektóre pozycje literatury.



Ryc. 1. Szkic fotointerpretacyjny dna koryta i rozkładu prądów rzecznych odcinka „prostolinijnego” Wisły (a):

1 — wynurzone fragmenty łach — fototon bardzo jasny, 2 — fragmenty łach znajdujących się pod wodą — fototon jasny — zróżnicowany, 3 — kierunki płynięcia wody, 4 — ostrogi rzeczne, 5 — układ łach skośnych i przebieg nurtu w czasie trwania wysokich stanów wody, 6 — kierunki płynięcia wody w czasie trwania niskich stanów wody (podczas nalu), 7 — czoła niszczonych łach skośnych — łachy językowe, 8 — strefa dawnego płosa — ciemny fototon

Fig. 1. The photointerpretative sketch of the channel bottom and the current distribution at the Vistula straight segment:

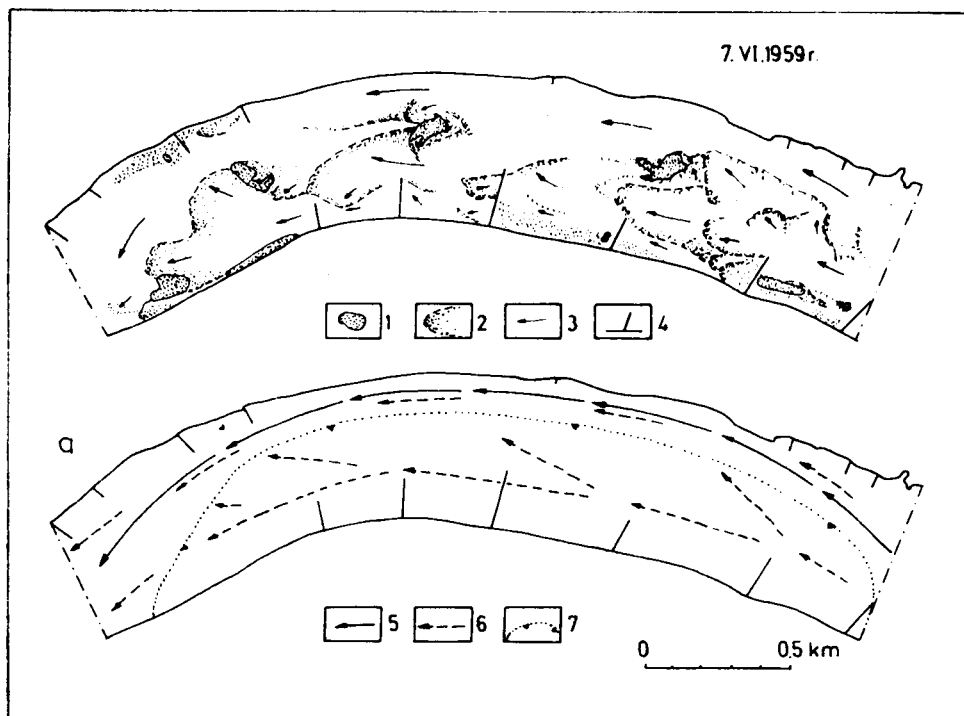
1 — emerged fragments of river bars — the phototone very light, 2 — submerged fragments of river bars — the phototone light, diversified, 3 — directions of the water flow, 4 — groynes, 5 — the sequence of diagonal bars and the flow line during high water stage, 6 — waters running directions during low water stage (during the flight), 7 — the fronts of the damaged diagonal bars — tongue bars, 8 — the former flats zone — dark photone

zwrócić uwagę na fakt, że często płytko zalegająca powierzchnia łachy, pokryta na przykład mułkami, daje na zdjęciu ciemny fototon.

Wynurzone łachy boczne, występujące często poza strefą ostróg rzecznych, stanowią fragmenty łach skośnych wykształconych w czasie trwania wysokich stanów wody (ryc. 1). Schematyczny układ łach skośnych, odpowiadający okresowi trwania wysokich, lecz niepowodziowych stanów wody sprzed trzech miesięcy od momentu nalu (15 marca 1959 roku, $h = 500$ cm), przedstawia ryc. 1a. O tym, że wynurzone łachy boczne są pozostałościami po łachach skośnych, powstałych w innych niż w czasie

wykonywania zdjęć lotniczych warunkach hydrodynamicznych rzeki, świadczy ich układ dynamiczny. Na ten fakt zwrócił już wcześniej uwagę R. S. Cz a ł o w (1979), który w podobny sposób dokonał analizy tych mezof orm dla niektórych rzek ZSRR. Potwierdzeniem prawidłowości wyznaczenia zasięgu czoła łachy nr 2, a tym samym i pozostałych form sprzed trzech miesięcy, jest wystąpienie ciemnego fototonu w obrębie niżej leżących jej fragmentów (ryc. 1, punkt 8). Fototon ten świadczy o występowaniu w tym miejscu głębi (płosa), która — jak sugeruje układ prądów — nie pochodzi z czasu wykonywanego nalotu. Może być związana jedynie z okresem trwania wysokich stanów wody przy znacznym na ryc. 1a układzie prądów i łach skośnych. Tylko dzięki temu, że znalazła się ona w „cieniu” wynurzonej łachy, nie została jeszcze zasypana. Oznacza to, że układ dynamiczny łach, jak również wynurzone ich fragmenty określone za pomocą zdjęć lotniczych wykonanych po przejściu fali powodziowej, mogą służyć jako kryterium wyznaczenia zasięgu mezof orm korytowych pochodzących z okresu ich powstawania, a więc z czasu trwania maksymalnych stanów wody. Zinterpretowane w ten sposób na ryc. 1 łachy skośne miały w czasie trwania wysokich stanów wody wymiary w granicach 0,8 km—1,0 km długości oraz około 0,2 km szerokości. Po przejściu wysokiej fali następowało stałe obniżanie się stanów wody, a wraz z nim niszczenie łach. Nurt rzeki przybierał charakter meandrowy o ograniczonym przez ostrogi rzeczne rozwoju. Proces niszczenia łach, o kierunku ograniczonego meandrowania, następował do momentu, gdy leżące „w cieniu” nurtu i w ten sposób nie podlegające intensywnemu procesowi erozji łachy wynurzały się, tworząc nowy układ hydrodynamiczny. Wskutek nowego układu prądów rzecznych nastąpiła przebudowa łach niezgodna z ich dawnym kształtem, o czym świadczy m.in. nakładanie się na siebie form (ryc. 1a, łacha nr 2-C). Z tym procesem należy również wiązać obniżanie się powierzchni łachy oraz szybsze przemieszczanie się w dół rzeki jej czoła w formie łach językowych o ciemniejszym fototonie (ryc. 1 a, punkt 7). Jak wynika z ryc. 1, od momentu przejścia wysokiej fali do chwili wykonania zdjęcia (94 dni) czoła łach skośnych nr 2 i 3 przemieściły się o około 300 m—400 m w dół rzeki — średnio 3,7 m/dobę.

Inny typ łach obrazuje zinterpretowana sytuacja koryta przedstawiona na ryc. 2. Zarówno sytuacja morfologiczna koryta (charakter zakolowy), jak i układ pojedynczych łach w ramach tej mezof ormy, wynikający ze zróżnicowania fototonów, wskazują na występowanie w tym miejscu łachy zakolowej. Przepuszczalny kształt tej formy wraz z układem prądów w okresie trwania wysokich stanów wody obrazuje ryc. 2a. W trakcie obniżania się zwierciadła wody, podobnie jak w opisaney wcześniej sytuacji (ryc. 1), następowało niszczenie łachy. Ten jednokierunkowy proces trwał do chwili wynurzenia się fragmentów łachy, usytuowanych głównie w centralnej części koryta. Ten nietypowy układ wyniesień ła-



Ryc. 2. Szkic fotointerpretacyjny dna koryta i rozkładu prądów rzecznych odcinka zokolowego Wisły (a):

1—4 jak przy ryc. 1; 5 — przebieg nurtu w czasie trwania wysokich stanów wody, 6 — kierunki płynięcia wody w czasie trwania niskich stanów wody (podczas nalotu), 7 — zasięg łachy zakolowej powstałej w czasie trwania wysokich stanów wody

Fig. 2. The photointerpretative sketch of the riverbed bottom and the river currents distribution at the Vistula meandering segment (a):

1—4 as fig 1; 5 — the flow line during high water stage 6 — the current running direction during low water stage (during the flight), 7 — the reach of point bars emerged during high waters

chy wynika stąd, że przepływający przed zakolem w środkowej części koryta prąd, na skutek obniżania się zwierciadła wody i uderzenia w czoło łachy zakolowej, rozcepił się na dwa przybrzeżne strumienie. Powstał w ten sposób charakterystyczny układ dwóch równoległych prądów (bruzd) z możliwościami łączenia się strumieniami bocznymi o kierunku przepływu od brzegu wypukłego do wklęsłego (ryc. 2a, punkt 6). Podobną sytuację dna koryta stwierdzono już wcześniej na podstawie planów batymetrycznych (B a b i ń s k i, 1981).

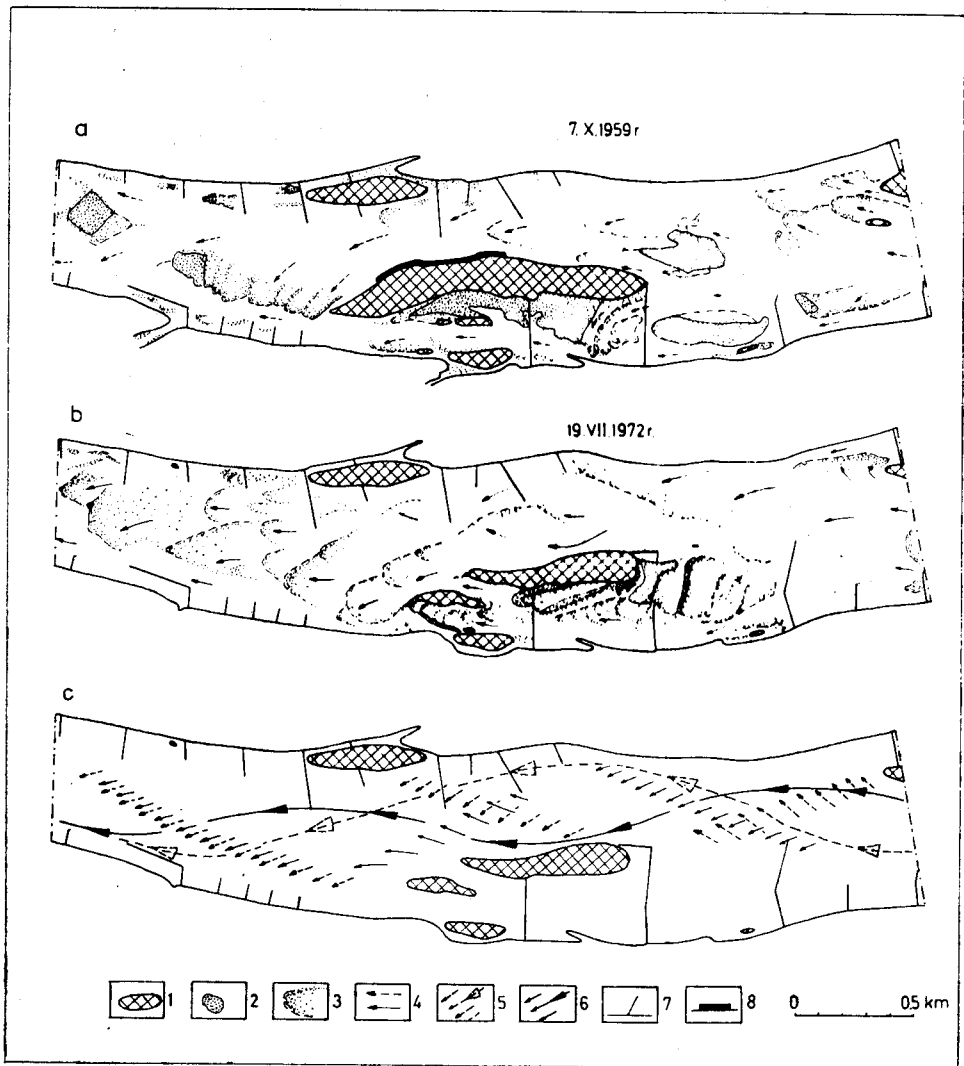
Interpretacja zdjęć lotniczych, pochodzących z dwóch różnych czasowo nalotów, pozwala na określenie tych zmian dna koryta, które są związane z danymi, chwilowymi warunkami hydrodynamicznymi rzeki (przedstawionymi wcześniej) oraz umożliwia uchwycenie przekształceń dna często nieodwracalnych, niezgodnych z poprzednim układem mezofর্ম.

Przykładem tego mogą być dwie sytuacje dna koryta sfotografowane przy średnim niskim stanie wody (SNW), pochodzące z lat 1959 i 1972 (ryc. 3a, b). Na podstawie intensywności fototonu oraz biorąc pod uwagę zasady warunków hydrodynamicznych Wisły wykonano szkic układu łąch skośnych charakteryzujących zarazem przebieg prądów rzecznych (ryc. 3c). Z ryc. 3a i c (punkt 5) wynika, że w 1959 roku na początku analizowanego odcinka nurt przebiegał przy lewym brzegu koryta. Tymczasem w 1972 roku przepływał on wzdłuż brzegu przeciwnego (ryc. 3b, c, punkt 6). Ten nowy układ mezofর্ম był wynikiem zmian warunków hydrodynamicznych rzeki związanych z wybudowaniem stopnia wodnego we Włocławku (6 km w górę rzeki od badanego odcinka), poprzez przetrzucenie na linii zapory nurtu z prawego brzegu na lewy (B a b i ń s k i, 1982). Na niemal całym analizowanym odcinku nurty z 1959 i 1972 roku, a wraz z nimi i układy mezofর্ম, znajdowały się w innym miejscu koryta (ryc. 3). Dopiero na końcu badanego odcinka koryta odbywa nurtyprzebiegały zgodnie w tym samym miejscu. Fakt tej zgodności należy tłumaczyć tym, że w 1959 roku prądy rzeczne miały w sposób sztucznie wymuszony przez ostrogi ukierunkowany przebieg na lewy brzeg ku kępie. Wywołało to m.in. proces wzmożonej erozji bocznej tej kępy (ryc. 3a, punkt 8). Płynąc dalej w dół rzeki, przy zetknięciu się z zakępowymi prądami lewobrzeżnymi prądy utworzyły kolejną łąchę skośną, równoległą do wyżej leżącej. Był to nietypowy układ tych form świadczący o złej regulacji (B a b i ń s k i, 1982). Jednak dzięki temu oraz w wyniku zniszczenia kępy i zmiany warunków hydrodynamicznych rzeki poniżej zapory sytuacje morfologiczne dna koryta z 1959 i 1972 roku, na końcu badanego odcinka, pokryły się.

Analizując makroskopowo obydwie sytuacje przedstawione na ryc. 3, można stwierdzić, że koryto z 1972 roku wykazywało znacznie większe nagromadzenie łąch niż to z 1959 roku, mimo że zdjęcia wykonywane były przy podobnych stanach wody (238 cm i 242 cm). Duża koncentracja materiału piaszczystego wynikała stąd, że analizowany odcinek w 1972 roku stanowił miejsce akumulacji materiału wyerodowanego z dna koryta poniżej zapory we Włocławsku (B a b i ń s k i, 1982). Dzięki dużemu nagromadzeniu utworów piaszczystych rzeka w tym miejscu przejawiała niemal charakter rzeki roztokowej (dzikiej) o bezładnym i trudnym do interpretacji układzie łąch — w przeciwieństwie do sytuacji dna koryta przedstawionych na ryc. 1, 2 i 3a.

Interpretacja zdjęć lotniczych, jak wykazała przedstawiona wstępna analiza, może mieć duże znaczenie w badaniu procesów korytowych. Stosowanie tej metody pozwala m. in. na:

- określenie typu procesu korytowego (typu koryta) i zmian w reżimie hydrodynamicznym rzeki;
- scharakteryzowanie rodzaju łąch rzecznych, ich parametrów oraz dynamiki zarówno w danej chwili, jak i w określonej przeszłości;



Ryc. 3. Szkice fotointerpretacyjne dna koryta Wisły (a, b) i rozkładu prądów rzecznych (c):

1 — wyspy rzeczne (kepy), 2 — wynurzone fragmenty łąch — foton jasny, 3 — fragmenty łąch znajdujących się pod wodą — foton jasny zróżnicowany, 4 — kierunki płynięcia wody, 5 — układ łąch skośnych i przebieg nurtu w czasie trwania wysokich stanów wody w 1959 roku, 6 — układ łąch skośnych i przebieg nurtu w czasie trwania wysokich stanów wody w 1972 roku, 7 — ostrogi rzeczne, 8 — strefa intensywnej erozji bocznej (reszta objaśnień w tekście)

Fig. 3. The photointerpretative sketch of the Vistula river (a, b) and the currents distribution (c):

1 — river island, 2 — emerged fragments of bars — phototone very light, 3 — submerged fragments of bars — the phototone light, diversified, 4 — water running directions, 5 — the sequence of diagonal bars and the flow line during the 1959 high waters, 6 — the sequence of diagonal bars and the flow line during the 1972 high waters, 7 — river islands, 8 — the intense lateral erosion zone. The remaining interpretations in the text.

— prześledzenie prawidłowości funkcjonowania zabudowy hydrotechnicznej, co jest podstawą dokonywania prawidłowych korekt regulacyjnych.

Metoda ta umożliwia prześledzenie bardzo wielu zjawisk na dużej przestrzeni w jednakowym czasie i tym różni się od dotychczas stosowanych metod pomiarów geodezyjnych. Niestety, mała liczba nalotów i ograniczenie tej metody do okresu trwania średnich i niskich stanów wody nie pozwalają na przedstawienie pełnego obrazu dynamiki dna koryta rzeki.

LITERATURA

- Babiński Z., 1981: *Wstępna charakterystyka morfologiczna dna koryta Wisły dolnej na odcinku Włocławek—Chelmno w świetle map i fotointerpretacji*, Gospod. Wodna, nr 4/5.
- Babiński Z., 1982: *Procesy korytowe Wisły poniżej zapory we Włocławku*, Dokum. Geograf., z. 1—2.
- Bukowska-Jania E., 1981: *Badania współczesnych procesów fluwialnych w dorzeczu Przemyszy metodami fotointerpretacji*, X Ogólnopol. Konf. Fotointerpr., Gdańsk.
- Castiglioni G.B., Pellegrini G.B., 1981: *Two maps on the dynamics of a river bed*. Symposium „Erosion and sediment transport measurement”, Florencja.
- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J. R., 1978: *Interpretacja zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa.
- Collinson J. D., 1970: *Bedforms of the Tana river*. Geograf. Annal., Norway.
- Czałow R. S., 1979: *Geograficzeskije issledowanija ruślowych processow*, Izd. Moskowskiego Uniwersytetu, Moskwa.
- Falkowski E., 1967: *Ewolucja holocenijskiej Wisły na odcinku Zawichost-Solec i inżyniersko-geologiczna prognoza jej dalszego rozwoju*, Biul. Inst. Geol., nr 198: Z badań geologiczno-inżynierskich w Polsce, t. IV, Warszawa.
- Falkowski E., 1970: *Zasady interpretacji budowy geologicznej aluwii dolin „dojrzałych swobodnych” na podstawie odcinka Wisły środkowej*, Przegl. Geol., nr 8—9, Warszawa.
- Gospodinow G. W., 1964: *Odczytywanie zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa.
- Ruszczycka-Mizera M., 1978: *Fotointerpretacja jako metoda analizy rozwoju rzeźby dna doliny dużej rzeki na przykładzie doliny Odry*, Acta Univ. Wratisl., nr 340, Prace Inst. Geogr., seria A, Wrocław.
- Sundborg Å., 1956: *The river Klarälven, a study of fluvial processes*, Stockholm.
- Szymański A., 1981: *Holocenijska i współczesna ewolucja Wieprza pod Kockiem*. Przegl. Geogr., t. LIII, z. 1, PWN, Warszawa.
- Trafas K., 1975: *Zmiany biegu koryta Wisły na wschód od Krakowa w świetle map archiwalnych i fotointerpretacji*, Zesz. Nauk. UJ, PWN, Warszawa—Kraków.
- Trafas K., 1977: *Rekonstrukcja zmian biegu koryta Wisły na podstawie zdjęć lotniczych*, Fotointerpretacja w geografii, z. 10, Toruń.

ZYGMUNT BABIŃSKI

**AERIAL PHOTOGRAPHS INTERPRETATION IN STUDIES ON CHANNEL
MESOFORMS OF THE DYNAMICS OF THE LOWER VISTULA RIVER**

S u m m a r y

The paper describes how the method of aerial photographs interpretation can be employed to analyse the morphodynamics of the lower Vistula river channel. Basing on the interpretation of aerial photographs the type of the channelling process was defined, and the accumulation and erosion segments of the river were discerned. The spatial arrangement was characterized, as well as the evolution stages and the morphometry of some river bars. Through successive comparing the river-bed situation the mesoforms dynamics and the river hydrodynamical transformations, being a result of men's actions, were represented. Furthermore, basing on aerial photos the regularities in the hydrotechnical facilities functioning were shown. It was stated that the aerial photointerpretation provided the possibility to detect the big amount of water phenomena occurring at the large area in the same comparable time.

ZYGMUNT BABIŃSKI

**INTERPRÉTATION DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES DANS L'ÉTUDE DE LA
DYNAMIQUE DES MÉSOFORMES DU LIT FLUVIAL DE LA VISTULE
INFÉRIEURE**

R é s u m é

Dans cet article nous avons présenté certaines possibilités d'exploitation de la méthode d'interprétation des photographies aériennes pour l'analyse de la morphodynamique du fond du lit de la Vistule inférieure. A partir de photographies aériennes interprétées nous avons déterminé le type de processus de formation du lit et nous avons distingué les segments d'accumulation et d'érosion du fleuve. Nous avons caractérisé la disposition spatiale, les phases de développement et la morphométrie de certains bras morts fluviaux. A l'aide de la méthode des comparaisons successives du lit fluvial, nous avons présenté la dynamique des mésoformes ainsi que les changements des conditions hydrodynamiques du fleuve liés à l'activité de l'homme. En outre, à partir des photographies aériennes, nous avons fait ressortir les régularités du fonctionnement des constructions hydrotechniques. Nous avons constaté que l'interprétation des photographies aériennes offre des possibilités de suivre un grand nombre de phénomènes hydrauliques sur une grande surface et dans un même temps comparatif.

(Traduit par Michał Michalak)