

Instytut Geografii
Uniwersytetu Jagiellońskiego
Kraków

Kazimierz Trafas

REKONSTRUKCJA ZMIAN BIEGU KORYTA WIŚŁY NA PODSTAWIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Badania dynamiki koryt dużych rzek aluwialnych należą do tych problemów z zakresu geomorfologii, przy których rozwiązywaniu z dużym powodzeniem można stosować metody fotointerpretacyjne. Istotnym zagadnieniem jest tutaj fakt, że wykorzystywane być mogą w pewnych wypadkach nawet wyłącznie standardowe panchromatyczne zdjęcia lotnicze wykonywane dla celów topograficznych, a więc materiały, które stosunkowo najłatwiej są w Polsce dostępne do badań naukowych. Nie znaczy to oczywiście, że np. zdjęcia w podczerwieni nie dałyby w zakresie powyższej problematyki jeszcze lepszych wyników, szczególnie jeśli chodzi o badanie najstarszych śladów koryt rzecznych.

Zasadniczą właściwością zdjęć lotniczych przy rekonstrukcji zmian poziomych koryt rzecznych jest możliwość przeprowadzenia bardzo precyzyjnej inwentaryzacji form związanych z działalnością morfologiczną rzeki w dolinie, a przede wszystkim odtwarzanie starych położenia koryta. Żadna nawet najdokładniejsza mapa topograficzna, nie odda bardziej szczegółowo zwykle bardzo skomplikowanego układu starych koryt rzecznych ponieważ ani cięcie warstwiczne, ani znaki konwencjonalne nie ujmują tych śladów starych koryt, które nie istnieją już jako formy morfologiczne, a na ich obecność wskazują nieraz tylko bardzo dyskretne smugi ciemniejszego fototonu na zdjęciach lotniczych. Jest to specyfika panchromatycznych materiałów fotolotniczych, które uczulone są na pełny zakres widma widzialnego w paśmie 390-760 m μ a powierzchnie wodne lub tereny bardziej wilgotne w dużym stopniu pochłaniające promieniowanie świetlne dają znacznie ciemniejsze tony na zdjęciach w stosunku do terenów sąsiednich. Nawet jeśli teren pokrywa roślinność, jest ona bardziej intensywna w obszarach o większym nawilgoceniu, a tym samym daje na zdjęciach zarówno zmianę struktury obrazu fotograficznego jak i mocniejszy ton. Utwory aluwialne,

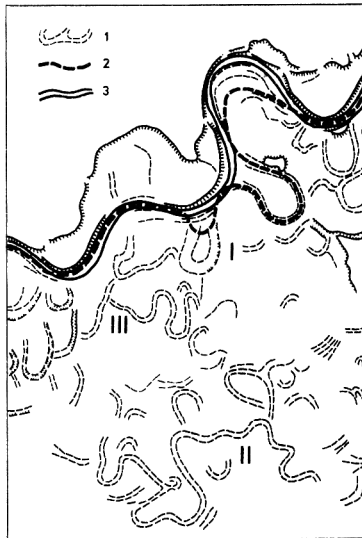
a szczególnie drobne namuły zachowują bardzo długo większą wilgotność od otaczających suchszych utworów i nawet pomimo częściowego osuszenia terenu czy też wprowadzenia upraw są one czytelne w obrazie zdjęć lotniczych tym bardziej, że w ich interpretacji pomagają charakterystyczne "zakolowe" kształty /jeśli ślady dotyczą koryt rzeki meandrującej/. Ślady najstarszych koryt przebiegają niezgodnie z istniejącym układem pól, natomiast młodsze są z nim zgodne, działki pól na - wiązują bowiem do kształtu starorzeczy zgodnie z konfiguracją terenu w momencie ich osuszania i zamieniania na tereny rolnicze. Dopiero wieloletnia uprawa /zaorywanie/ doprowadza do całkowitego nieraz "znivelowania" terenu a wówczas następne zmiany struktury agrarnej nie nawiązują już do kształtu starorzeczy. Należy zaznaczyć, że duże rozdrobienie gruntów w Polsce Południowej, przyczynia się do lepszego niż gdzie indziej podkreślenia form. byłych zakoli rzecznych, oczywiście - cie tam gdzie są to jeszcze formy stosunkowo młode.

Odczytanie i zinwentaryzowanie starorzecza starowi klucz do poznania historii rozwoju geomorfologicznego doliny rzecznej.

Głównie na materiale zdjęć lotniczych oparłem swoje badania dotyczące zmian biegu koryta Wisły na 43 km /obecnie/ odcinku pomiędzy Krakowem a ujściem Raby. Wyniki oraz niektóre zagadnienia metodyczne opublikowałem w innym miejscu^{x/}, tutaj ograniczam się tylko do zaakcentowania roli zdjęć lotniczych w tych badaniach.

Badaniami objąłem dno Doliny Wisły w obrębie teras holocenijskich. Na omawianym odcinku jest to obszar około 500 km² o szerokości od kilku do kilkunastu km, przy czym ślady starych koryt Wisły "wiślik" występują na całym obszarze, a krawędzie wyższych teras plejstocenijskich (szczególnie na pn) mają wyraźnie zakolowy kształt świadczący o stosunkowo niedawnym modelowaniu ich przez Wisłę. Stare koryta Wisły tworzą bardzo skomplikowane systemy (rys.1) na pozór niemożliwe do rozszyfrowania. Sytuację pogarsza fakt nakładania się na siebie starorzeczy (formy młodsze włożone są w starsze) oraz przeobrażenie doliny przez człowieka (prace regulacyjne, melioracyjne, wprowadzenie upraw, eksploatacja żwiru), a także przez wody powodziowe. Chcąc więc chociażby wstępnie poklasyfikować systemy starorzeczy należało dążyć do jak najpełniejszego ich zinwentaryzowania. Późniejsze badania wyka-

^{x/} K. T r a f a s ; 1975, Zmiany biegu koryta Wisły na wschód od Krakowa w świetle map archiwalnych i fotointerpretacji, "Zeszyty Naukowe UJ Prace Geograficzne, z. 40, Kraków.



Rys.1 Wycinek mapy fotointerpretacyjnej Doliny Wisły k/Krakowa. 1 - starorzecza, 2 - bieg koryta Wisły na początku XIX w. 3 - obecne koryto Wisły, I - starorzecza "najmłodsze", II - starorzecza "młode", III - starorzecza "stare"

Fig.1 Reach of the photointerpretation map of the Vistula valley near Cracow. 1 - old channels, 2 - course of the Vistula river bed, about 1800, 3 - present state of Vistula bed, I - "youngest" old channels, II - "younger" old channels, III - "older" old channels

zały, że drobne, wydawałoby się mało istotne, fragmenty starych koryt stanowiły ważne ogniwo w wiązaniu ze sobą odizolowanych zakolowych starorzeczy tego samego wieku, a więc pozwalały na odtworzenie większych fragmentów koryta. Badania na zdjęciach lotniczych konfrontowane w wielu wypadkach z terenem oraz z mapami topograficznymi pochodzącymi z różnych okresów czasu i opracowanie w wyniku tych badań - mapy fotointerpretacyjne (rys.1) pozwoliły wyróżnić na omawianym odcinku doliny Wisły co najmniej trzy generacje starorzeczy:

- starorzecza "najmłodsze", o parametrach zbliżonych do obecnych zakoli Wisły i znajdujące się w pobliżu jej obecnego koryta, najlepiej zachowane i często wypełnione jeszcze wodą;

- starorzecza "młode" występujące w pewnym oddaleniu od obecnego koryta o parametrach nieco mniejszych od poprzednich, gorzej zachowane, pokryte roślinnością trawiastą a na terenie Puszczy Nie -

połomickiej stanowiące polary śródlądowe. Istnienie tego systemu wyraźnie oddalonego na pd. od obecnego koryta i systemu starorzeczy "najmłodszych" potwierdza tezę o raptownym przerzuceniu się koryta Wisły w kierunku północnym prawdopodobnie już w czasach historycznych (istnieją na to pewne dowody historyczne);

- starorzecza "starsze" (znajdujące się pomiędzy dwoma poprzednimi systemami) o zdecydowanie mniejszych parametrach i gorszym stanie zachowania z czego wynika, że nie można ich uważać jako fazę przejściową pomiędzy systemem starorzeczy "najmłodszych" i "młodszych". Ich mniejsza wielkość świadczy natomiast o innych warunkach przepływu, związane więc być muszą z suchszym okresem holocenu. W świetle przeprowadzonych badań nie można w sposób pewny stwierdzić czy funkcjonowanie tego systemu należy wiązać z okresem subborealnym jak sugerowałoby datowanie systemu starorzeczy "młodszych" na okres subatlantycki i współczesny; w tym celu należy przeprowadzić badania innymi metodami /np. metodą radiowęgla C-14/.

Powyższą klasyfikację systemów starorzeczy oparłem głównie o pomiary parametrów geometrycznych (promień krzywizny, długość, szerokość i wysokość zakoli) oraz o cechy fizjonomiczne możliwe do odczytania na zdjęciach lotniczych /stopień zachowania starorzeczy/. Ta wstępna klasyfikacja pozwoliła na wyodrębnienie tych śladów starych koryt Wisły, które można wiązać ze zmianami w ostatnim 200-letnim okresie czasu i których odtworzenie było głównym celem moich badań. Nawet najlepsze zdjęcia lotnicze pozwalają bowiem tylko na względne datowanie zmian, natomiast datowanie bezwzględne musi opierać się na innych materiałach. Takimi materiałami były dla mnie archiwalne, rękopiśmienne mapy topograficzne, które dla badanego odcinka były wykonywane 4-krotnie właśnie w okresie ostatnich 200 lat /tzw. "józefińskie" zdjęcia topograficzne z przełomu XVIII i XIX w., mapa Wisły z czasów napoleońskich, wreszcie plany przedregulacyjne Wisły z połowy XIX w./ Okazało się, że wszystkie większe zmiany położenia koryta Wisły na badanym odcinku, dla których istnieje dokumentacja kartograficzna, znajdują swoje odpowiedniki w zarejestrowanych na zdjęciach lotniczych śladach. Dało to możliwość każdorazowej korekty poprowadzonych wg map, linii biegu koryta w poszczególnych okresach którą zapewniała przede wszystkim większa pojemność informacyjna zdjęć lotniczych w stosunku do materiałów kartograficznych.

Jak już zaznaczyłem powyżej, badania oparłem o standardowe zdjęcia lotnicze wykonane dla celów topograficznych. Pochodziły one z nalotów w 1962 r. Skala zdjęć około 1:19 000, przewyższenie skali piono-

wej 2,7 /wg Zorna/. Ponieważ na objętym badaniem obszarze deniwelacje nie przekraczały 68 m wynikający stąd błąd radialnego przesunięcia punktów mieścił się w dokładności graficznej opracowania /poniżej 1 mm/.

Skalę zdjęć należało uznać za właściwą dla badań zarówno z punktu widzenia możliwości odczytywania szczegółów mających znaczenie dla rekonstrukcji zmian poziomych koryta jak również z powodu jej niewielkiego odchylenia od przyjętej skali opracowania końcowego 1:25 000. Duże znaczenie dla interpretacji starorzeczy ma pora foto - grafowania. Znajomość konkretnej daty a nawet godziny nalołu, z którego pochodzą zdjęcia, pozwala na powiązanie z warunkami meteorologicznymi i hydrologicznymi panującymi w okresie poprzedzającym nalot oraz w czasie jego trwania. Daje to możliwość oceny warunków nawilgocenia terenu w momencie kiedy on został sfotografowany. Zarówno zbyt duże przesuszenie, jak i nawilgocenie terenu powoduje wyrównanie tonalne jego obrazu fotograficznego. Z tego powodu najbardziej optymalne warunki dla najlepszego uchwycenia różnic wilgotności na podstawie fototunu zdjęć lotniczych występują kilka dni po większych opadach lub kilkanaście dni po spływie wód powodziowych. Dla oceny nawilgocenia gruntu w czasie wykonywania zdjęć lotniczych, przeprowadzono analizę stosunków opadowych w okresie poprzedzającym naloty, z których pochodziły użyte w badaniach zdjęcia lotnicze. Pod tym względem oba naloty nie były wykonane w porze najbardziej korzystnej dla interpretacji stanu nawilgocenia bowiem poprzedzały je okresy suche a średnia miesięczna opadów poprzedzającego naloty miesiąca, była też znacznie niższa od wieloletniej. Natomiast stany wody na wodowskazach badanego odcinka Wisły były zbliżone do średnich rocznych z wielolecia, odpowiadały więc normom jakie przyjmuje się dla kartowania koryt rzecznych przy sporządzaniu map topograficznych. Oczywiście o właściwej szerokości koryta rzecznego można na zdjęciach lotniczych przekonać się nie tylko po "wstędze" wody ale przede wszystkim po przewyższonych w modelu stereoskopowym jego brzegach.

Powstała w wyniku badań na zdjęciach lotniczych mapa fotointerpretacyjna w dalszym etapie opracowania musiała być porównywana z mapami topograficznymi o różnej zresztą dokładności. Dla wyeliminowania błędów oraz związania całości obszaru odfotografowanego na kilkudziesięciu zdjęciach wykonałem graficzną triangulację radialną, w efekcie której otrzymałem tzw. fotoszkic. Właśnie ten fotoszkic stanowił dla mnie kartograficzne ujęcie stanu współczesnego koryta Wisły. Nie mo -

gła nim być natomiast mapa topograficzna 1:25 000 /obrębowa/ z lat 60-tych ze względu na wykazane większe błędy niż w przypadku map z początku XIX wieku.

Przy badaniach dotyczących dynamiki środowiska geograficznego należy posługiwać się materiałami o bardzo dużej dokładności albo w przypadku materiałów mniej dokładnych przeprowadzić specjalne badania w tym zakresie. Jest to warunkiem poprawnej interpretacji zmian, a więc przede wszystkim wyeliminowania tych przypadków, gdzie nieokreślony proces /np. fluwialny/ doprowadził do innego na danej mapie obrazu /np. koryta rzecznego/?

Wobec mało precyzyjnych map topograficznych dostępnych ogólnie do badań naukowych, tym większą wartość posiadają zdjęcia lotnicze, które w niektórych przypadkach pozwalają przy użyciu nieraz prostych metod, otrzymać bardziej kartometryczny materiał podkładowy w formie fotoszkicu.

Nie bez znaczenia jest też okres fenologiczny w jakim zostały wykonane zdjęcia. Ma to wpływ na możliwości interpretacji roślinności i upraw rolnych, które ogólnie rzecz biorąc maskują sam "teren" w niektórych jednak przypadkach stanowić mogą ważną pośrednią cechę rozpoznawczą. Tak właśnie jest w przypadku interpretacji śladów starych koryt. Maksymalne zróżnicowanie jasności spektralnej, od której zależy intensywność zaczernienia negatywu, przypada w naszych warunkach klimatycznych na jesień, jeśli chodzi o drzewa oraz przed okresem żniw o uprawy rolne. Z drugiej jednak strony pozbawione zbóż pola uprawne lepiej oddają na zdjęciach lotniczych różnice wilgotności.

Skala zdjęć lotniczych wykorzystywanych w badaniach nie pozwoliła na szczegółowe rozpoznanie gatunków roślinności lub struktury upraw rolnych w takim stopniu aby mogło to być wskaźnikiem np. stopnia zachowania starorzeczy. W niektórych tylko przypadkach można było wyróżnić roślinność hydrofilną /podmokłe olsy, czasem trzcina/ właściwą dla stosunkowo świeżych form. Wskazywała na to zdecydowanie inna struktura obrazu fotograficznego szczególnie w porównaniu ze strukturą obrazu lasów Puszczy Niepołomickiej. Trzeba też zaznaczyć, że świeże formy starorzeczy niekiedy występowały w obszarze, gdzie nie należało się ich spodziewać /zbyt były oddalone od obecnego koryta Wisły/, związane to jest z odmładzaniem tych form, szczególnie w okresach powodzi, tym bardziej, że horyzont wód gruntowych jest w obszarze Puszczy Niepołomickiej często wyższy niż w dnie doliny - bliżej koryta Wisły. Ta cecha, właściwa być może tylko dla tego terenu mo -

gie być bardzo mylącą w datowaniu systemów starych koryt. Natomiast fakt, że zdjęcia lotnicze wykonane były po sprzątnięciu zbóż /sierpień - wrzesień/ było cechą pozytywną bowiem można było lepiej prześledzić nawilgocenie gruntu tzn. bezpośrednio na podstawie fototonu a nie pośrednio na podstawie różnic w wysokości zbóż.

Bardzo istotną cechą fotointerpretacyjną był model stereoskopowy. Dzięki jego przewyższeniu widoczne były wyraźnie charakterystyczne mikroformy związane z rozwojem zakoli /były wały brzegowe i drobne zagłębienia pomiędzy nimi, często już znacznie zniwelowane i w terenie niewidoczne/ lub też interpretowane jako oznaki dziczenia - podłużne lub lekko kręte, występujące wzdłuż obecnego koryta "wargowate" wyźłobienia o bardzo małych deniwelacjach. Formy te występujące w obrębie międzywała narażone bezpośrednio na działanie wód powodziowych, które każdorazowo je zaburzały - nie mogły oczywiście stanowić całkowicie pewnych przesłanek do stwierdzenia o współczesnym dziczeniu rzeki. Nie ulega jednak wątpliwości, że trasa regulacyjną /obecnie koryto Wisły/ została włożona w dziczące koryto co stwierdzają zresztą hydrotechnicy z przełomu XIX i XX w.

W przypadku interpretacji form związanych ze zmianami koryta rzecznego a przede wszystkim starorzeczy, ich obraz fotograficzny na zdjęciach lotniczych jest tak sugestywny, że często jedna cecha fotointerpretacyjna /np. kształt/ wystarczająco pozwala na prawidłowe rozpoznanie, niemniej jednak jeśli chodzi o najstarsze ślady starych koryt to ich interpretacja musi uwzględniać więcej cech, przy czym szczególnie istotne stają się cechy pośrednie, wskazujące na związki pomiędzy stanem warunków środowiska a niektórymi cechami obrazu fotograficznego /np. nawilgocenie gruntu i charakterystyczne smugi na zdjęciach/.

W każdym wypadku należy dążyć /co wykazały badania/ do stworzenia swego rodzaju klucza fotointerpretacyjnego i to koniecznie metodą zdjęcie-teren. Konfrontacja terenu z jego obrazem na zdjęciu lotniczym jest ważnym etapem pracy i pozwala na dużo pewniejszą późniejszą interpretację kameralną. Poza formami związanymi ze zmianami koryta na zdjęciach lotniczych można prześledzić bardzo szczegółowo samo koryto współczesne a więc: charakter jego brzegów, urządzenia wodne a przy przezroczystej wodzie /niestety nie w przypadku Wisły/ także i samo dno koryta. Na omawianych zdjęciach wykonanych przy stosunkowo niskim stanie wody wydzielić można piaszczyste odsypy /najjaśniejsze fototonu/. Ciekawe studium można przeprowadzić odnośnie stanu urządzeń regulacyjnych /tamy podłużne i poprzeczne/. Innym

istotnym zagadnieniem i to możliwym do badania właściwie tylko na zdjęciach lotniczych jest śledzenie kierunków spływu wód powodziowych. Rozgałęziające się palczasto drobne rynny /smugi ciemniejszego fototonu/ w obrębie całej terasy zalewowej nie mogą być identyfikowane z formami byłych koryt rzecznych chociaż po większych powodziach są one nieraz znacznie pogłębione i mogą sugerować starorzecza.

Oceniając przydatność wykorzystywanych w badaniach zdjęć lotniczych oraz czytelność na nich form i zjawisk związanych z dynamiką koryta Wisły, stwierdzić należy, że możnaby było zaprogramować bardziej korzystną porę i niektóre inne parametry lotu fotogrametrycznego oraz osiągnąć wyższy poziom jakości samych odbitek. Mimo to okazały się one, szczególnie w porównaniu z dostępnymi do badań naukowych mapami topograficznymi, materiałem zawierającym więcej informacji oraz bardziej dokładnym.

Oprócz rekonstrukcji samych zmian poziomych koryta Wisły w omawianym odcinku, badania moje dotyczyły także typologii tych zmian oraz próby wydzielenia jednorodnych pod tym względem odcinków. Zdjęcia lotnicze nie mogły być tutaj podstawowym materiałem z uwagi na wyżej wspomniany brak możliwości precyzyjnego datowania oraz na bardzo częsty fakt nakładania się wzajemnego różnych starorzeczy. Wprawdzie odtworzone zmiany koryta są właściwe dla "meandrowania swobodnego" tzn. typu procesu korytowego jaki reprezentuje Wisła w Kotlinie Sandomierskiej, jednak nie wszystkie zakola rozwijały się w sposób najbardziej dla niego typowy. Rozwój wielu zakoli był w znacznym stopniu indywidualny i nie można było stworzyć w tym względzie ogólnego schematu. Nie stwierdziłem też wyraźniejszej rytmiczności zmian. Niejednorodność zmian poziomych zakoli przejawiała się przede wszystkim: różnym kierunkiem przemieszczania się zakoli, występowaniem odcinków bardziej prostych obok wyraźnie pętlowych, asymetrią kształtu, różnym położeniem osi zakola, ześlizgiwaniem się zakoli w górę i w dół biegu rzeki. W badanym okresie niektóre odcinki wykazywały względną stabilność /szczególnie odcinek wschodni gdzie Wisła podcina krawędź Wysoczyzny Proszowickiej/. Pomimo istotnych nieraz zmian poszczególnych zakoli w ostatnich 200 latach koryto Wisły generalnie rzecz biorąc oscylowało w obrębie strefy meandrowania, której szerokość nie zmieniała się zasadniczo o czym zdecydował również niezmienny się reżim hydrologiczny Wisły w tym okresie. W części zachodniej i wschodniej badanego odcinka można było zaobserwować nieznaczne boczne przesuwanie się osi koryta. Tendencje te istniały już od dawna i należy je wiązać z oddziaływaniem stożków na-

plywowych dopływów wyżynnych (na zachodzie) oraz stożka napływowego Raby (na wschodzie); w części środkowej, którą można uznać jako strefę przejściową, spychanie w obu kierunkach występowało równomiernie ale dużo słabiej - wynikiem tego jest, odchylony od równoleżnikowego, przebieg koryta Wisły w tym odcinku.

Kazimierz Trafas

RECONSTRUCTION OF CHANGES OF THE VISTULA RIVER BED ON THE
BASIS OF PHOTOINTERPRETATION

S u m m a r y

Author's investigations have been concentrated along the 43 km /present state/ reach of the Vistula between Cracow and the mouth of the Raba river. In the Vistula valley over that reach there are, within the Holocene terraces, intricate systems of old channels varying in age and, partly, overlapping each other. Basing on the degree of their survival /aerial photographs/ and the size of various geometric parameters of the bands /width, length, height, radius of curvature and others/ it was possible to distinguish three generation of old channels /"youngest", "younger", "older"/. Old channels or their traces belonging to the system of the "youngest" ones provided a base for a detailed reconstruction of changes in the bed's course over recent 200 years. The cataloguing of the old channels was made using the photointerpretation method, while the dating of the changes was carried out due to available topographic maps, which for the reach in question have been performed four times since 1775. In the reach under consideration, the Vistula was admitted to be a meandering river. The reconstructed changes of river bed are characteristic of the process of free meanders, although not all the bends have developed in away regarded to be the most typical. The heterogeneity of horizontal changes of the river bed has been expressed first of all, by various directions of the shifting of bends, occurrence of straight reaches, in addition to those clearly loop-like, the asymmetry of shape, various situations of the axis of bends, the slipping of bends along the river course, oscillation along the axis of symmetry and by interruptions of meander neck both by natural and artifi -

cial reasons /regulation of the river/. Over the period of 200 last years the Vistula bed oscillated within the belt of meandering, the width of which was showing considerable stability. This was probably caused by the not changing hydrological conditions, during this time. In the investigated reach to observe slight lateral shift of the beds axis /to the north-west direction in the east part and to the south-east in the west part/ - by influence of alluvial fans of tributaries. Aerial photographs are the best research material to catalogue old channels. The greatest advantage of the photointerpretation is the character of a photographic image, which makes it possible to conclude about of the degree of ground moistening due to tonal differences; the exaggeration of vertical scale of a stereoscopic model which enables to distinguish slight height differences i.e. characteristic microforms in the bottom of valley, connected with the development of meander.