

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

PL ISSN 0012-5032

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ZYGMUNT BABIŃSKI

PROCESY KORYTOWE WISŁY
PONIŻEJ ZAPORY WODNEJ
WE WŁOCŁAWKU



ROK 1982

ZESZYT 1-2

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IM. OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

WYKAZ ZESZYTÓW
PRZEGLĄDU ZAGRANICZNEJ LITERATURY GEOGRAFICZNEJ
za ostatnie lata

1977

- 1 Zdjęcia i obrazy satelitarne w badaniach środowiska geograficznego, s. 147, zł 24,—
- 2 Przestrzenne modele symulacyjne, s. 153, zł 24,—
- 3 Integracja systemu planowania oraz rozwój miast w Europie Zachodniej, s. 120,
- 4 Badanie i zbieranie map. Przegląd historyczny, s. 78, zł 24,—
zł 24,—

1978

- 1 Ekologia krajobrazu, s. 123, zł 24,—
- 2 Geografia zastosowań ekonomicznych, s. 95, zł 24,—
- 3-4 Teoria biegunów wzrostu, s. 254, zł 48,—

1979

- 1 Metodyka nauczania geografii, s. 165, zł 24,—
- 2 Metody sformalizowane w badaniach geokompleksów, s. 107, zł 24,—
- 3 Wybrane podstawy filozoficzne geografii współczesnej, s. 177, zł 24,—
zł 24,—
- 4 Geografia jako nauka, s. 144, zł 24,—

1980

- 1 Wybrane problemy geografii miast, s. 135, zł 24,—
- 2 Teledetekcja środowiska geograficznego, s. 203, zł 24,—
- 3 Klęski żywiołowe a rozwój gospodarczy krajów Trzeciego Świata, s. 135, zł 24,—
- 4 Metody ilościowe w geografii transportu, s. 153, zł 24,—

1981

- 1 Współczesne kierunki metodologiczne w geografii Trzeciego Świata, s. 169,
zł 24,—
- 2-3 Geografia społeczna, s. 155, zł 24,—
- 4 Problemy geografii rozwoju, s. 180, zł 24,—

PROCESY KORYTOWE WISŁY
PONIŻEJ ZAPORY WODNEJ
WE WŁOCŁAWKU

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

ZYGMUNT BABIŃSKI

THE INFLUENCE
OF THE WATER DAM IN WŁOCŁAWEK
OF FLUVIAL PROCESSES
OF THE VISTULA RIVER



YEAR 1982

FASC. 1-2

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IM. OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

<http://rcin.org.pl>

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ZYGMUNT BABIŃSKI

PROCESY KORYTOWE WISŁY
PONIŻEJ ZAPORY WODNEJ
WE WŁOCŁAWKU



ROK 1982

ZESZYT 1-2

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IM. OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: Jerzy Grzeszczak

Sekretarz: Zuzanna Siemek

Członkowie Redakcji: Maria Ciechocińska, Kazimierz Klimek,
Wanda Spryszyńska, Władysława Stola, Andrzej Żeromski

Adres Redakcji:

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania

Polskiej Akademii Nauk

ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

Redaktor Wydawnictwa: Hanna Jurek

Redaktor techniczny: Maciej Szłapka

Printed in Poland

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1982.
Nakład: 370 egz. Objętość: ark. wyd. 6,40, ark. druk. 6,25, ark.
A₁ — 8. Papier druk. sat. kl. IV, 70 g, 70 × 100. Oddano do skła-
dania 25 IX 1981. Podpisano do druku 2 VIII 1982. Druk ukończono
w sierpniu 1982. Wrocławska Drukarnia Naukowa. Zam. 409/81. H-7.

Cena zł 30.—

SPIS TREŚCI

Przedmowa	7
Wprowadzenie	9
I. Cel i metoda pracy	11
II. Ogólna charakterystyka geomorfologiczna i geologiczna doliny Wisły	14
III. Wybrane elementy reżimu hydrologicznego Wisły w profilach wodowskazowych — zapora i Włocławek	20
Stany wody	20
Częstość i czas trwania stanów wody	24
Związki wodowskazowe	28
Przepływy Wisły, krzywe konsumpcyjne	30
IV. Morfologia koryta Wisły	33
Mezoformy korytowe	34
V. Morfologiczna działalność wód płynących	42
Ruch wody w rzekach	42
Dynamika mezoform korytowych	44
Dynamika przekroju poprzecznego koryta	52
Dynamika profilu podłużnego dna koryta	59
VI. Zmiany i tendencje rozwojowe koryta Wisły od zapory do Włocławskich azotów do 1974 roku	63
Rozwój koryta Wisły do momentu wybudowania zapory	63
Rozwój koryta Wisły w okresie działalności zapory	70
Zakończenie	82
Literatura	84
The influence of the water dam in Włocławek on fluvial processes of the Vistula river	89
Русловые процессы Вислы ниже водоудержательной плотины во Влоцлавке	91

PRZEDMOWA

W latach 1962—1970 przeprowadzono budowę stopnia wodnego na Wiśle pod Włocławkiem. W wyniku przegrodzenia Wisły powstał największy sztuczny zbiornik wodny w Polsce jako pierwszy w kaskadzie dolnej Wisły. Jego powstanie doprowadziło do zmian w środowisku geograficznym. Należy tu przede wszystkim wymienić:

- a) zmianę reżimu hydrologicznego rzeki,
- b) zatopienie i podtopienie terenów przyległych,
- c) naruszenie stabilności brzegów,
- d) zmiany hydromorfologiczne koryta rzeki Wisły.

Zespół naukowy Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Niżu Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Toruniu rozpoczął w 1969 r. badania naukowe w rejonie zbiornika wodnego pod Włocławkiem i prowadzi je do chwili obecnej. Głównym celem tych badań jest określenie wpływu nowo powstałego zbiornika wodnego na środowisko geograficzne doliny Wisły. Badania dotyczyły zmiany stosunków wodnych na lewym, częściowo depresyjnym brzegu zbiornika i rozwoju osuwisk na prawym, wysokim jego brzegu. Na odcinku doliny Wisły od Kotliny Płockiej do Kotliny Toruńskiej określono zmiany koryta rzecznego w okresie historycznym. Przeprowadzono również badania rozwoju rzeźby doliny pomiędzy wyżej wymienionymi Kotlinami. Prowadzone są badania hydrologiczne w zbiorniku włocławskim dotyczące stanów wody, falowania, prądów, ustroju termicznego, akumulacji osadów dennych oraz zlodzenia i dynamiki zjawisk lodowych.

Ważne miejsce w badaniach rejonu zbiornika włocławskiego zajmuje praca Zygmunta Babińskiego dotycząca procesów korytowych Wisły. Autor stara się poznać skutki ingerencji człowieka w środowisko fluwialne w ciągu ostatnich stu lat. Obiektem badań był 12-kilometrowy odcinek koryta Wisły, usytuowany bezpośrednio poniżej zapory. Na tym odcinku prace regulacyjne prowadzono od połowy XIX w., a w latach 1968—1970 koryto Wisły pod Włocławkiem zostało przegrodzone. Autor prześledził zmiany wywołane różnymi formami ingerencji człowieka. Szczególnie istotne zmiany w korycie Wisły zaszły w okresie 4 lat po wybudowaniu zapory. Do tego okresu Autor dokonał bilansu skutków procesów erozyjnych i akumulacyjnych.

Literatura światowa dotycząca procesów fluwialnych jest bardzo bogata, lecz nie ma w niej zbyt wielu prac opartych na systematycznych badaniach procesów korytowych, zwłaszcza rzek dużych. Badania takie są skomplikowane z uwagi na trudności związane z technikami badawczymi. Autor zastosował interesującą metodę badań i uzyskał wartościowe wyniki, które są godne polecenia przede wszystkim projektantom zapór na dużych rzekach.

Jan Szupryczyński

WPROWADZENIE

Jednym z procesów kształtujących powierzchnię Ziemi jest morfologiczna działalność wód płynących. Działalność ta przebiega zgodnie z ogólnymi prawami hydrauliki, choć jest modyfikowana przez wiele czynników, m.in. przez klimat, budowę geologiczną i szatę roślinną. W ostatnim okresie do czynników tych należy zaliczyć również ingerencję człowieka. Zbadanie efektów tej ingerencji oraz znaczenia i udziału innych czynników w procesie morfologicznej działalności wód rzecznych umożliwia analiza procesów korytowych.

Pod pojęciem procesów korytowych należy rozumieć wszelkie zmiany, jakie zachodzą w korycie rzeki pod wpływem wody płynącej (Antropowski 1969). Podobną definicję podaje Kaszowski (1970), używając synonimicznych terminów „procesy rzeczne”, „procesy fluwialne” czy „procesy korytowe”, obejmując nimi również procesy zachodzące w okresie powodzi na równi zalewowej.

Jak wynika z ogólnych założeń procesów korytowych, badanie ich należy przeprowadzać przede wszystkim z punktu widzenia dynamiki wód oraz będących pod jej wpływem form korytowych.

Przedmiotem badań dynamiki wód jest woda będąca w ruchu pod wpływem sił grawitacji. Zagadnienie to, interpretowane w sposób teoretyczny poparty głównie badaniami laboratoryjnymi, jest dokładnie omawiane w pracach Troksolańskiego (1967) oraz Czetwertyńskiego i Szustera (1973); natomiast w sposób cząstkowy niemal we wszystkich pracach zajmujących się procesami korytowymi.

Z kolei ruch wody w korytach rzecznych wraz z kształtowaniem się pod wpływem tego ruchu form korytowych, jest tematem prac: Makkawjewa (1955); Kułeminy (1959); Popowa (1960, 1963, 1965, 1969, 1977); Winogradowa (1962, 1973); Apołowa (1963); Leopolda i in. (1964); Korczochoy (1965); Znamieńskiej (1965, 1976); Kennedy'ego (1966); Romaszina (1967, 1968, 1975); Allena (1968); Collinsona (1970); Abdullajewa (1973, 1974); Dawydowa i in. (1973); Lewaszowa (1974, 1976); Rachockiego (1974); Czałowa (1975, 1979); Butakowa i Iliny (1976); Gradzińskiego i in. (1976); Ważnowa (1976) i in.

Przedstawione w powyższych pracach rozważania z zakresu działalności wód płynących w wielu przypadkach ułatwiały analizę współczes-

nych procesów korytowych Wisły. Niemniej jednak zagadnienie wpływu zapór wodnych na procesy korytowe poniżej zbiorników w cytowanych pracach bądź zostało pominięte, bądź zostało potraktowane marginesowo. Problem ten przedstawiają m.in. Popow (1962), Apołłow (1963), Gruszewski i Erikson (1968); Antropowski (1973); Czałow (1973, 1979), Ikonnikow (1975); Kurdow i in. (1975). Wymienieni autorzy omawiają tylko ogólnie zasięg wpływu zapór wodnych, przejawiający się w postaci wzrostu erozji wgłębnej, bądź określają zmiany reżimu hydrologicznego, jak np. w pracy Kurdowa i in. (1975) w przypadku rzeki Don.

W literaturze polskiej problem ten przedstawiają m.in. Kornacki (1966); Machalewski i in. (1974); Mroziński i Połujkis (1974); Bittner (1976); Glazik (1976). Spośród tych prac na uwagę zasługują artykuły Machalewskiego i in. oraz Mrozińskiego i Połujkisa, przedstawiające szczegółową analizę wpływu zapory we Włocławku, w początkowej fazie jej działalności, na erozję denną rzeki, a głównie na ilość wyerodowanego materiału. Poczynione przez tych autorów obserwacje posłużyły następnie do określenia zmian warunków rzeki pod kątem jej przydatności na potrzeby żeglugi rzecznej. Pierwsze wzmianki autora niniejszej pracy, dotyczące wielkości procesu erozyjnego poniżej zapory we Włocławku, znajdują się w pracach Szupryczyńskiego (1974, 1976) oraz Babińskiego i Glazika (1980), natomiast dotyczące zagadnienia wpływu zapory na rumowisko denne w pracy Babińskiego (1979).

Jak więc wynika z pobieżnego i selektywnego przeglądu literatury¹, zagadnienie wpływu zapór czy regulacji rzek na procesy korytowe nie jest szczegółowo opracowane. W związku ze stałym wzrostem ingerencji człowieka w procesy korytowe rzek, prowadzącej w efekcie końcowym do ich całkowitej kanalizacji (proces ten przybiera szczególne rozmiary na badanym odcinku), zaistniała konieczność podjęcia badań zmierzających do dokładnego określenia tych procesów. Aby dokonać tego w sposób w miarę obiektywny, należy uprzednio scharakteryzować naturalne warunki hydrologiczne i morfologiczne rzeki.

W tym miejscu pragnę serdecznie podziękować Panu Prof. dr. hab. Janowi Szupryczyńskiemu za zachętę do pracy i cenne uwagi oraz Kolegom z Zakładu za owocne dyskusje, natomiast pracownikom CBSiPBW „Hydroprojekt” we Włocławku za udostępnienie materiałów badawczych.

¹ Pełny przegląd literatury przedmiotu zamieszczony jest w pracy doktorskiej pt. *Współczesne procesy korytowe Wisły poniżej zapory we Włocławku*, znajdującej się w Bibliotece Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Warszawie.

I. CEL I METODA PRACY

Celem pracy było określenie zmian koryta Wisły na skutek wybudowania zapory we Włocławku. Dążąc do rozwiązania tego problemu, starano się oddzielić procesy korytowe rzeki, wynikające z ogólnych właściwości hydrodynamicznych rzeki — bez ingerencji człowieka, od tych, które są następstwem działalności gospodarczej człowieka, poprzez regulację rzeki oraz budowę zapory we Włocławku.

Zagadnienie współczesnych zmian koryta Wisły, ze względu na duże rozmiary rzeki i wynikające stąd trudności realizacji badań terenowych, ograniczono do odcinka 12 km długiego, mającego zarówno gęstą sieć pomiarową w zakresie morfometrii koryta, jak i zjawisk hydrologicznych.

W pracy wykorzystano liczne, chociaż często niepełne, materiały badawcze, które nie zawsze pozwalały na określenie w sposób jednoznaczny rozwoju współczesnych procesów korytowych Wisły. Stąd też uwzględniono tylko niektóre zagadnienia procesów rzecznych, zachodzących w sferze mezofর্ম i makroformy, jaką jest koryto, bez uwzględnienia zjawisk występujących w mikroskali.

Przy badaniu współczesnych procesów korytowych Wisły wzięto pod uwagę:

- a) budowę geologiczną i morfologię koryta,
- b) niektóre zjawiska hydrologiczne rzeki,
- c) dynamikę niektórych mezofর্ম korytowych pod wpływem wód płynących,
- d) zmiany i tendencje rozwojowe koryta Wisły na przestrzeni ostatnich stu lat.

Podczas opracowywania rozwoju współczesnych procesów korytowych Wisły posługiwano się różnymi metodami, z których najszersze zastosowanie znalazły metody kartograficzne oraz analizy matematyczne. Metody kartograficzne zastosowano głównie w analizie budowy geologicznej oraz morfologii badanego terenu, dynamiki mezofর্ম korytowych, jak też podczas określania zmian koryta rzeki. Analizy matematyczne natomiast dotyczą przede wszystkim zjawisk hydrologicznych rzeki.

W celu poznania współczesnych procesów zachodzących w korycie rzeki, wykorzystano przekroje poprzeczne koryta wykonane echosondą

przez „Hydroprojekt” we Włocławku w latach 1967—1973. Na podstawie tych materiałów, na podkładzie map sytuacyjno-wysokościowych i zinterpretowanych zdjęć lotniczych w skali 1 : 10 000, wykreślono mapy izohips i izobat dna koryta. Z kolei mapy izohips, w przypadku szczegółowo badanego odcinka (tzw. doświadczalnego), posłużyły do wyróżnienia mezoforn korytowych (mapy geomorfologiczne), jak też poprzez nałożenie na siebie dwóch kolejnych map, do wyznaczenia różnic w procesie sedymentacyjnym zachodzącym w dnie koryta.

Przekroje poprzeczne koryta posłużyły również do określenia bilansu rumowiska dennego dla całego badanego odcinka rzeki. Wyznaczono go z różnicy wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych koryta między poszczególnymi okresami badawczymi, obliczonych metodą planimetryczną.

Aby stwierdzić meandrowy charakter nurtu rzeki, jak też jego zmiany wynikające z działalności gospodarczej człowieka, dokonano pomiarów wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych koryta w układzie połowicznym. Oznacza to, że każdy przekrój poprzeczny koryta ograniczony zwierciadłem wody ($H = 260$ cm) dzielono umownie na połowę (wg jego szerokości), a następnie obydwie połowy planimetrowano. Wspomniane wyżej echogramy wykorzystano również do określenia niektórych elementów geometrii koryta, m.in. wielkości powierzchni przekroju poprzecznego koryta F , średniej i maksymalnej głębokości koryta, mierzonych od stałej wysokości zwierciadła wody $H = 245$ lub 260 cm w odniesieniu do wodowskazu Włocławek. Stałą wysokość zwierciadła wody stosowano dla określenia zmiany dna koryta. Wysokość zwierciadła wody H , ograniczająca profil poprzeczny koryta, została ustalona umownie w taki sposób, by objąć możliwie jak najdokładniej strefę dna koryta zawartą na echogramach.

Aby przedstawić powyższe elementy geometrii koryta w formie kartograficznej, skonstruowano matematyczny model przekroju poprzecznego koryta, wyrażony krzywą zależności szerokości od głębokości. W celu odróżnienia procesów kształtujących elementy geometrii koryta pod wpływem zapory oraz regulacji rzeki od procesów zachodzących w warunkach naturalnych bez ingerencji człowieka, wydłużono okres badań, wykorzystując materiały IMGW (PIHM), głównie w postaci pomiarów stanów wody oraz przepływów Wisły w profilu wodowskazu Włocławek.

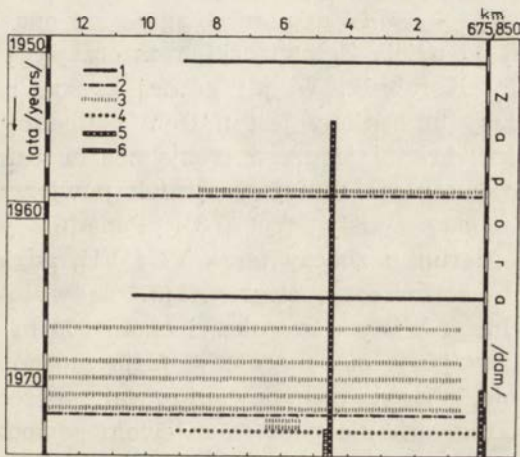
Z danych raptularzy przepływów określono niektóre elementy geometrii koryta, z których jedynie powierzchnię przekroju poprzecznego F ujęto w ramy zależności ze stanami wody H , przy których były dokonywane pomiary.

Powierzchnię przekrojów poprzecznych obliczono metodą planimetryczną w odniesieniu do stałej wysokości zwierciadła wody $H = 245$ cm. Ze względu na mały związek między tymi elementami (duży rozrzut punktów), nie określono jej w sposób matematyczny. Ustalono tylko granice częstotliwości występowania zdarzeń, tj. ile razy dana wielkość po-

wierzchni przekroju poprzecznego koryta mieści się w odpowiedniej grupie (co 0,5 m) wysokości zwierciadła wody h .

W celu dokładnego zinterpretowania mezoform korytowych ze zdjęć lotniczych i map sytuacyjno-wysokościowych, przeprowadzono w latach 1972—1975 badania terenowe. Metodą kartowania geomorfologicznego sklasyfikowano mezoformy korytowe, metodą geodezyjną zaś wyznaczono na niektórych odcinkach przebieg linii brzegowej kęp palami stanowiącymi repery pomiarowe. Za pośrednictwem reperów określono intensywność erozji bocznej brzegów rzeki i niektórych jej kęp. W celu poznania budowy geologicznej koryta i jego zmian wynikających z wybudowania zapory (dane porównano z wcześniejszymi wynikami Borna (1958), pobrano jednorazowo (w sierpniu 1973 r.) próby osadów do głębokości 5 cm czerpakiem Eckmanna z form korytowych typu łąch i płos, po uprzednim wysondowaniu przekrojów poprzecznych koryta. 117 prób osadów poddano analizie składu mechanicznego metodą sitową oraz zbadano obtoczenie ziarn kwarcu o średnicy od 1,02 do 1,5 mm na graniformametrze B. Krygowskiego. Uzyskane materiały scharakteryzowano przestrzennie na przekroju podłużnym koryta. Wszystkie zmiany morfologiczne koryta i budowy geologicznej jego dna, jeśli było to możliwe, starano się wiązać z równoczesnymi zmianami warunków hydrologicznych Wisły.

Rodzaj materiałów badawczych, jak też czas oraz miejsce badań, przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Zestawienie materiałów badawczych wykorzystanych w pracy dla analizowanego odcinka Wisły za okres 1950—1974

1 — mapy sytuacyjno-wysokościowe, 2 — zdjęcia lotnicze, 3 — profile poprzeczne koryta, 4 — pomiar osadów dennych koryta, 5 — dane wodowskazowe, 6 — dane z limnigramów

List of materials used in the study for the analyzed section of the Vistula river for the years 1950—1974

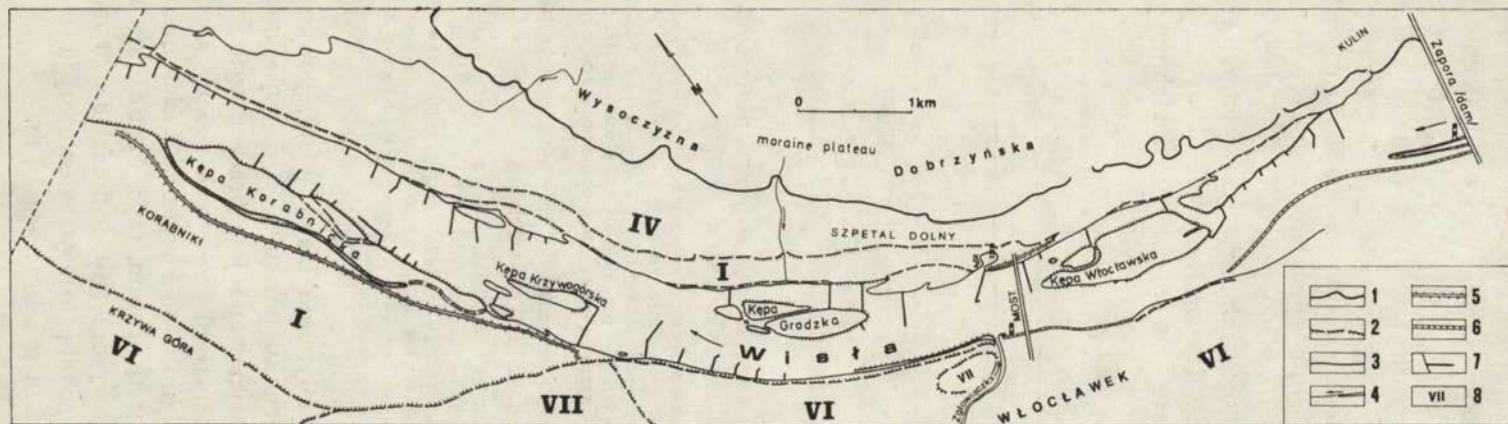
1 — Location-altitude maps, 2 — air photographs, 3 — cross-sections of the channel, 4 — measurements of alluvial sediments, 5 — water gauge data, 6 — limnigraph data

II. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GEOMORFOLOGICZNA I GEOLOGICZNA DOLINY WISŁY

Omawiany w pracy odcinek doliny Wisły był przedmiotem badań geomorfologicznych Wiśniewskiego (1976). Wyniki jego badań posłużyły do dokonania poniższej charakterystyki.

W obrębie analizowanego obszaru najwyższą terasę (VII) ma wysokość 61 m n.p.m. (ryc. 2). Poniżej ujścia rzeki Zgłowiączki, na odcinku o długości około 3,5 km, kontaktuje się ona stromym zboczem bezpośrednio z łóżyskiem rzeki. Terasa ta występuje również wyspowo w obrębie miasta Włocławka. Niższa od niej 3—4 m terasa VI tworzy stromy brzeg koryta na pozostałym odcinku lewobrzeżnym rzeki aż do terasy zalewowej, tzw. korabnickiej. W wielu miejscach jej zbocze umocnione jest murem kamiennym zabezpieczającym ją przed erozyjną działalnością Wisły. Występuje to w strefie przyzaporowej (0—2,5 km) oraz od 3,3 km badanego odcinka do ujścia rzeki Zgłowiączki (ryc. 2). Najniższą terasę zalewową (I) ma wysokość 47 m n.p.m. Ciągnie się ona w postaci listwy do 50 m szerokiej od ujścia Zgłowiączki, rozszerzającej się następnie do 1200 m w okolicy Korabnik. W jej górnej części, na odcinku około 1,4 km, brzeg terasy umocniony jest murem kamiennym (ryc. 2), a na pozostałym odcinku chronią ją przed erozją boczną ostrogi rzeczne. Terasa I korabnicka ma nieco mniejszy spadek powierzchni aniżeli spadek zwierciadła wody Wisły (ryc. 3). Ponadto jej powierzchnia jest nachylona w kierunku zboczy teras VI i VII, gdzie u ich podnóży, dzięki istniejącemu starorzeczu, osiąga najniższą wysokość. Starorzeczce to, jako dawna odnoga Wisły o szerokości około 200 m i głębokości 4 m (miaższosć torfu), znajduje się obecnie w fazie mocno zaawansowanego zarastania. Obecnie, dzięki wybudowaniu wału przeciwpowodziowego (ryc. 2), obszar starorzeczca nie podlega zalewom powodziowym. Wylewy wiślane ograniczają się wyłącznie do wąskiej strefy terasy zalewowej około 50—250 m szerokiej.

Prawy brzeg koryta Wisły kontaktuje się tylko z dwiema terasami, tj. z terasą IV i zalewową (ryc. 2). Terasa IV, o wysokości 51—52 m n.p.m., pojawia się około 5 km w dół od zapory i nie jest przeobrażana nawet przez tzw. wodę stuletnią (ryc. 3). Jej zbocze tworzy stromy brzeg łóży-ska rzeki na odcinku około 6 km (ryc. 2). Na odcinku pomiędzy zaporą



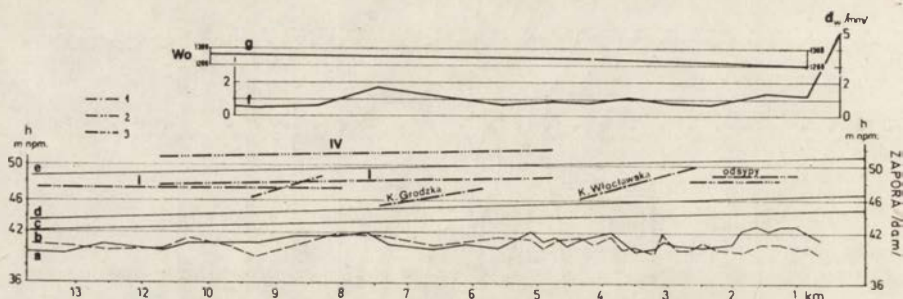
Ryc. 2. Szkic sytuacyjno-geomorfologiczny doliny Wisły poniżej zapory we Włocławku

1 — krawędź wysoczyzny, 2 — krawędzie teras rzecznych, 3 — brzeg koryta Wisły, 4 — dopływy, 5 — wały przeciwpowodziowe, 6 — umocnienia kamienne, 7 — ostrogi rzeczne, 8 — oznaczenia teras rzecznych

Geomorphological site sketch of the Vistula river valley below the water dam in Włocławek

1 — rim of the moraine plateau, 2 — rims of terraces, 3 — bank of the Vistula channel, 4 — tributaries, 5 — flood banks, 6, 7 — hydrotechnic structures, 8 — symbols of river terraces

a mostem drogowym (ryc. 2) brzeg koryta kontaktuje się bezpośrednio ze zboczem Wysoczyzny Dobrzyńskiej, mającej maksymalne wysokości do 132 m npm. (Froehlich 1970). Na tym odcinku terasa zalewowa nie występuje. Prawobrzeżna terasa zalewowa pojawia się dopiero około 4,5 km w dół od zapory. Na długości około 0,8 km, aż do portu zimowego, jest ona ograniczona wałem przeciwpowodziowym (ryc. 2). Mimo tego część terasy, która znajduje się poza wałem, ulega zalewom (woda infiltracyjna) w okresie stanów powodziowych (fot. 1). Dalszy odcinek terasy zalewowej, aż do końca badanego obszaru ma wysokość 48—49 m npm. i szerokość około 0,3 km. Spadek powierzchni terasy równy jest spadkowi zwierciadła wody i wynosi około 0,190‰. Podobnie jak terasa ko-



Ryc. 3. Niektóre charakterystyki koryta Wisły w profilu podłużnym poniżej zapory we Włocławku

1 — powierzchnie kęp, 2 — powierzchnie teras prawobrzeżnych, 3 — powierzchnia terasy lewobrzeżnej. Przebieg maksymalnych głębokości koryta: a — w dniu 28 VIII 1967 r., b — w dniu 23 XI 1972 r.; c — najniższy stan wody (NNW), d — średni wieloletni stan wody (SW), e — najwyższy stan wody (NWW), f — przebieg średniej ważonej średnicy ziarn piasku budującego dno koryta, g — przebieg wskaźnika obtoczenia ziarn piasku W_o

Some characteristics of the Vistula channel in the long profile below the water dam in Włocławek

1 — surface of islands, 2 — surface of right-bank terraces, 3 — surface of left-bank terrace. Representation of the maximum depth of the channel: a — on Aug. 28th, 1967, b — on Nov. 23rd, 1972; c — lowest water level (NNW), d — many years' mean water level (SW), e — highest water level (NWW), f — differences in average weighed diameter of sand grains constituting the channel bottom, g — differences in index of bouldering of sand grains W_o

rabnicka, w profilu prostopadłym do biegu Wisły, powierzchnia terasy zalewowej obniża się w kierunku poziomu IV do wysokości 47 m npm.

Najniższa część doliny zajmowana jest przez koryto Wisły. Przebiega ono asymetrycznie do niemal równoległych zboczy wysoczyzn, oddalonych od siebie od 7 do 12 km. Dno koryta na badanym odcinku znajduje się na wysokości około 40 m npm. (ryc. 3). Różnica wysokości pomiędzy nim a powierzchnią wysoczyzny dochodzi do 90 m. Deniwelacje natomiast pomiędzy powierzchnią terasy zalewowej a maksymalnymi głębokościami koryta w płaszcach przekraczają 18 m.

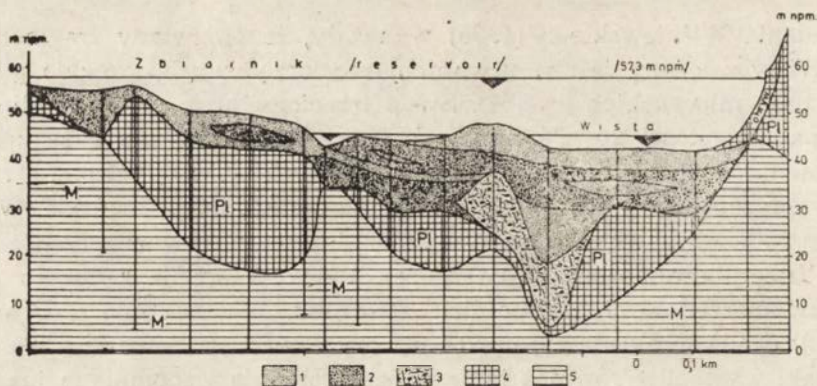
Badania Wiśniewskiego (1976) wykazały, że omawiany fragment doliny Wisły założony jest w utworach trzeciorzędowych, głównie plioceńskich oraz miocieńskich (ryc. 4). Strop trzeciorzędu w obrębie doliny zalega na głębokości 20—35 npm., chociaż spotyka się tu także znaczne zagłębienia o charakterze kotłów eworsyjnych do 10 m npm. Trzeciorząd reprezentowany jest przede wszystkim przez ły plioceńskie. W wielu przypadkach zawierają one wkładki piasków różnoziarnistych z przewagą frakcji drobnoziarnistej (Fąferek 1960). W strefie zaburzeń utworów trzeciorzędowych, w pobliżu zbiornika, bezpośrednio z utworami miocieńskimi kontaktują się często utwory czwartorzędowe (ryc. 4). Kontakt taki występuje również tam, gdzie występują wspomniane już przegłębienia w stropie utworów trzeciorzędowych. Utwory miocieńskie reprezentowane są głównie przez piaski drobno- i średnioziarniste oraz mułki z przewarstwieniami węgla brunatnego.



Fot. 1. Zalewana podczas powodzi pozawałowa część terasy zalewowej okolic mostu drogowego we Włocławku

Flooded non-rampart part of the flood terrace in the vicinity of the bridge in Włocławek

Osady czwartorzędowe to przede wszystkim piaski o różnym składzie mechanicznym oraz żwiry i głazy. Wyjątek stanowią tu: powierzchnia terasy zalewowej i wyższych poziomów oraz przegłębienia doliny kopalnej, które wypełnione są gliną morenową (ryc. 4). Utwory piaszczyste,



Ryc. 4. Profil geologiczny przez dolinę Wisły na linii zapory, według Faferka (1960) — uproszczony:

1 — piasek drobnoziarnisty, 2 — piasek różnoziarnisty, 3 — glina, 4 — pliocen, 5 — miocen

Cross-section across the Vistula river valley along the line of the water dam according to Faferka (1960) — simplified version

1 — fine-grained sand, 2 — heterogranular sand, 3 — till, 4 — Pliocene, 5 — Miocene

wysięlające na badanym obszarze dno doliny, osiągają miąższość do 40 m (ryc. 4). Pod względem składu mechanicznego, można wyróżnić ogólnie trzy serie piasków. Dolna, na którą składa się kompleks piasków drobno- i średnioziarnistych, zajmuje obszary przegłębienia doliny. Na niej, lub niekiedy na glinie albo ile pliocenijskim, zalega piasek różnoziarnisty ze żwirem i głazikami (ryc. 4). Duże zróżnicowanie wielkości ziarn piasku tej serii mogłoby świadczyć o tym, że są to osady rzeki dzięki (Falkowski 1970) lub inaczej roztokowej (Gradziński 1973). Seria ta, o miąższości około 10 m, wysięla w nielicznych przypadkach dno koryta współczesnej rzeki. Górną serię osadów reprezentują piaski średnio- i drobnoziarniste (ryc. 4), które przed wybudowaniem zapory stanowiły główną masę powierzchniowych utworów dna koryta. Obecnie ich udział maleje na korzyść piasków różnoziarnistych serii niższej. Świadczy to o stałym pogłębianiu się dna koryta badanego odcinka. Współczesna rzeka ma w dnie przegłębienia (płosa) i kotły eworsyjne do 8 m głębokie. Miąższość górnej serii piasków drobno- i średnioziarnistych wynosi także około 8 m (ryc. 4). Przy stałym obniżaniu się dna koryta poniżej zapory wzrasta więc prawdopodobieństwo udziału niższej serii w procesach korytowych.

Od tego ogólnego schematu budowy geologicznej dna doliny odbiegają niektóre górne fragmenty terasy zalewowej i terasa VI. Powierzchnię tej ostatniej buduje piaszczysta pokrywa o miąższości 0,2—0,4 m, pod którą zalega glina leżąca niekiedy na utworach trzeciorzędowych. Terasa zalewowa zbudowana jest natomiast z mady mułkowej z przewarstwieniami piasków.

Odmienną budową geologiczną cechuje się Wysoczyzna Dobrzyńska. W strefie przyzaporowej, na odcinku około 2 km, rzeka podcina wysoczyznę morenową zbudowaną z glin przewarstwionych utworami piaszczystymi. Na skutek intensywnych procesów zboczowych, utwory te w postaci koluwiów dostają się do koryta Wisły. Dostarczone są również na tym odcinku utwory starszych formacji geologicznych, a mianowicie plioceńskich i mioceńskich (ryc. 4).

Reasumując należy stwierdzić, że koryto Wisły założone jest głównie w piaskach drobno- i średnioziarnistych. Jedynie w nielicznych przypadkach kontaktuje się z gliną morenową, madami lub utworami starszych formacji geologicznych.

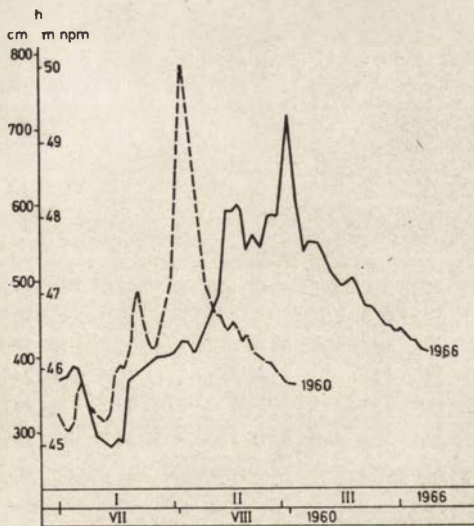
III. WYBRANE ELEMENTY REŻIMU HYDROLOGICZNEGO WISŁY W PROFILACH WODOWSKAZOWYCH. ZAPORA I WŁOCLÁWEK

Zjawiska hydrologiczne opracowano na podstawie danych z punktu obserwacyjnego IMGW we Włocławku. Składają się na nie pomiary stanów wody z godziny 7⁰⁰, jak też pomiary objętości przepływów. Po okresie piętrzenia zbiornika włocławskiego jednorazowy pomiar w ciągu doby okazał się niewystarczający ze względu na znaczne dobowe wahania zwierciadła wody spowodowane nierównomiernym upustem wód ze zbiornika. W związku z tym, poza danymi z godz. 7⁰⁰ służącymi jako wielkości porównawcze, od stycznia 1971 r. wykorzystano dane z punktu obserwacyjnego na zaporze, gdzie dokonuje się cegodzinnych pomiarów zwierciadła wody zbiornika i rzeki poniżej zapory.

Celem uchwycenia zmian hydrologicznych w profilu Włocławek, wywołanych pracą hydroelektrowni, zainstalowano w porcie zimowym (na wysokości łaty wodowskazowej IMGW) limnigraf LPU-10. Ze względu jednak na ograniczone możliwości rejestracji (zalewanie limnigrafu w okresie wysokich stanów Wisły oraz zamarzanie w zimie), nie otrzymano ciągłego zapisu stanów wody.

STANY WODY

Roczny cykl hydrologiczny rzeki Wisły w rozpatrywanym okresie (lata hydrologiczne 1956—1975) charakteryzował się jednym (wiosna) lub dwoma (wiosna, lato) wezbrzeniami wody i niżówkami podczas lata oraz na przełomie jesieni i zimy. Typowe przebiegi wezbrań wiosennego i letniego przedstawiono na rycinie 5. Fale powodziowe okresu wiosennego są najczęściej długotrwałe i mają kilka kulminacji. Fakt ten w istotny sposób wpływa na rozwój procesów korytowych łóżyska rzeki. Dłuższy zalew powodziowy skraca okres wegetacji, zmniejszając tym samym odporność obszarów zalewanych na działalność erozyjną wód. Tymczasem letnie fale powodziowe pochodzą z opadów deszczu i są krótkotrwałe. Ich wysokość w profilu wodowskazu Włocławek dochodzi do 7—8 m, a kulminacje osiągają rzędne 49—50 m npm. W efekcie następuje zalanie kęp i wąskiej terasy zalewowej (ryc. 3). Maksymalna fala powo-



Ryc. 5. Przebiegi fal powodziowych na rzece Wiśle w profilu wodowskazu Włocławek podczas lata 1960 r. i wiosną 1966 r. (wg danych IMGW)

Fig. 5. Representation of flood waves on the Vistula river in the profile of Włocławek water gauge during the summer of 1960 and in spring 1966. According to the Institute of Meteorology and Water Management's data

dziowa w bieżącym stuleciu wystąpiła 30 III 1924 r. (838 m, 50,66 m npm.). Amplituda wahań zwierciadła wody między kulminacją fali a okresem przed i po wezbraniu wynosi 3—5 m, rzadko osiąga 6 m.

W cyklu wieloletnim, w okresie lat wilgotnych, średnie roczne stany wody mieszczą się w granicach 370—395 cm (45,87—46,12 m npm.), natomiast w latach suchych 317—328 cm (tab. 1; ryc. 6). O ile pięciolecia 1956—1960 i 1961—1965 charakteryzowały się podobnymi stanami wody (346—342 cm), które to wartości można przyjąć za średnie wieloletnie stany wody dla punktu obserwacyjnego we Włocławku, o tyle lata 1966—1970 były wilgotniejsze, ze stanami wyższymi o 20 cm. Od tych wartości znacznie odbiegają dane z okresu po spiętrzeniu (1971—1975), kiedy to ekstremalne wartości średnich miesięcznych stanów wody obniżyły się odpowiednio do 531 cm i 223 cm, średnie roczne zaś do 298 cm (tab. 1; ryc. 6). Obniżenie wartości średnich rocznych stanów wody w ostatnich latach o około 60—80 cm jest wynikiem bezpośredniego i pośredniego oddziaływania zapory. W pierwszym przypadku dotyczy to zmian procesów korytowych rzeki Wisły, w drugim zaś jest wynikiem przypadkowości jednorazowego w ciągu doby pomiaru stanów wody (pomiarzy z godziny 7⁰⁰ mieszczą się w okresie niżówki dobowej). Dopiero średnia wartość z lat hydrologicznych 1971—1974 — obliczona z cogo-dzinnych stanów wody poniżej zapory, zredukowana do wysokości mostu drogowego (4,6 km poniżej zbiornika) na podstawie związków wodowska-

Tabela 1

Średnie miesięczne i roczne stany wody (cm), średnie roczne przepływy Wisły (m^3/s) w profilu wodowskazu Włocławek (wg danych IMGW z godz.7⁰⁰)

Lata hydrologiczne	miesiące												Rok	m^3 Q/s
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
1955-56	309	350	363	365	415	504	375	295	323	284	291	312	349	869,7
1956-57	309	390	390	437	405	352	351	290	278	295	303	327	344	837,9
1957-58	299	321	309	464	409	591	424	323	373	304	290	338	370	1010,0
1958-59	346	340	346	332	411	334	298	291	307	313	246	240	317	676,8
1959-60	249	274	314	374	411	353	327	326	385	478	355	331	348	863,3
1955-60	302	335	344	394	410	427	355	305	333	335	297	310	346	851,0
1960-61	371	405	342	386	379	363	308	300	267	310	264	248	328	740,2
1961-62	277	301	350	332	388	536	454	520	376	324	296	301	371	1017,0
1962-63	297	321	335	314	411	457	368	298	243	231	356	289	318	682,4
1963-64	293	303	314	322	327	575	366	300	279	259	256	274	322	705,3
1964-65	299	353	322	333	486	450	389	436	369	365	350	304	371	1017,0
1960-65	307	337	333	337	398	476	377	371	307	298	284	283	342	832,0
1965-66	276	372	353	513	517	421	353	366	384	383	342	298	381	1087,8
1966-67	269	441	367	476	577	457	453	413	334	291	280	286	395	1191,2
1967-68	291	307	414	421	423	418	354	363	296	347	326	347	359	935,1
1968-69	341	361	354	355	353	448	370	329	329	265	273	238	334	683,0
1969-70	237	258	308	316	356	570	443	374	368	340	278	267	342	731,7
1965-70	303	348	359	416	445	463	395	369	342	325	300	287	362	925,8
1970-71	341	385	302	456	400	376	292	276	277	239	233	236	324	838,8
1971-72	237	247	259	269	250	255	268	247	261	301	298	275	318	800,1
1972-73	271	268	235	289	334	298	253	252	305	286	223	225	321	819,4
1973-74	234	230	285	340	268	233	238	358	339	286	244	450	339	938,5
1974-75	531	457	497	329	301	363	325	291	308	303	236	244	—	—
1970-75	323	317	316	337	311	305	275	285	298	283	247	286	*	*

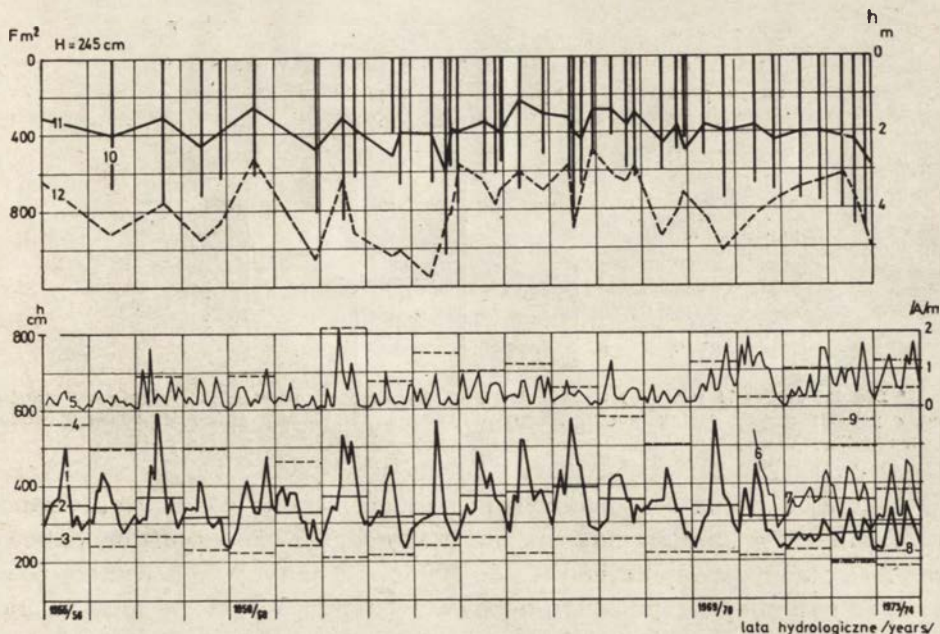
* Stany wody i przepływy obliczone z obserwacji cegodzinnych poniżej zapory (dolna woda) zredukowane do wysokości mostu drogowego we Włocławku (wodowskaz IMGW — 4,6 km poniżej zapory)

Stany maksymalne i minimalne wyróżniono pismem półgrubym.

zów — pozwala sądzić, że zwierciadło wody w rzece obniżyło się w stosunku do ubiegłych pięcioleci tylko o 20—40 cm (tab. 2).

O ile średni stan wody z wielolecia 1971—1974 zmalał w porównaniu do okresów poprzednich średnio o 24 cm, a średnia niska woda (SNW) o 75 cm, o tyle średnia wysoka woda (SWW) wzrosła aż o 69 cm (tab. 2). Jest to niewątpliwie związane z dobowym cyklem hydrologicznym rzeki, będącym funkcją pracy elektrowni.

Istotnymi czynnikami oddziałującymi na procesy korytowe są częste i znaczne amplitudy wahań stanów wody w ciągu miesiąca, a przede wszystkim w ciągu doby. Zarówno przed, jak i po wybudowaniu zapory



Ryc. 6. Niektóre charakterystyki hydrologiczno-morfometryczne koryta Wisły w profilu wodowskazu Włocławek i dla wodowskazu poniżej zapory (6—9)

1 — średnie miesięczne stany wody, 2 — średnie roczne stany wody, 3 — minimalne roczne stany wody, 4 — maksymalne roczne stany wody, 5 — miesięczne amplitudy wahań stanów wody, 6—9 — jak 1—4, 10 — powierzchnie przekrojów poprzecznych koryta (Fm^2) przy stanie wody $H = 245$ cm, 11 — średnie głębokości koryta (m) mierzone od $H = 245$ cm, 12 — maksymalne głębokości koryta (m). Według danych z pomiarów przepływów wykonanych przez IMGW

Some hydrologico-morphometric characteristics of the Vistula channel in the profile of Włocławek water gauge and for "tail water" gauge below the water dam (6—9)

1 — mean monthly water levels, 2 — mean annual water levels, 3 — minimum annual water levels, 4 — maximum annual water levels, 5 — monthly amplitudes of water level oscillations, 6—9 — as in 1—4, 10 — areas of cross-sections of the channel (Fm^2) at the water level $H = 245$ cm, 11 — mean depths of the channel (m) measured from $H = 245$ cm, 12 — maximum depths of the channel (m). According to data from measurements of flows carried out by the Institute of Meteorology and Water Management

miesięczne amplitudy stanów wody miały zbliżone wartości (obserwacje z godziny 7⁰⁰) i wynosiły od 221 do 598 cm (tab. 3; ryc. 6). Aby zobrazować rzeczywiste miesięczne amplitudy stanów wody po wybudowaniu zapory wykorzystano cegodzinne obserwacje poniżej zbiornika. Wynika z nich, że amplitudy osiągają 470 cm, natomiast przy moście drogowym (z limnigramów) dochodzą do 430 cm. Nieco inaczej przedstawia się sytuacja w zakresie amplitud dobowych, które są uwarunkowane pracą elektrowni i dochodzą do 2,5 m (ryc. 6, 7). Lata 1968—1969, ze względu na okres piętrzenia zbiornika, charakteryzowały się mniejszymi amplitudami dobowymi — do 50 cm. W okresie poprzedzającym piętrzenie zbiornika amplitudy nie przekraczały 1 m. Jedynie w latach 1958 i 1962 były większe i osiągały wartości zbliżone do obecnych (ryc. 6).

Tabela 2

Średnia (SW), średnia niska (SNW) i średnia wysoka (SWW)
woda w poszczególnych pięcioleciach w profilu wodowskazu
Włocławek (cm)

Stany wody	Lata hydro- logiczne	1956—60	1961—65	1966—70	1971—74*
	SNW		303	302	313
SW		346	342	362	326
SWW		412	410	445	491

* Dla lat 1971—1974 stany SNW, SW i SWW obliczono z codziennych pomiarów stanów wody poniżej zapory (dolna woda), zredukowanych do wysokości mostu drogowego (wodowskaz IMGW)

Opierając się na codziennych pomiarach stanów wody poniżej zapory i danych z limnigramów można stwierdzić, że maksymalne dobowe wahania stanów wody dochodziły do 300 cm. Z danych tych wynika również, że najmniejsze amplitudy dobowe występują w okresie niskich oraz bardzo wysokich stanów wody, natomiast maksymalne w okresie stanów średnich (ryc. 7). Złagodzenie tych amplitud na odcinku od zapory do mostu drogowego wynosi około 40—50 cm. Z różnicy między średnimi dobowymi stanami wody pomiędzy zaporą (woda dolna) a mostem drogowym we Włocławku wynika, że amplitudy maleją do 35—40 cm w okresie obniżania się stanów wody, natomiast wzrastają do 60 cm i więcej w czasie wezbrania (ryc. 7). Mając na względzie wielkości maksymalnych dobowych i miesięcznych amplitud stanów wody oraz wysokości kęp i masywów brzeżnych (ryc. 3), należy sądzić, że powierzchnie tych form podlegają częstym i krótkotrwałym (nawet dobowym) zalewom, uwarunkowanym upustem wód ze zbiornika. Fakt ten ma duże znaczenie w kształtowaniu się procesów korytowych na tych obszarach.

CZĘSTOŚĆ I CZAS TRWANIA STANÓW WODY

Istotne znaczenie praktyczne, np. przy regulacji rzek i projektowaniu budowli wodnych, ma określenie częstości i czasu trwania stanów wody. Zjawiska te z konieczności przedstawiono na podstawie danych z codziennych pomiarów stanów wody z godziny 7⁰⁰, chociaż nie są one reprezentatywne dla okresu po spiętrzeniu z uwagi na znaczne dobowe amplitudy stanów wody.

Największą częstość stanów wody w pięcioleciach 1956—1960 i 1961—1965 zanotowano w przedziale stanów 301—325 cm i wynosiła ona odpowiednio 74,4 i 66,8 dnia na rok (ryc. 8; tab. 4).

Sytuacja zmienia się w następnych pięcioleciach. W okresie 1966—1970 maksymalna częstość stanów wody przesunęła się w dół do prze-

Tabela 3

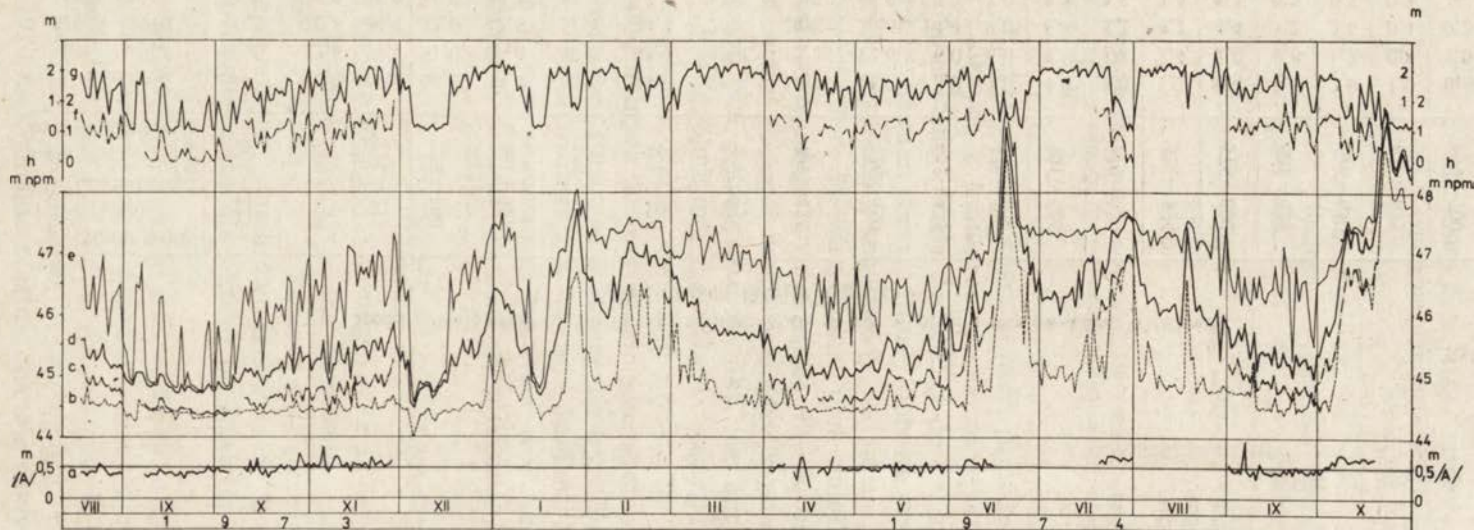
Ekstremalne stany wody Wisły w profilu wodowskazu Włocławek (wg danych IMGW z godz. 7⁰⁰)
(cm)

Lata hydrologiczne	Stany wody (cm)																			
	1955-56	1956-57	1957-58	1958-59	1959-60	1960-61	1961-62	1962-63	1963-64	1964-65	1965-66	1966-67	1967-68	1968-69	1969-70	1970-71	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75
Maksymalne	563	500	691	503	790	467	812	675	749	701	721	658	580	506	722	630	630	502	656	642
Minimalne	268	241	270	237	228	246	214	218	241	268	222	259	260	226	223	213	230	200	185	216
Amplitudy	295	259	421	266	562	221	598	457	508	433	499	399	320	280	499	417	400	302	471	426

Tabela 4

Średnie wieloletnie częstotliwości stanów wody Wisły w profilu wodowskazu Włocławek
(wg danych IMGW z godz. 7⁰⁰)

Lata hydrologiczne	Stany wody (cm)																				
	201-225	226-250	251-275	276-300	301-325	326-350	351-375	376-400	401-425	426-450	451-475	476-500	501-525	526-550	551-575	576-600	601-625	626-650	651-675	676-700	701-800
1956-1960	—	16,6	19,6	60,2	74,4	65,6	41,0	26,6	16,4	15,0	8,8	7,0	4,0	3,0	1,2	0,4	1,6	2,0	1,0	0,6	0,4
1961-1965	3,0	22,8	34,4	51,0	66,8	49,4	35,6	32,8	15,2	12,6	6,0	6,0	3,8	3,8	3,4	2,0	1,6	1,2	0,8	1,0	2,2
1966-1970	0,6	20,8	24,4	52,0	42,6	51,4	44,4	26,8	24,8	26,6	14,4	9,0	6,8	5,2	4,2	4,4	3,2	2,6	0,4	0,2	0,2
1971-1974	20,0	125,0	95,0	41,8	18,2	13,0	8,2	7,5	7,0	11,8	5,7	3,0	1,2	2,5	2,5	1,2	0,2	0,5	0,8	—	—

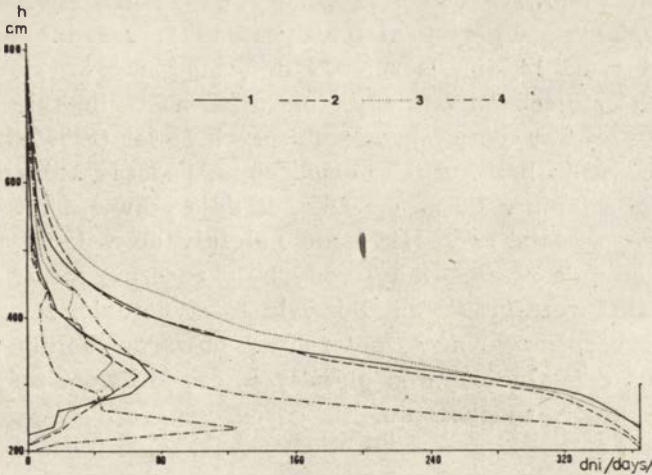


Ryc. 7. Przebieg stanów wody Wisły w okresie od VIII 1973 r. do X 1974 r. na wodowskazach: dolna woda poniżej zapory oraz w profilu wodowskazu Włocławek

a — spad zwierciadła wody na odcinku zapora-wodowskaz Włocławek (wg danych limnigraficznych), b — stany wody we Włocławku z godz. 7⁰⁰, c — średnie dobowe stany wody obliczone na podstawie limnigramów, d — średnie dobowe stany wody poniżej zapory obliczone z danych cogodzinnych, e — maksymalne stany wody poniżej zapory, f — dobowe amplitudy wahań stanów wody obliczone z limnigramów, g — dobowe amplitudy stanów wody poniżej zapory

Representation of the Vistula river water levels according to the gauges: tail water below the dam and in the profile of Włocławek water gauge in the period from August, 1973 to October, 1974

a — head of water table in the section: water dam — Włocławek water gauge (according to limnigraph data), b — water levels in Włocławek at 7 a.m., c — mean twenty-four hours' water levels calculated from limnigraphs, d — mean twenty-four hours' water levels below the water dam calculated from the data collected every hour, e — maximum water levels below the water dam, f — twenty-four hours' amplitudes of water level oscillations calculated from limnigraphs, g — twenty-four hours' amplitudes of water level oscillations below the water dam.



Ryc. 8. Częstotliwość i czas trwania stanów wody na Wiśle w profilu wodowskazu Włocławek wg danych z godz. 7⁰⁰ (średnie wieloletnie) dla lat hydrologicznych:

1 — 1956—1960, 2 — 1961—1965, 3 — 1966—1970, 4 — 1971—1974

Frequency and length of time of water levels on the Vistula river in the profile of Włocławek water gauge according to data from 7 a.m. (many years, means) for the hydrological years:

1 — 1956—1960, 2 — 1961—1965, 3 — 1966—1970, 4 — 1971—1974

działu stanów 276—300 cm (średnio 52 dni w ciągu roku), a w latach 1971—1974 spadła do przedziału 226—250 cm (średnio 125 dni/rok). To obniżenie się przedziałów stanów wody z najczęściej trwającymi stanami, zwłaszcza w ostatnim okresie po spiętrzeniu, jest związane przede wszystkim z odczytywaniem wodowskazu w stadium niżówkowego cyklu dobowego. Wysokie stany wody, mieszczące się w przedziale 751—800 cm, notowane są sporadycznie. W rozpatrywanym okresie stany te występowały tylko przez 2 dni w 1960 i 1962 r. W późniejszym okresie, a zwłaszcza w trakcie napełniania zbiornika, liczba dni ze stanami wysokimi (NWW) zmalała na rzecz stanów niższych.

W kształtowaniu procesów rzecznych duży wpływ mają nie tylko sporadycznie występujące kulminacje fal powodziowych o wyżej podanych wartościach, lecz przede wszystkim częstość i czas trwania tych stanów, podczas których następuje zalewanie terasy zalewowej. Zarówno lewo-, jak i prawobrzeżna terasa zalewowa jest zalewana już przez fale powodziowe o wysokości 6 m, tj. powyżej rzędnej 48 m npm. Stany wody o wysokości powyżej 6 m trwały w latach 1956—1960 — 5,6 dnia, 1961—1965 — 6,8 dnia, 1966—1970 — 6,6 dnia, łącznie 19 dni (tab. 4). Średnio więc w ciągu roku, w latach 1956—1970, terasa zalewowa znajdowała się pod wodą przez 1,3 dnia. Nieco inaczej przedstawiała się sytuacja w ostatnim analizowanym okresie, tzn. w latach 1971—1974.

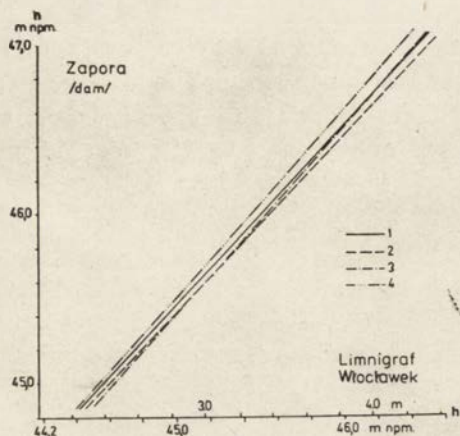
Z danych wodowskazowych z zapory od strony tzw. dolnej wody wynika, że stany powyżej 6 m trwały w 1971 r. 2 dni, w 1972 r. — 3 dni i 1974 r. aż 14 dni, łącznie 19 dni. Stąd nasuwa się wniosek, że w ciągu tych czterech lat istnienia zbiornika, nastąpiło tyle samo dni ze stanami powyżej 6 m, co w okresie ubiegłych 15 lat (1956—1970). Zwiększa to jednocześnie liczbę dni w ciągu roku, podczas których terasa zalewowa ulega zalaniu z 1,3 na 4,8 dnia, co daje prawie 3,7-krotny wzrost. Należy dodać, że lata 1971—1974 nie należały do wilgotnych, a wręcz przeciwnie, średnie roczne stany wody były znacznie niższe w porównaniu z okresami wcześniejszymi. Pozwala to stwierdzić, że wybudowanie zapory nie zabezpieczyło nisko położonych obszarów doliny Wisły przed niszczycielską działalnością wód płynących, częstotliwość zaś i czas trwania zalewów uległy zwiększeniu.

ZWIĄZKI WODOWSKAZOWE

Związki korelacyjne określono między wodowskazem IMGW we Włocławku a wodowskazem rejestrującym stany wody poniżej zapory. Pozwoliły one m.in. wyznaczyć rzeczywiste dobowe stany wody w profilu Włocławek. W przypadku, gdy proste regresji z różnych okresów czasu nie pokrywały się, to fakt ten należało wiązać ze zmianami stanu dna koryta rzeki (Kiciński i in. 1974).

Określenie zmian stanów dna koryta, jak też ustalenie spadków zwierciadła wody między analizowanymi punktami obserwacyjnymi stało się możliwe dzięki wyznaczeniu związków wodowskazów z pomiarów stanów o godzinach 6⁰⁰ (zapora) i 7⁰⁰ (wodowskaz Włocławek), (ryc. 9). Jednogodzinne opóźnienie w pomiarze stanów wody we Włocławku w stosunku do zapory wynika z prędkości przemieszczania się fali między tymi posterunkami. Z równań prostych regresji obliczono, że współczynnik korelacji liniowej r dla analizowanych trzech lat hydrologicznych wynosi odpowiednio 0,970, 0,971 i 0,999. Średni błąd oszacowania funkcji, określający przeciętne odchylenie punktów pochodzących z obserwacji od wyrównanej prostej regresji b w kierunku osi Y , $b_{y/x}$ wynosi odpowiednio 4,60 cm, 4,06 cm i 3,33 cm, w kierunku zaś osi X , $b_{x/y}$ — 4,60 cm, 3,63 cm i 3,03 cm. Wszystkie te dane wskazują na to, że istnieje bardzo silny związek między stanami wody z zapory o godzinie 6⁰⁰ a stanami na wodowskazie Włocławek o godzinie 7⁰⁰. Można więc przyjąć, że rozrzut prostych regresji z trzech ostatnich lat hydrologicznych wynikał z różnicy stanów dna koryta rzeki. Prosta regresji dla roku hydrologicznego 1972—1973 (II) jest przesunięta niemal równolegle w stosunku do prostej dla okresu XI 1971—X 1972 r. (I), (ryc. 9). Zdaniem Kicińskiego i in. (1974) może to być wynikiem zmiany zera podziałki lub zmiany lokalizacji jednego z wodowskazów, co w badanym przypadku nie nastąpiło. Zjawisko to należy wiązać z ogólnym podniesieniem się dna koryta Wisły w sąsiedztwie mostu drogowego. Przyczyniło się to do

zmniejszenia spadku zwierciadła wody z 0,44 do 0,40 m w strefie stanów wysokich. Sytuację odpowiadającą zmianie stanu koryta rzeki obrazuje prosta regresji związku wodowskazów dla roku hydrologicznego 1973/74 (III) i prosta regresji II (ryc. 9). Odchylenie tych prostych wskazuje, że



Ryc. 9. Związki wodowskazów: zapora (dolna woda o godz. 6⁰⁰) — Włocławek (godz. 7⁰⁰) dla lat hydrologicznych:

1 — 1971—1972, 2 — 1972—1973, 3 — 1973—1974; 4 — zapora-limnigraf Włocławek (średnie pentadowe dla roku hydrologicznego 1973—1974)

Connections of water gauges: water dam (tail water at 6 a.m.) — Włocławek (at 7 a.m.) for the hydrological years:

1 — 1971—1972, 2 — 1972—1973, 3 — 1973—1974; 4 — water dam — Włocławek limnigraph (pentad means for the hydrological year 1973—1974)

w strefie stanów niskich nastąpiło zmniejszenie się spadku zwierciadła wody tylko o 3 cm, natomiast w strefie stanów wysokich zwiększenie spadku zwierciadła o około 10 cm. Należy sądzić, że w strefie stanów średnich i wysokich nastąpiły zmiany w przekroju poprzecznym koryta poprzez jego pogłębienie się.

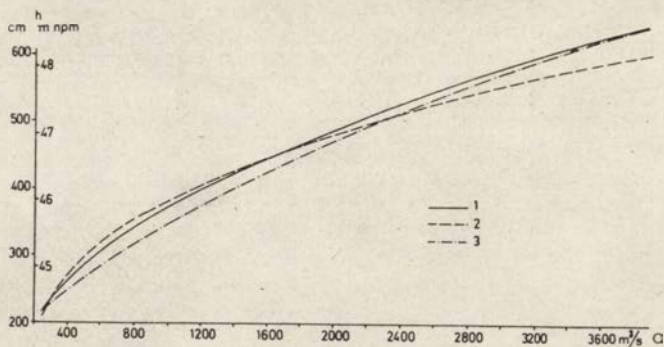
W celu wyznaczenia spadku zwierciadła wody na badanym odcinku wykreślono prostą regresji związków wodowskazów zapora (codzienne obserwacje) — limnigraf Włocławek. Pozwoliło to ponadto ustalić rzeczywiste średnie dobowe stany wody dla Wisły w profilu Włocławek.

Związek wodowskazów wyznaczono dla okresu od IX 1973 r. do X 1974 r. z wartości średnich pentadowych (ryc. 9). Współczynnik korelacji liniowej r tej prostej wynosił 0,998, dając tym samym związek niemal funkcyjny. Rzeczywista wartość współczynnika korelacji zawierała się w przedziale $0,995 < rg < 1$. Jak wynika z obliczeń, na podstawie prostej regresji, w strefie stanów niskich spadek zwierciadła wody między tymi wodowskazami wynosił około 0,44—0,45 m, w strefie zaś stanów wysokich 0,60 m — średnio 0,50 m. Na odległości około 4,6 km spadek zwierciadła wody I równał się 0,109‰. Dla porównania spadek zwierciad-

ła wody, obliczony dla dziesięciolecia 1956—1965, wynosił 0,189‰. Wskazuje to, że na badanym odcinku spadek ten zmniejszył się o 0,08‰, co jest niewątpliwie związane z oddziaływaniem zapory.

PRZEPLYWY WISŁY, KRZYWE KONSUMCYJNE

Do charakterystyki przepływów Wisły wykorzystano 86 pomiarów w profilu Włocławek wykonanych przez IMGW. Przekroje poprzeczne, w których dokonywano pomiarów przepływów, zostały usytuowane w odległości około 350 m w górę i w dół rzeki od wodowskazu.



Ryc. 10. Krzywe konsumpcyjne dla rzeki Wisły w profilu wodowskazu Włocławek dla okresów:

1 — 1955—1968, 2 — 1968—1970, 3 — 1971—1973

Consumption curves for the Vistula river in the profile of Włocławek water gauge for the periods:

1 — 1955—1968, 2 — 1968—1970, 3 — 1971—1973

W okresie poprzedzającym piętrzenie zbiornika, tzn. od 25 VI 1955 r. do 31 VIII 1968 r.², zostało wykonanych 57 pomiarów przepływów. Minimalny przepływ wynosił 268 m³/s przy stanie wody 228 cm (27 VII 1963 r.), natomiast maksymalny — 4169 m³/s, przy stanie 638 cm (14 VI 1962 r.). Równanie krzywej konsumpcyjnej dla tego okresu ma postać $Q = 128,573 - 2,17512 h + 0,012317 h^2$ (ryc. 10). Innymi parametrami charakteryzuje się krzywa regresji dla okresu napełniania zbiornika, trwającego od 11 X 1968 r. do 26 IX 1970 r. W tym okresie wykonano 15 pomiarów przepływów, głównie w strefie stanów niskich i średnich. Minimalny przepływ — 345 m³/s zanotowano przy stanie 244 cm (15 XI 1969 r.), maksymalny zaś — 2200 m³/s przy stanie 490 cm (3 V 1970 r.). Brakuje natomiast pomiarów przepływów w strefie stanów wysokich. Fakt ten spowodował, że przebieg krzywej konsumpcyjnej w tej strefie obarczony jest dużym błędem i znacznie odbiega od pozostałych krzywych. Nie można więc tego odchylenia wiązać ze zmianami koryta, w przeciwieństwie do sytuacji przy stanach niskich i średnich. Równa-

² Przy podziale na trzy okresy wzięto pod uwagę termin pomiarów przepływów z uwzględnieniem etapów działalności zapory we Włocławku.

nie krzywej konsumpcyjnej (II) dla okresu napełniania zbiornika ma postać $Q = 1164,59 - 8,79999 h + 0,02203 h^2$ (ryc. 10). Z porównania krzywych I i II wynika, że w strefie stanów średnich, od $h = 250$ cm do 450 cm, nastąpiło zmniejszenie przepływów. I tak, przy stanie wody 350 cm przepływ zmniejszył się o $93 \text{ m}^3/\text{s}$, a przy 400 cm o $58 \text{ m}^3/\text{s}$. Należy przypuszczać, że zmiany te są efektem akumulacji materiału w strefie stanów średnich, pochodzącego z erozji dna rzeki poniżej zapory, względnie z erozji bocznej kępy i odsypów brzegowych. W drugim przypadku wzrost erozji bocznej mógł być efektem zmian warunków hydraulicznych koryta (przemieszczenie linii nurtu).

Dla ostatniego okresu, obejmującego lata 1971—1973, przebieg krzywej konsumpcyjnej III jeszcze bardziej różnił się od przebiegu krzywych I i II. Taki układ krzywych może być wynikiem ruchów dna koryta, w tym przypadku erozji (Kiciński i in. 1974). Równanie krzywej $Q = 323,368 + 0,664473 h + 0,00902 h^2$ wyznaczono z 14 pomiarów przepływów zawartych w strefie stanów 224—445 cm i odpowiadającym im przepływowi od $306 \text{ m}^3/\text{s}$ do $1843 \text{ m}^3/\text{s}$. O ile w przypadku różnic między przebiegiem krzywych I i II nastąpiło przesunięcie w kierunku zmniejszenia przepływów (przy tych samych stanach), to w ostatnim okresie nastąpił wzrost przepływów. Z różnicy przebiegu krzywych II i III wynika, że przy stanie wody $h = 250$ cm przepływ wzrósł o $65 \text{ m}^3/\text{s}$, przy stanie 300 cm o $180 \text{ m}^3/\text{s}$, a przy $h = 400$ cm aż o $236 \text{ m}^3/\text{s}$ itd. Należy więc sądzić, że wzrost przepływów przy tych samych stanach wody jest wynikiem ogólnego pogłębienia przekroju poprzecznego koryta na wysokości wodowskazu IMGW. Połączenie się krzywych I i III w strefie stanów wysokich świadczy o tym, że zmiany te dotyczą wyłącznie koryta rzeki, nie zaś obszarów położonych wyżej.

Na podstawie równań krzywych konsumpcyjnych i średnich rocznych stanów wody obliczono średnie roczne przepływy rzeki Wisły w profilu wodowskazu Włocławek (tab. 1). Przepływ dla ostatnich lat hydrologicznych obliczono na podstawie średnich dobowych stanów wody poniżej zapory, zredukowanych do wodowskazu Włocławek (na podstawie równań prostych regresji związku wodowskazów — ryc. 9). Dzięki tym obliczeniom średnie roczne wielkości przepływów z lat 1971—1974 stały się porównywalne z okresami poprzednimi.

Jak wynika z tabeli 1 średnie roczne przepływy wahały się od $676,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (1959 r.) do $1191,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (1967 r.), średnie zaś dla okresów wieloletnich wynosiły: 1956—1960 — $851 \text{ m}^3/\text{s}$, 1961—1965 — $832 \text{ m}^3/\text{s}$, 1966—1970 — $926 \text{ m}^3/\text{s}$ i 1971—1974 — $850 \text{ m}^3/\text{s}$. Maksymalny przepływ, jaki obliczono z krzywej konsumpcyjnej dla stanu 812 cm (VI 1962 r.), wynosił według IMGW $6950 \text{ m}^3/\text{s}$, a według autora $6484 \text{ m}^3/\text{s}$. Zarówno w przypadku tej wielkości, jak również średnich rocznych i wieloletnich przepływów wyniki otrzymane przez autora są nieco niższe w stosunku do wartości obliczonych przez IMGW (tab. 1).

Wykorzystując wyniki obliczeń związków wodowskazów i krzywych

konsumcyjnych skonstruowano krzywą, podobną do sinusoidy, natężenia erozji i akumulacji w profilu wodowskazu Włocławek (ryc. 11). Dla początkowego okresu badań, tzn. dla lat hydrologicznych 1956—1968, nie dysponowano tak bogatym materiałem obserwacyjnym, jak po wybudowaniu zapory. Dlatego też, mając na względzie niewielkie różnice



Ryc. 11. Względne natężenie erozji i akumulacji w korycie Wisły w strefie profilu wodowskazu Włocławek

Relative increase of erosion and accumulation in the Vistula channel in the zone of the profile of Włocławek water gauge

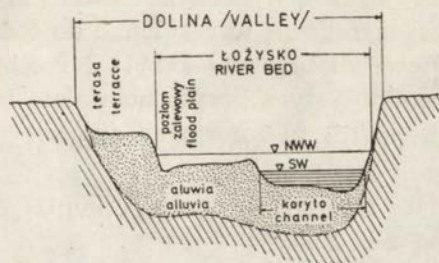
w średnich wieloletnich stanach wody, przyjęto ten okres za względnie stabilny, w którym bilans rumowiska wleczonego równy był zeru. W następnych dwóch latach hydrologicznych 1968—1970 nastąpił wzrost akumulacji spowodowany najprawdopodobniej nagromadzeniem się osadów wyerodowanych z dna rzeki poniżej zapory. Zwrot w kierunku intensywnego rozwoju procesu erozji dna rzeki w profilu wodowskazu Włocławek zaznaczył się już na przełomie 1969/70 r., aby na przełomie lat hydrologicznych 1970/71 i 1971/72 osiągnąć swe maksimum. W ostatnim analizowanym okresie dno Wisły w profilu wodowskazu Włocławek przejawiało tendencje względnej stabilizacji, przy czym nie osiągnęło ono położenia z okresu przed spiętrzeniem.

Z wyżej przedstawionej analizy hydrologicznej wynika, że po przegrodzeniu koryta Wisły zaporą nastąpiło zwiększenie dobowych wahań stanów wody oraz zmniejszenie spadku zwierciadła wody. W wyniku wzrostu dobowych wahań stanów wody, dochodzących do 3 m, nastąpił wzrost częstości zalewów kęp i terasy zalewowej. Fakt ten w istotny sposób wpłynął na zmiany tych form. Prócz tego częste i duże wahania stanów wody doprowadzają do wzrostu spadku zwierciadła wody, który na badanym odcinku dochodzi do 0,44‰.

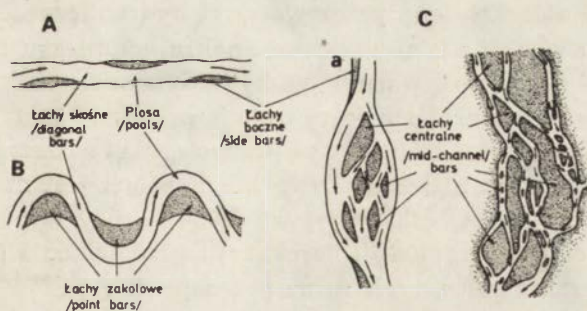
W efekcie następuje zwiększenie energii kinetycznej i potencjalnej wód, co prowadzi do przyspieszenia erozji dna koryta. W wyniku tego dno koryta, dostosowane do reżimu hydrologicznego Wisły z okresu przed wybudowaniem zapory, zaczęło przystosowywać się do nowych warunków hydrologicznych, typowych dla rzek roztokowych. Stabilizacja koryta nastąpić może wówczas, gdy dostosuje się ono do nowego reżimu hydrologicznego związanego z działalnością zapory.

IV. MORFOLOGIA KORYTA WISŁY

W polskiej literaturze geomorfologicznej i hydrologicznej pojęcie koryta rzecznego paralelizuje się często z określeniem „łożysko rzeki”. Wołoszyn (1974) wprawdzie na rysunku wyraźnie różnicuje te pojęcia (ryc. 12), lecz przy charakterystyce koryta stawia znak równości między korytem a łożyskiem rzeki. Inni autorzy określenia te zdecydowanie oddzielają (Dawydow i in. (1973); Pietkiewicz i Żmuda (1973); Dynowska i Tłałka (1976); Klimaszewski (1978)). Jako synonimu łożyska rzeki Piet-



Ryc. 12. Charakterystyka koryta, łożyska i doliny rzeki wg Wołoszyna (1974)
Characteristics of the river channel, bed and valley according to Wołoszyn (1974)



Ryc. 13. Typy rzek wg Allena (1965)

A — rzeka prostopinijna, B — rzeka meandrująca, C — rzeka roztokowa (wg Gradzińskiego — 1973)

Types of rivers according to Allen (1965)

A — straight channel, B — meandering channel, C — braided channel, (according to Gradziński — 1973)

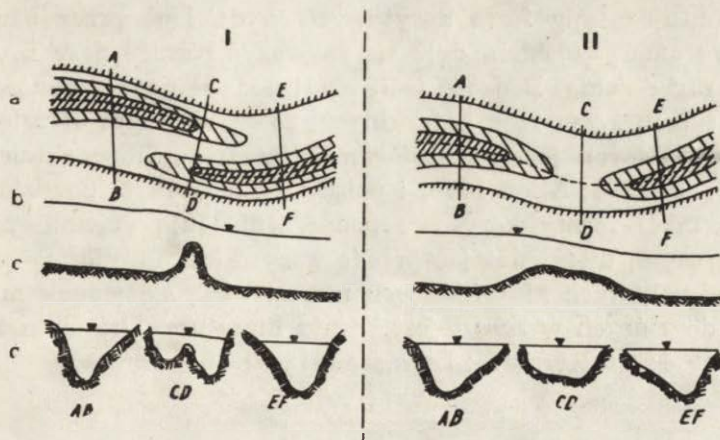
kiewicz i Żmuda (1973) używają terminu „koryto powodziowe”, natomiast Klimaszewski (1978) — obszar zalewany podczas powodzi. Takie sformułowanie wskazuje na podrzędność koryta w stosunku do łożyska rzeki, na które składa się również terasa zalewowa. Można więc przyjąć, że zasięg koryta ograniczony jest przebiegiem linii brzegowej przy zwierciadle wody nie wyższym jak średnia wysoka woda (SWW), najczęściej przy zwierciadle wody odpowiadającym średniej wodzie (SW), (ryc. 12). Tak pojmuje koryto rzeki również Allen (1965) i w takim też rozumieniu rozpatrywane jest ono w niniejszej pracy (ryc. 13).

Koryto Wisły na badanym 12 km odcinku, ze względu na ingerencję człowieka, zatraciło wiele cech typowych dla rzek naturalnych. Liczne prace hydrotechniczne dotyczące budowy zapory, muru kamiennego, wałów przeciwpowodziowych i ostróg, traktowane jako czynniki krępujące rzekę, stworzyły dogodne warunki do wytworzenia się koryta o tzw. wymuszonej erozji wgłębnej i ograniczonym meandrowaniu. Proces ten aczkolwiek dotyczący głównie makroformy, jaką jest koryto, nie zaś mezo- i mikroform, zaznaczył się dopiero od chwili pierwszych intensywnych prac regulacyjnych z wyraźnym nasileniem w ostatnim dziesięcioleciu. Prace te przyczyniły się w rezultacie do osłabienia wpływu wód rzecznych na kształtowanie brzegów koryta i rzeźby terasy zalewowej. Dlatego też przy charakterystyce koryta pominięto formy terasy zalewowej i skoncentrowano się na mezoformach dna koryta.

MEZOFORMY KORYTOWE

Mezoformy według GGI (Państwowy Instytut Hydrologiczny ZSRR), rozmiarami współmierne do wielkości koryta, wyrażają się zwykle dużymi pojedynczymi wałami piaszczysto-żwirowymi oraz odsypami brzegowymi (Kondratiew i Popow (1967), Antropowski (1969). Mezoformy cechuje duża stabilność określona przez warunki hydrauliczne cieków oraz bezwładność. W związku z tym wnikliwa analiza kompleksu tych form może prowadzić do określenia warunków hydrodynamicznych rzeki i na odwrót. Klasyfikacja mezoform korytowych przedstawiona przez GGI dotyczy wyłącznie form charakterystycznych dla poszczególnych typów koryt rzecznych i jest niepełna. Uzupełnieniem ich jest m. in. opis koryta przedstawiony przez Makkawiejewa (1955), który wyróżnia takie formy dna koryta, jak przemiały (pierekaty) i przegłębienia (plosa). Z kolei klasyfikację szczegółową tych form przedstawił Apołłow (1963), dzieląc przemiały na dobre (charoszyje) i złe (płochyje) w zależności od układu przegłębienia (ryc. 14). Należy przypuszczać, że na tym podziale opiera się również Jarocki (1957), który wyróżnia typy przemiałów z plosami odsuniętymi i zachodzącymi (ryc. 14). Zróżnicowanie tych form zależy głównie od ilości transportowanego materiału i, jak sugeruje Makkawiejew (1955), od rodzaju koryt rzecznych.

W literaturze radzieckiej jest wiele opracowań, w których autorzy



Ryc. 14. Typy łach skośnych-przemiałów wg Apołłowa (1963). Oznaczenia polskie wg Jarockiego (1957)

I — płochyje (z zachodzącymi płosami), *II* — kharoshiye (z odsuniętymi płosami); *a* — charakterystyka łach i plos w planie, *b* — zwierciadło wody, *c* — profil dna koryta, *d* — przekroje poprzeczne koryta w profilach AB, CD, EF

Types of diagonal bars-shoals according to Apołłow (1963). Polish symbols according to Jarocki (1957)

I — plokhiye (with overlapping pools), *II* — kharoshiye (with removed pools); *a* — characteristics of bars and pools in the plan, *b* — water table, *c* — profile of the channel bottom, *d* — cross-sections of the channel in the profiles AB, CD, EF

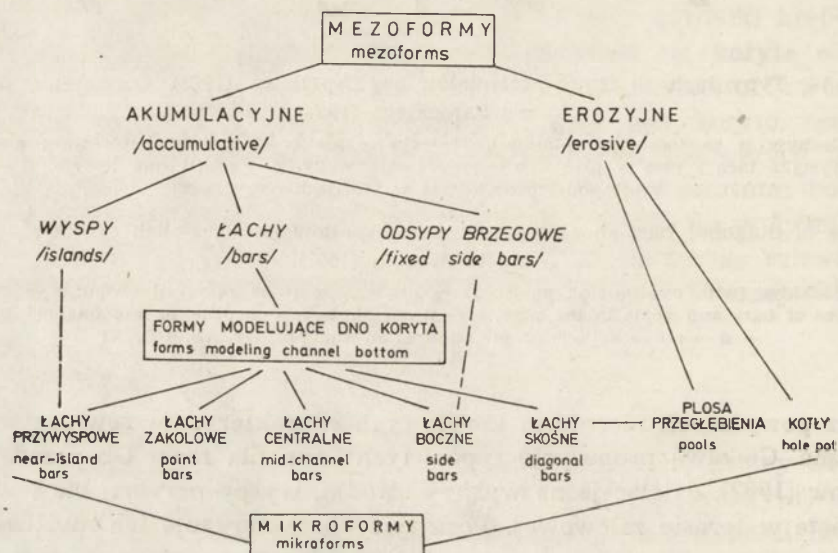
prócz powyższych mezoform korytowych charakteryzują również wyspy rzeczne. Ciekawą propozycję typów tych form dla rzeki Ob przedstawił Popow (1962), dzieląc je na wyspy—ośrodki, wyspy przybrzeżne i wyspy wycięte w terasie zalewowej. Poza tym charakteryzuje ich możliwe deformacje.

Inna klasyfikacja, ujęta głównie pod kątem dynamiki wód płynących i form z nią związanych, stosowana jest przez badaczy amerykańskich (Kennedy 1966). Wyróżniają oni w korytach aluwialnych następujące formy dna:

1. Płaskie dno (flat bed),
2. Ripplemarki (ripples),
3. Ławice (bars), dzielące się na:
 - a) ławice zakolowe (point bars),
 - b) ławice naprzemianległe (alternating bars),
 - c) ławice poprzeczne (transverse bars),
 - d) ławice dopływowe (tributary bars).
4. Wydmy (dunes),
5. Antywidmy (antidunes),
6. Bystrza i głębie (chutes and pools).

Problem klasyfikacji mezoform korytowych został ostatnio przedstawiony w artykule Rachockiego (1977).

Konfrontując typy form korytowych wydzielone przez badaczy radzieckich i amerykańskich, daje się zauważyć różnice przy rozpatrywaniu tego zagadnienia. Badacze GGI swój podział podporządkowują konkretnym typom koryt rzek naturalnych, ze szczególnym uwzględnieniem form kształtujących je — mezoform. Tymczasem badacze amerykańscy (Leopold i in. 1964; Allen 1965) i polscy (Klimek 1972; Gradziński 1973; Rachocki 1974) formy korytowe podporządkowują głównie zjawiskom hydrologicznym, uwzględniając przede wszystkim mikroformy jako efekt ruchu wody. W tych klasyfikacjach nie mieszczą się jednak np. wyspy, odnośnie do których w ZSRR jest bogata literatura (Griszanin 1972; Abdullajew 1974; Czałow 1974; Lewaszow 1974).



Ryc. 15. Schemat klasyfikacji form rzecznych

Scheme of classification of river forms

Na podstawie badań terenowych, map i zdjęć lotniczych analizowanego odcinka Wisły oraz literatury wyróżniono w ramach makroformy, jaką jest koryto, mezo- i mikroformy korytowe (ryc. 15).

Największymi formami korytowymi są wyspy rzeczne. Na mapach badanego odcinka i w starszych opisach nazywano je kępami. Pod tym pojęciem należy rozumieć wysepkę lub małą wyspę o zmiennych przeważnie zarysach, zarośniętych zazwyczaj wikliną (Pietkiewicz i Żmuda 1973). Zmiany kęp ograniczają się przede wszystkim do ich stref brzegowych. Formami inicjalnymi kęp są różnego rodzaju łachy, odsypy boczne oraz odcięte obszary terasy zalewowej. Przy dostatecznej wysokości względnej formy, która ogranicza jej zalewy i stwarza dogodne warunki do powstania szaty roślinnej łacha zmienia się w kępę.

Na badanym odcinku Wisły występują 3 wyspy centralne i jedna boczna — Kępa Korabnicka. Wyspy centralne związane są genetycznie z powstaniem dużych łach centralnych, utworzonych przed przewężeniami koryta o szerokości 0,6—0,7 km. W miejscach występowania kęp koryto rozszerza się od 1,0 do 1,1 km. Odległości pomiędzy poszczególnymi punktami centralnymi kęp wynoszą około 2,5—3,0 km. Kępy Włocławska, Grodzka oraz Krzywogórska mają spadki powierzchni znacznie większe aniżeli spadek zwierciadła wody, odpowiednio 2,2‰, 1,4‰ i 2,4‰ (ryc. 3). Kępy o większych spadkach powierzchni charakteryzują się mniejszym rozczłonkowaniem, są bardziej jednolite. Stąd też Kępa Grodzka, o najmniejszym spadku, jest silnie rozczłonkowana i dzieli się obecnie na 4 mniejsze romboidalne wysepki. Cechę tę również ma Kępa Korabnicka. Kępa ta powstała podczas powodzi na skutek odcięcia wąskiej strefy terasy zalewowej odnogą 20—50 m szeroką. Pochodzenie terasowe sprawia, że spadek powierzchni tej kępy jest najmniejszy i odpowiada spadkowi zwierciadła wody (ryc. 3).

Wszystkie kępy mają spadek powierzchni w dół rzeki z nieznacznym odchyleniem od nurtu rzeki do brzegu koryta. W tym też kierunku obserwuje się ich przemieszczanie.

Prawidłowość tę mają również inne, w miarę stabilne, formy korytowe, jakimi są odsypy brzegowe. Formy te na badanym odcinku występują głównie przy prawym brzegu rzeki. Zlokalizowane są powyżej kęp Włocławskiej (dł. 1,5 km i szer. 0,2 km) i Grodzkiej (dł. 1,0 km i szer. 0,2 km) oraz po przeciwnej stronie Kępy Krzywogórskiej (dł. 1,2 km i szer. 0,15 km). Występują one w rozszerzeniach koryta poniżej stref jego przewężeń. Jedyny na badanym obszarze lewobrzeżny odsyp brzegowy, o długości 1,6 km i szerokości 0,4 km, powstał w latach pięćdziesiątych na skutek prac regulacyjnych prowadzonych wówczas na rzece. Z pracami regulacyjnymi należy również wiązać powstanie odsypów prawobrzeżnych Wisły. Przed jej regulacją, jak wskazuje sytuacja koryta z II połowy XIX w. (ryc. 16), tego typu formy nie występowały. Dopiero późniejsze prace regulacyjne, polegające m.in. na ukierunkowaniu i ograniczeniu strefy nurtu do 350 m, przyczyniły się w pierwszej fazie do powstania form inicjalnych — łach bocznych na 1, 5 i 8 km odcinka (sytuacja z 1951 r.), później zaś do ich utrwalenia dzięki wkroczeniu roślinności (sytuacja z 1959 r.), (ryc. 16). Proces ten bezpośrednio związany jest ze zmianami warunków hydraulicznych rzeki po przeprowadzeniu prac regulacyjnych.

O ile przed regulacją Wisła przejawiała charakter rzeki dzikiej z licznymi łachami centralnymi i dobrze wykształconą terasą zalewową, to po regulacji wzrost erozji wgłębnej przyczynił się do zmniejszenia strefy oddziaływania wód rzeki do terasy zalewowej i wykształcenia nowych form, jakimi są odsypy brzegowe. Odsypy te w nowych warunkach hydraulicznych spełniają rolę teras zalewowych, o czym również świadczy

hipsometria. Najwyższe partie odsypów przebiegają od strony nurtowej rzeki, natomiast powierzchnia tych form opada najniżej przy krawędziach wyższych poziomów terasowych, tworząc tzw. obniżenia dekantacyjne. Prócz tego spadek powierzchni odsypów jest taki sam jak terasy zalewowej i odpowiada spadkowi zwierciadła wody I (ryc. 3). Wysokość tych form jest jednak nieco niższa od terasy zalewowej i we wszystkich przypadkach różnica ta wynosi od 0,5 do 1,0 m.

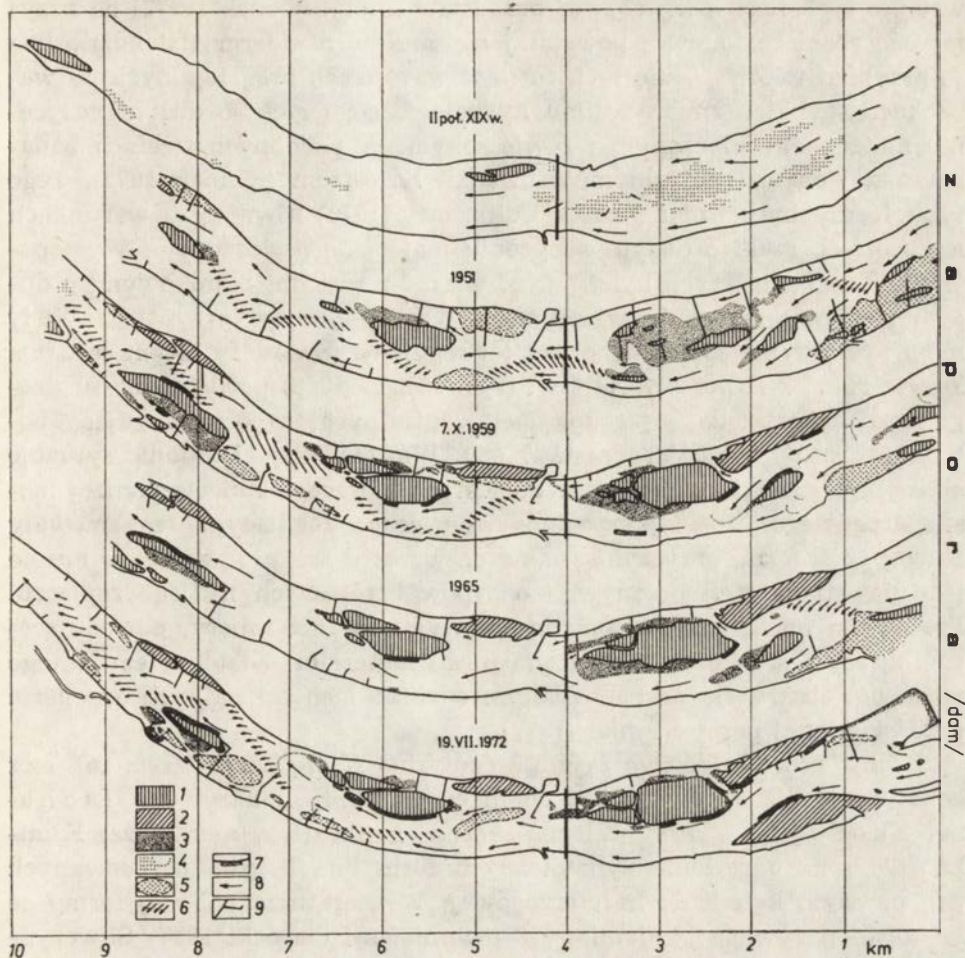
Najbardziej dynamicznymi formami koryta są łacchy. W literaturze często nazywane są one mieliznami, ławicami (Falkowski 1967; Gradziński 1973) czy nawet przemiałami (Jarocki 1957).

W niniejszej pracy na określenie mezoforn dna koryta użyto terminu łacha. Na badanym terenie wyróżniono 5 typów łach korytowych (ryc. 15), przy czym szczegółowiej omówione zostaną łacchy przywyspowe, centralne, boczne i skośne.

Łacchy przywyspowe są to formy integralnie związane z kępami rzecznyymi. Stanowią strefę przejściową między wyspą a nurtem lub bocznym ramieniem rzeki. Wielkość tych form jak i kierunki ich rozwoju zależą w głównej mierze od warunków hydrodynamicznych rzeki. W przypadku dużego nagromadzenia materiału wlezonego (faza akumulacyjna), następuje wzrost łach przykępowych. Ich rozwój może z kolei przyczynić się do wzrostu powierzchni kęp. W przypadku wystąpienia fazy erozyjnej, następuje zmniejszenie się powierzchni obydwu form. Gdy nurt przebiega równolegle do osi wyspy, obserwuje się brak łach bocznych, a jedynie tworzą się łacchy przykępowe — górna i dolna. Jeśli jednak prądy rzeczne uderzają w brzeg wyspy pod pewnym kątem, to po stronie zaprawdowej wyspy tworzą się łacchy przykępowe boczne. Na ten fakt zwrócił uwagę Popow (1962), mówiąc przy tym o rodzajach deformacji wysp. Czynnikiem sprzyjającym powstawaniu łach przywyspowych bocznych są ostrogi odcinające jedno z ramion bocznych koryta. Klasycznym tego przykładem mogą być łacchy przykępowe boczne prawobrzeżne kępy Włocławskiej i Grodzkiej oraz lewobrzeżna Kępy Krzywogórskiej (ryc. 16).

Łacchy boczne, podobnie jak w przypadku odsypów brzegowych, są efektem intensywnych prac regulacyjnych rzeki. Tworzą się one głównie za przeszkodami typu ostróg rzecznych w sztucznie powstałej strefie pozanurtowej (ryc. 16). Proces akumulacji materiału wlezonego następuje dzięki załamaniu się mocy transportowej rzeki na linii nurt — strefa oddziaływania ostróg rzecznych. W okresie niskich stanów wody łacchy boczne często wynurzają się. Rozmiar wynurzonych form uzależniony jest od długości ostróg i odległości między nimi. Brak tych form w strefie ostróg świadczy o złej regulacji rzeki, niezgodnej z warunkami hydrodynamicznymi rzeki.

Łacchy centralne. Badania związane z genezą łach centralnych prowadzone były przez Leopolda i Wolmana (1957) oraz Deoglasa, Krig-



Ryc. 16. Szkice morfodynamiczne koryta Wisły poniżej zapory we Włocławku w okresie od drugiej połowy XIX w. do 19 VII 1972 r.

1 — kępy, 2 — odsypy brzegowe, 3 — łachy przykępowe, 4 — łachy centralne, 5 — łachy boczne, 6 — łachy skośne, 7 — strefy intensywnej erozji bocznej, 8 — główne prądy rzeczne, 9 — ostrogi rzeczne

Morphodynamic sketches of the Vistula channel below the water dam in Włocławek in the period from the second half of the 19th century to July 19th, 1972

1 — islands, 2 — fixed side bars, 3 — near-island bars, 4 — mid-channel bars, 5 — side bars, 6 — diagonal bars, 7 — zones of intensive lateral erosion, 8 — main river currents, 9 — hydrotechnic structures

ströma i Hjulströma (patrz Klimek 1972). Wykazali oni, że warunkiem powstania tych form jest nadmierne obciążenie rzeki ładunkiem dennym akumulowanym w osi koryta. Cechę tę mają przede wszystkim rzeki typu roztokowego (Gradziński 1973). Łachy centralne tych rzek wykształcone są w sposób klasyczny, jak też są najliczniej reprezentowane. Po-

wstanie tych form i ich rozwój przedstawił m.in. Klimek (1972) na przykładzie rzeki roztokowej powstałej na sandrze Skeidarar (Islandia). Jest to przykład tworzenia się tych form w warunkach proglacialnych, w warunkach szybkich zmian reżimu hydrologicznego rzeki o dużym nasyceniu materiałem wleczonym i zawieszonym. W podobnych strefach badania nad łachami centralnymi prowadził Krigström (Klimek 1972). Tego typu formy były badane przez Collinsona (1970) również w warunkach naturalnych rzeki o dużym nasyceniu materiałem wleczonym. Występowanie łach centralnych należy więc wiązać z rzekami roztokowymi o dużym nasileniu materiału wlezonego. Warunek ten w przypadku Wisły mógł być jedynie spełniony przed jej regulacją. Świadczy o tym sytuacja koryta rzeki z II połowy XIX w. (ryc. 16), kiedy to powyżej mostu drogowego wykształciła się grupa łach centralnych, zapoczątkowująca powstanie w późniejszym czasie Kępy Włocławskiej. Podobną sytuację obserwuje się pod koniec lat dwudziestych bieżącego stulecia poniżej mostu drogowego. Późniejsze intensywne prace regulacyjne zahamowały rozwój tych form, przyczyniając się do wzrostu erozji wgłębnej w nurcie i do powstania łach bocznych i odsypów brzegowych na jego zapleczu. Proces ten pogłębił się z momentem wybudowania zapory, powodującej zmniejszenie się ilości transportowanego materiału. Dlatego też od tego czasu nie obserwuje się na badanym odcinku łach centralnych o genezie przedstawionej przez Klimka (1972).

Łachy, które częściowo zajmują centralną strefę koryta (ryc. 16), lecz genetycznie nie odpowiadają łachom centralnym, są nazywane łachami skośnymi. Termin „łacha skośna” został użyty m.in. przez Klimka (1972) na określenie dynamicznych form dna koryta, usytuowanych pod pewnym kątem do linii brzegowej. W literaturze polskiej formy te są często nazywane brodami bądź przemiałami (Jarocki 1957; Śliwczyński 1973), a w literaturze radzieckiej pieriekatami (Makkawiejew 1955; Apołłow 1963). Z punktu widzenia warunków hydrologicznych odcinki te nazywane są bystrzami. Formy te występują głównie między zakolami. Łachy skośne, współmierne do wielkości koryta, tworzą się w okresie wysokich stanów wody. W trakcie obniżania się zwierciadła wody następuje rozcinanie tej formy, w wyniku czego zostaje ona rozczłonkowana na wiele mniejszych łach przedzielonych obniżeniami. Proces ten przyczynia się w efekcie do dużego zróżnicowania materiału dennego w ramach tej „jednolitej” formy (Klimek 1972). Na badanym terenie formy te osiągają długość do 2 km (ryc. 16) oraz wysokość względną 2—5 m.

Przeciwstawne formom pozytywnym typu łach skośnych są formy negatywne — przegłębienia lub plosa. Plosa według Pietkiewicza i Żmudy (1973) jest to głębszy odcinek rzeki o zmniejszonej prędkości płynięcia wody. Występowanie plos związane jest na ogół z krętym przebiegiem nurtu i z zakolami rzecznyymi. Typologię tych form przedstawił Apołłow (1963), (ryc. 14), różnicując je głównie według ilości

transportowanego materiału. Częstotliwość występowania plos w zależności od krzywizny osi koryta oraz ich rozwój scharakteryzowali Kondratiew i Trachtenberg (1974). Stwierdzili oni, że przy wzroście krzywizny wzrasta liczba plos, maksymalnie do trzech.

W przypadku dolnego odcinka koryta Wisły, jak można wnioskować z materiałów przedstawionych przez Śliwczyńskiego (1973), w latach 1940—1941 występował typ łach zachodzących. Plosa (autor ten używa również terminu hydrotechnicznego — wybój) były około 1 km długie i od 6 do 10 m głębokie. Zdaniem Śliwczyńskiego (1973) plosa przesuwały się w dół rzeki równolegle do brzegów koryta i ulegają pogłębianiu w okresie niszówek, a zasypywaniu w okresie wysokich stanów wody. Te same formy stwierdzono również na badanym odcinku Wisły, chociaż po wybudowaniu zapory uległy one pewnym zmianom, zwłaszcza w pobliżu zbiornika. W wyniku wpływu zbiornika w bezpośrednim jego sąsiedztwie powstała rozległa bruzda erozyjna ciągnąca się aż do mostu drogowego (ok. 4,5 km). Natomiast plosa przedzielone przemiałem występują dopiero od Kępy Grodzkiej w dół rzeki.

Opierając się na powyższym podziale mezoform korytowych, wykreślono szkice morfologiczne koryta dla poszczególnych okresów badawczych celem uchwycenia dynamiki rozwoju tych form, jak również określenia zmian wynikających z działalności gospodarczej człowieka (ryc. 16).

V. MORFOLOGICZNA DZIAŁALNOŚĆ WÓD PŁYNĄCYCH

RUCH WODY W RZEKACH

Opierając się na licznych badaniach, najczęściej laboratoryjnych oraz na dociekaniach teoretycznych, ustalono wiele reguł i praw rządzących ruchem wody. Najczęściej stosuje się w badaniach (Kaszowski i Kotarba 1970; Klimek 1972; Gradziński i in. 1976; Kaniecki 1976), tzw. liczbę Reynoldsa określającą rodzaj przepływu (laminarny lub turbulentny) oraz tzw. liczbę Freuda charakteryzującą stan prądu wodnego (spokojny lub rwący). Ruch wody w korytach rzecznych, oparty na powyższych zasadach typów przepływów ze względu na powiązanie z otaczającym środowiskiem, jest bardzo złożony. Dowodem na to może być duże zróżnicowanie prędkości i kierunku płynięcia wody zarówno w przekroju poprzecznym, jak i podłużnym rzeki.

W profilu podłużnym rzeki wyróżnia się 2 rodzaje ruchu wody — ustalony i niestabilny. Ruch ustalony rzeki występuje wówczas, gdy w dwóch oddalonych od siebie przekrojach poprzecznych przepływ wody Q jest taki sam. W przypadku, gdy powierzchnie przekrojów poprzecznych nie różnią się znacznie, wówczas średnia prędkość przepływu jest jednakowa. Z kolei, gdy na odcinku rzeki o stałym przepływie Q powierzchnia przekrojów poprzecznych różni się, zachodzi zmiana prędkości płynięcia wody. W korycie powstaje wówczas ruch ustalony nierównomierny. W ruchu niestabilnym natomiast prędkość i przepływ zmieniają się w czasie.

W przekrojach poprzecznych koryta występuje również zróżnicowanie ruchu wody. Wyróżnia się tu kilka rodzajów ruchów spiralnych (gwinutowych, śrubowych), powstałych w wyniku nałożenia się ruchu kołowego na ruch postępowy.

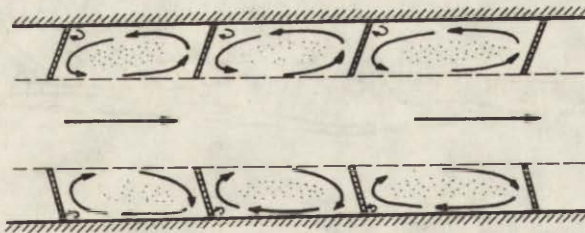
Na prostoliniowym odcinku rzeki, w okresie podnoszenia się stanów wody, występują 2 prądy spiralne o kierunku rozbieżnym na powierzchni zwierciadła wody. W wyniku tej cyrkulacji, w centralnej części koryta następuje akumulacja, przy brzegach zaś erozja. Odmienny system prądów, o przeciwnych właściwościach erozyjno-akumulacyjnych tworzy się w okresie obniżania się zwierciadła wody w rzece. Liczba spiral o zmiennym kierunku cyrkulacji w stosunku do sąsiednich, o średnicy równej

głębokości rzeki, jest równa ilorazowi szerokości rzeki do jej głębokości (Klimek 1972). Ten rodzaj ruchu już w 1934 r. Łosijewski nazwał mieszanym (patrz Wołoszyn 1974).

Stałe prądy spiralne wody, zwane przez Scheideggera (1974) przepływem helikoidalnym rzeki, występują w strefie zakoli rzecznych. Kaszowski i Kotarba (1970) przyjmują, że ruch cyrkulacyjny wody w meandrze może składać się z jednej spirali skierowanej w kierunku brzegu wklęsłego lub może występować wiele prądów. Kaniecki (1976) stwierdza, że w okresie wysokich stanów wody dominuje prąd towarzyszący brzegowi wklęsłemu. W efekcie tej cyrkulacji, brzeg ten podlega intensywnej erozji, dążącej do zwiększenia krzywizny meandru. W okresie niskich stanów wody zauważa się natomiast wzrost działalności prądu przebiegającego przy brzegu wypukłym. Powoduje on częściową erozję łachy zakolowej i wyprostowywanie się nurtu rzeki. Autor ten również przedstawił szczegółową analizę transportu materiału w obrębie meandru.

Te najczęściej teoretyczne rozważania na temat prądów spiralnych, znalazły potwierdzenie w większości przypadków w wynikach badań prowadzonych przez badaczy radzieckich (Kulemina 1959; Korczocha 1965, 1968; Kondratiew 1968; Wielikanowa 1968; Dawydow i in. 1973; Winogradow 1973; Litwinow 1975). Badania te dotyczą przede wszystkim prędkości i kierunku płynięcia wody w przekrojach poprzecznych koryta rzeki w jej różnych sytuacjach morfologicznych.

Uzupełnieniem ogólnej cyrkulacji wodnej w korycie Wisły są prądy powstające w strefie oddziaływania sztucznych budowli wodnych — ostróg rzecznych. Interpretację warunków hydrologiczno-morfologicznych w obrębie ostróg przedstawił Wołoszyn (1974), (ryc. 17). W okresie niskich stanów wody, gdy korona tamy nie ulega zalaniu, ostroga kieruje prąd wodny do środka koryta rzeki. Wówczas w polu między ostrogami tworzy się drugi prąd o przeciwnym kierunku płynięcia w strefie brzegowej koryta. W wyniku tej cyrkulacji w sąsiedztwie ostróg i przy brze-



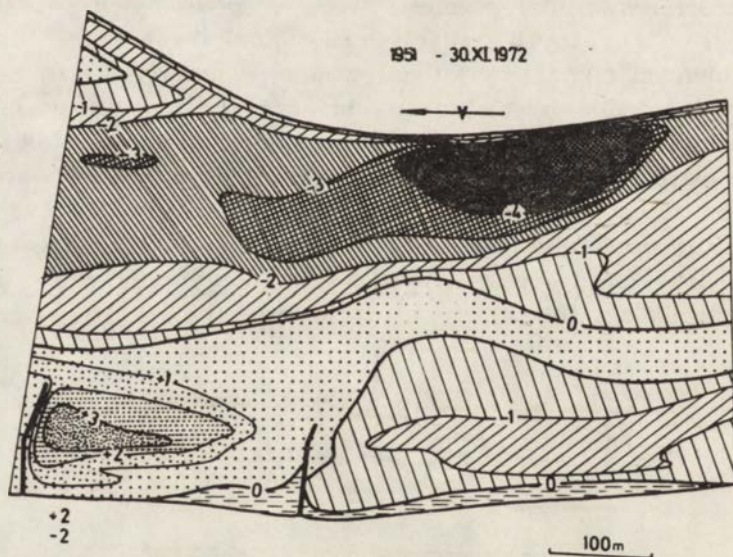
Ryc. 17. Rozkład prądów wodnych w strefie oddziaływania ostróg rzecznych wg Wołoszyna (1974)

Distribution of water currents in the zone of influence of hydrotechnic structures according to Wołoszyn (1974)

gu koryta powstają przegłębienia, w centralnej zaś części pola — łachy boczne. Poniżej głowicy ostrogi tworzą się silne, o charakterze erozyjnym, prądy zstępujące, w wyniku których powstają kotły wirowe. W okresie wysokich stanów wody, przy zalaniu korony tamy, dodatkowo przy dnie po stronie dolnej ostrogi tworzy się prąd w kształcie walca. Prąd ten powoduje wymywanie dna poniżej ostrogi, przyczyniając się często do jej uszkodzenia.

DYNAMIKA MEZOFORM KORYTOWYCH

Szczegółową analizą objęty został odcinek koryta usytuowany pomiędzy Kępą Grodzką a lewym brzegiem Wisły (ryc. 21). Jego długość wynosi około 750 m, a szerokość od 400 do 500 m. Odcinek ten po wybudowaniu zapory stanowił początek strefy rozwoju pozytywnych form korytowych — łach skośnych. Przed przegrodzeniem koryta zaporą, jak wskazuje sytuacja z 1951 r. a później z 1959 r. (ryc. 16), przemiał w tej strefie przebiegał inaczej niż obecnie. W miejscu strefy akumulacyjnej pojawiła się erozyjna i na odwrót (ryc. 18). Dolna część łachy opierała się wówczas o brzeg Kępy Grodzkiej, a górna łączyła się z lewym brzegiem koryta. W tym też czasie powierzchnia łachy zalegała na wysokości



Ryc. 18. Proces zmian dna koryta Wisły na odcinku szczegółowej analizy pomiędzy 1951 r. a 1972 r.

+2 — strefa akumulacji, -2 — strefa erozji

Process of changes of the Vistula channel bottom in the section of detailed analysis between the years 1951—1972

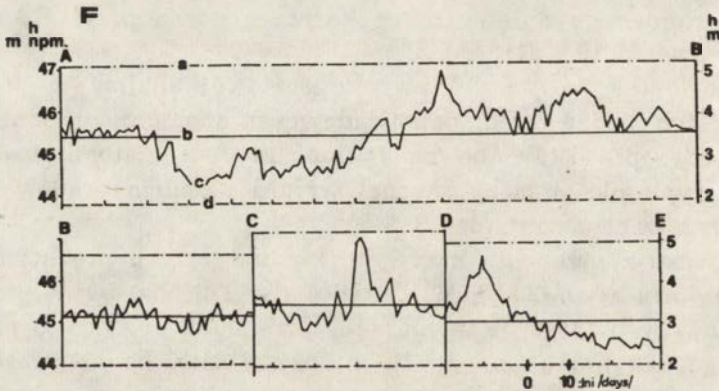
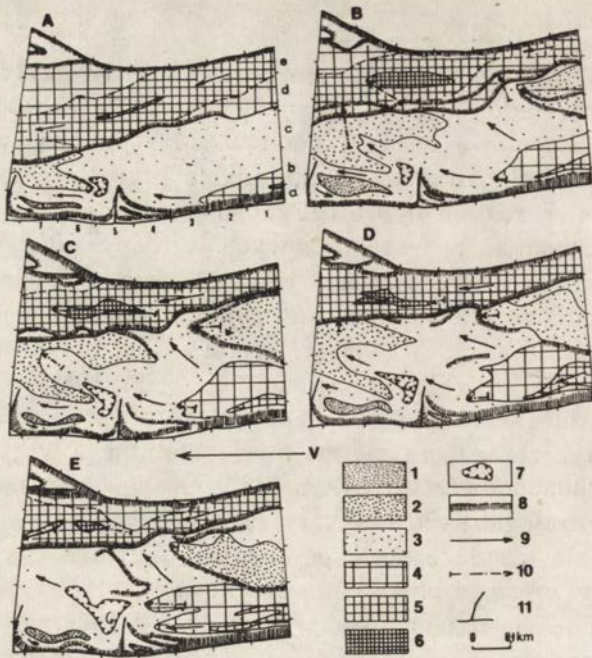
+2 — accumulation zone, -2 — erosion zone

43—44 m npm., natomiast sąsiadujące z nią plosa tworzyły przegłębienia koryta schodzące do 39,5 m npm. Podobne wysokości mają późniejsze formy korytowe na tym odcinku. Maksymalna wysokość łachy skośnej wynosiła 43,6 m npm., a minimalne przegłębienie plosa 39,4 m npm. Mimo zmian reżimu hydrologicznego (rozd. III), nie zaobserwowano różnic w stosunkach wysokościowych. Zmiany wystąpiły natomiast w układzie form w korycie. Można je prześledzić na rycinie 21, charakteryzującej stadia rozwoju koryta od momentu budowy zapory do okresu jej względnej stabilizacji. W 1967 r. sytuacja dna koryta na tym odcinku odpowiadała w przybliżeniu warunkom z lat 1951 i 1959 (ryc. 16). Być może ta duża zbieżność w przebiegu form w okresie 16 lat była związana z wykształceniem się w miarę stabilnego koryta lub mogło zaistnieć prawdopodobieństwo dokonania pomiarów koryta w podobnych warunkach hydrologicznych rzeki.

Przegrodzenie koryta zaporą, powodujące przemieszczenie nurtu rzeki na jej lewy brzeg, zachwiało tę równowagę, stwarzając warunki do powstawania nowego układu form w korycie. Od 1969 r. do końca badań (XI 1973 r.) nastąpił na tym odcinku rozwój łachy skośnej i towarzyszących jej plos o odmiennym układzie. Dolna część przemiału oparła się swym ramieniem o lewy brzeg koryta a górna przyległa do Kępy Grodzkiej (ryc. 16,19 i 21).

Morfologię dna koryta odcinka szczegółowej analizy w poszczególnych okresach badawczych, odpowiadających momentowi obniżania się stanów wody, przedstawiono na rycinie 19 A-E, natomiast dynamikę mezoforn typu plos i łachy skośnej wraz z układem prądów wodnych scharakteryzowano na rycinie 20 A-F.

Jak wynika z przebiegu krzywych kumulacyjnych prędkości przesuwania się form (ryc. 20 F), najbardziej dynamiczną formą przez cały okres badawczy było górne wyniesienie przemiału. Jego czoło przesunęło się w ciągu 290 dni o ponad 310 m; najszybciej, bo aż ponad 200 m w ciągu 150 dni, przemieściło się ono w pierwszym okresie badawczym. W następnych okresach dynamika tej formy była taka sama jak czoła lewobrzeżnego plosa. Dlatego też, od tego momentu, przebieg obydwu krzywych był niemal równoległy. Znaczna odległość pomiędzy tymi krzywymi wynika stąd, że w początkowej fazie badań czoło plosa przesunęło się tylko o 30 m, natomiast górne wyniesienie łachy aż sześciokrotnie dalej. Nieco inaczej przedstawiała się dynamika czoła przegłębienia górnego plosa i ogona przegłębienia dolnego plosa. Formy te charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem prędkości przemieszczania. Niemniej jednak po 290 dniach ich średnio przebyte drogi niemal zrównały się i wynosiły około 170 m. Podobną średnią wartość miało czoło plosa lewobrzeżnego. Najmniejszą prędkość przemieszczania miała w tym czasie krawędź przemiału, która przesunęła się od 50 do 100 m (średnio 75 m) w kierunku Kępy Grodzkiej. Prócz tego z ryciny 20 F wynika wzrost prędkości

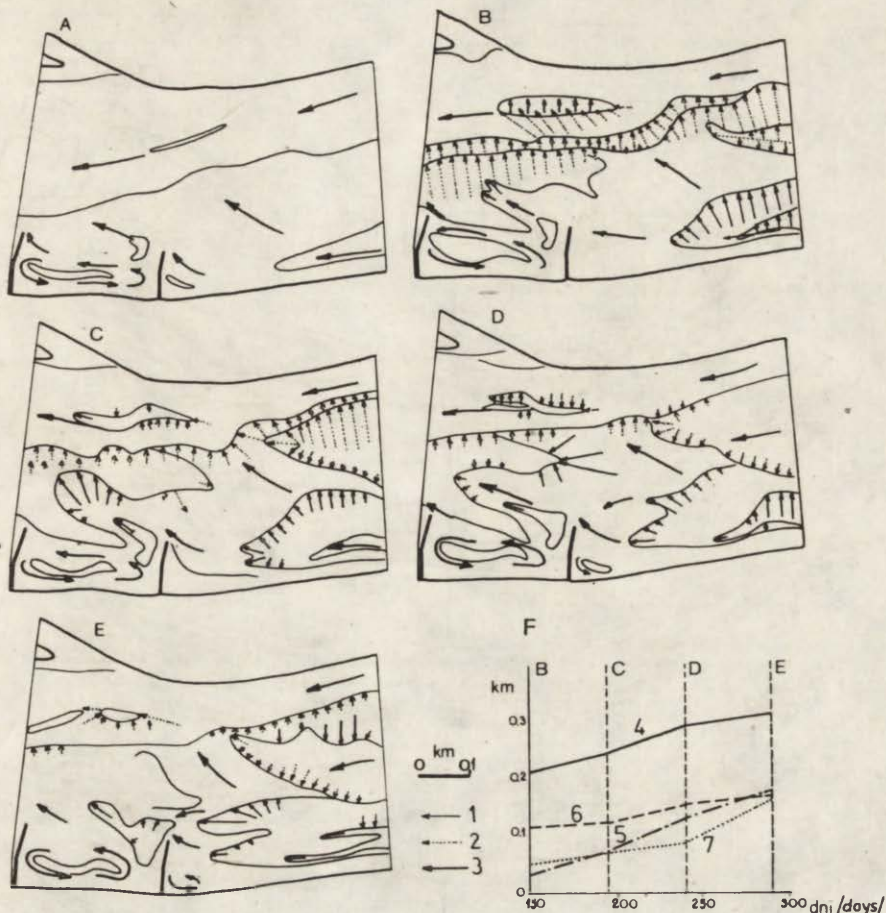


Ryc. 19. Szkice morfologiczne dna koryta Wisły odcinka szczegółowej analizy. Sytuacja dna koryta w dniu:

A — 30 XI 1972 r., B — 27 IV 1973 r., C — 12 VI 1973 r., D — 27—28 VII 1973 r., E — 14—15 IX 1973 r.; 1 — łachy boczne, 2 — wyniesienia łachy skośnej, 3 — obniżenia łachy skośnej, 4 — wyższa strefa płosa, 5 — niższa strefa płosa, 6 — przegłębienia płosa, 7 — kotły wirowe, 8 — krawędzie form, 9 — główne kierunki prądów, 10 — wektory przemieszczeń mezoform, 11 — ostrogi rzeczne; F — charakterystyka hydrologiczna pomiędzy sytuacjami A, B, C, D i E; a — maksymalny stan wody, b — średni stan wody, c — średnie dobowe stany wody, d — minimalny stan wody

Morphological sketches of the Vistula channel bottom at the section of detailed analysis. Situation of the channel bottom on:

A — Nov. 30th, 1972, B — April 27th, 1973, C — June 12th, 1973, D — July 27—28th, 1973, E — Sept. 14—15th, 1973; 1 — side bars, 2 — upliftings of diagonal bar, 3 — lowerings of diagonal bar, 4 — upper zone of pool, 5 — lower zone of pool, 6 — overdeepening of pool, 7 — hole pots, 8 — rims of forms, 9 — main directions of currents, 10 — vectors of mezoforms' shifts, 11 — hydrotechnic structures. F — hydrological characteristics between the situations A, B, C, D and E; a — maximum water level, b — mean water level, c — mean twenty-four hours' water levels, d — minimum water level



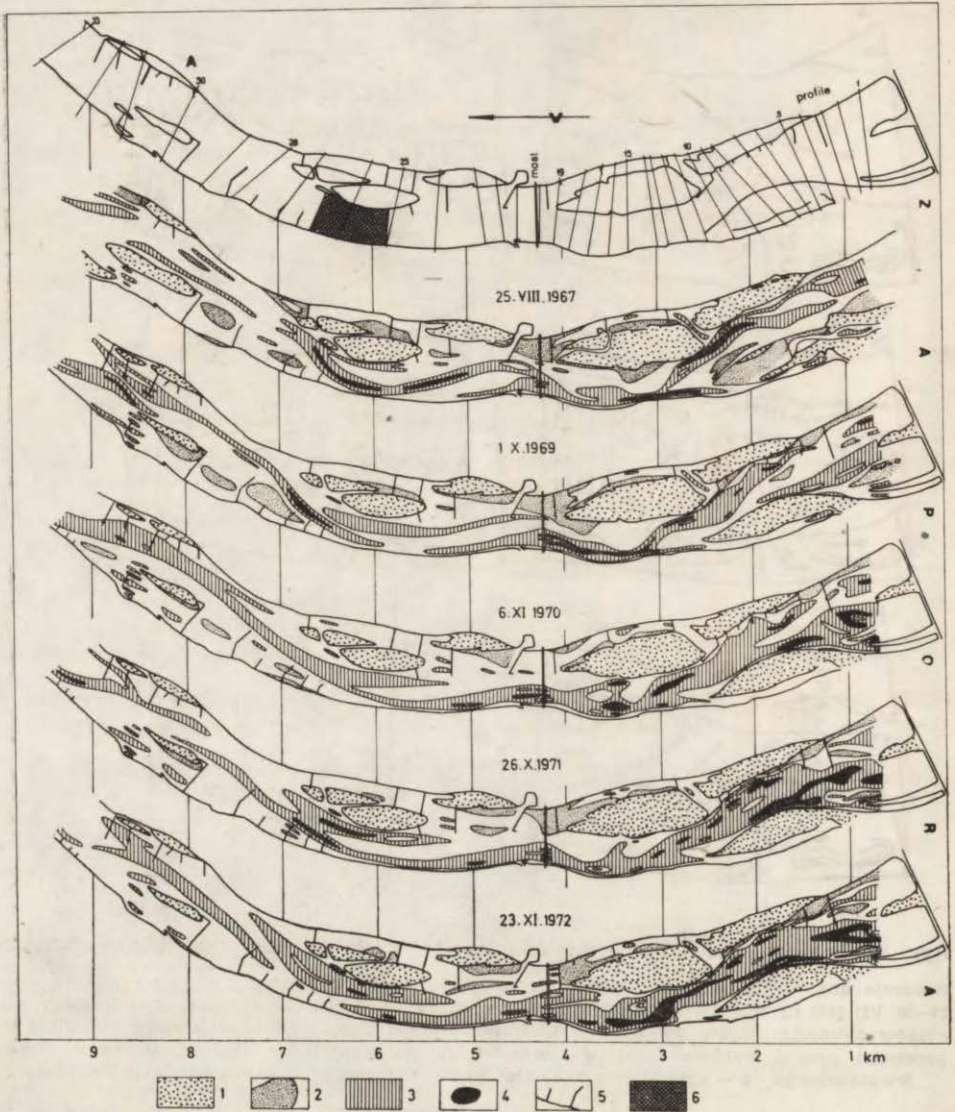
Ryc. 20. Szkice morfodynamiczne dna koryta Wisły odcinka szczegółowej analizy
 Sytuacja dna koryta w dniu: A — 30 XI 1972 r., B — 27 IV 1973 r., C — 12 VI 1973 r., D —
 27—28 VII 1973 r., E — 14—15 IX 1973 r.; 1 — wektory odcinków erozyjnych, 2 —
 wektory odcinków akumulacyjnych, 3 — główne kierunki prądów rzecznych. F — krzywe kumulacyjne
 przemieszczania form: 4 — wyniesienia górnego łachy skośnej, 5 — czoła płosa
 lewobrzezowego, 6 — ogona przegłębienia płosa dolnego, 7 — krawędzi łachy skośnej

Morphodynamic sketches of the Vistula channel bottom at the section of detailed analysis

Situation of the channel bottom on: A — Nov. 30th, 1972, B — April 27th, 1973, C — June 12th, 1973, D — July 27—28th, 1973, E — Sept. 14—15th, 1973; 1 — vectors of erosive sections, 2 — vectors of accumulative sections, 3 — main directions of river currents. F — cumulative curves of forms' shifting speed of: 4 — upper uplifting of diagonal bar, 5 — front of left-bank pool, 6 — tail of lower pool overdeepening, 7 — rim of diagonal bar

przemieszczania się form korytowych wraz z podnoszeniem się stanów wody (ryc. 19 F). Wniosek ten wyciągnięto ze zwiększenia się nachylenia krzywej dynamiki form w okresie wysokich stanów wody, występujących od sytuacji C do D, wyłączając krzywą 7.

Powyższa charakterystyka, dotycząca głównie fragmentu łachy skoś-



Ryc. 21. Szkice reliefu dna koryta Wisły poniżej zapory we Włocławku

A — szkic koryta z naniesionymi profilami poprzecznymi wykonanymi echosondą; 1 — kępy i odsypy brzegowe, 2 — łachy, 3 — głębokość koryta 2–4 m, 4 — głębokość koryta > 4 m, 5 — ostrogi rzeczne, 6 — odcinek szczegółowej analizy

Sketches of the Vistula channel bottom relief below the water dam in Włocławek

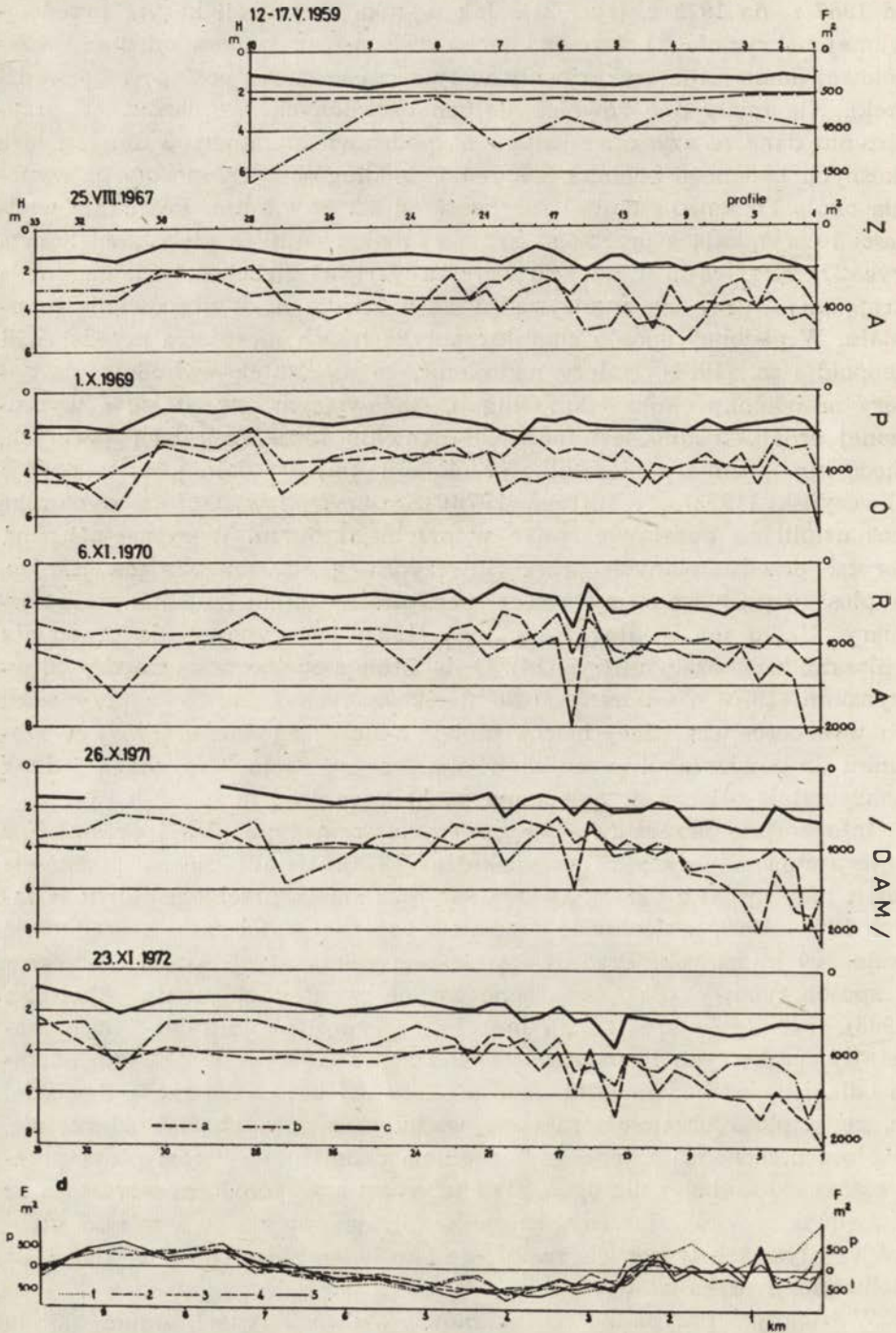
A — sketch of the channel with marked cross-sections made with depth finder. 1 — islands and fixed side bars, 2 — bars, 3 — channel depth — 2–4 m, 4 — channel depth > 4 m, 5 — hydrotechnic structures, 6 — section of detailed analysis

nej i dwóch plos, ograniczona krótkim okresem badań, nie pozwala na rozwiązanie w pełni zagadnienia wielkości i dynamiki tych form. Stąd też objęto analizą dłuższy 12 km odcinek rzeki i okres badań wydłużono

od 1967 r. do 1972 r. (ryc. 21). Jak wynika z sytuacji koryta przedstawionej na rycinie 21 zarówno łacha skośna, jak i płosa odcinka szczegółowej analizy nie wykazywały w tym czasie ruchu postępowego w dół rzeki. Nie miały one również stałych określonych rozmiarów. W przybliżeniu dane te uzyskano jednak na podstawie parametrów innych łach skośnych badanego odcinka. Ustalono, że długość tych mezoform wynosiła około 1,5 km, natomiast szerokość od 0,2 do 0,3 km. Pośrednio wielkości te wynikają z przebiegu krzywej maksymalnych głębokości koryta (ryc. 22). Krzywa ta w miejscu wzrostu wartości głębokości odzwierciedla strefę płosa, przy ich zmniejszaniu się wskazuje na występowanie przemiału. W podobny sposób charakterystykę takich mezoform przedstawili Leopold i in. (1964). Należy nadmienić, że na skutek wybudowania zapory na odcinku około 3 km długim, stanowiącym tzw. strefę o wymuszonej erozji, trudno jest mówić o istnieniu form typu łach skośnych. Nieco inne rozmiary płos (długość około 1 km) dla dolnej Wisły podaje Śliwczyński (1973) czy Bittner (1976). Śliwczyński wielkości i dynamikę płos ustalił na podstawie zmian w przebiegu nurtu. W sytuacjach dna koryta, przedstawionych przez Śliwczyńskiego, zastanawiające jest to, że płosa mają harmonijny, wręcz nienaturalny układ i niemal stałe rozmiary. Układ ten według Jarockiego (1957) jest typowy dla przemiału z płosami zachodzącymi (ryc. 14). O ile istnieją rozbieżności między Śliwczyńskim (1973) a autorem co do wielkości tych form, to w przypadku ich wysokości względnej można mówić o dużej zgodności. Płosa w stosunku do powierzchni przemiałów obniżone są około 3 m, mogą jednak maksymalnie osiągać przegłębienia dochodzące do 6 m.

Interesująco przedstawia się dynamika form typu płos i przemiałów zinterpretowana przez Śliwczyńskiego (1973). Ustalił on na podstawie analiz map izobat z okresu 1940—1941 oraz zmian przebiegu nurtu w latach 1950—1969, że formy te przemieszczają się w dół rzeki z prędkością około 500 m na rok. Przesuwają się one wzdłuż tych samych brzegów w sposób typowy dla płos zachodzących według schematu Apołowa (1963), (ryc. 14). Okres zmian mezoform wynosi około 2 lat. Nieco inaczej dynamikę tych form przedstawił Bittner (1976 — s. 283) dla odcinka odległego od badanego obszaru o około 130 km w dół rzeki. Twierdzi on, że „...płosa przemieszczają się wzdłuż brzegów, chociaż zdarza się, że płosa przechodzą z jednego brzegu na drugi brzeg. Czoło płosa przemieszcza się szybciej niż ogon, stąd też rozmiary tych form wzrastają aż do nadejścia wielkiej wody, która kształtuje nowy układ miejsc głębszych i płytszych w korycie rzeki”. Jest to jeden z dowodów na złożoność ruchu płos i przemiałów.

W badanym przypadku można mówić o dwóch typach zmian układu mezoform. Pierwszy typ zmian o tendencjach trwałych, wynikł z wybudowania zapory i sztucznego przemieszczenia nurtu rzeki z prawego na lewy brzeg koryta. Natomiast drugi, o charakterze sezonowym, jest efek-



tem zmian reżimu hydrologicznego w ciągu roku. W tym przypadku stan dna koryta z okresu powodziowego należy przeciwstawić tendencjom rozwojowym koryta z okresu niskich stanów wody.

Jak wynika z sytuacji przedstawionych na rycinach 19 i 20, przejęcia były nadbudowywane i kształtowane w okresie wysokich stanów wody. Zarówno ich rozmiary, jak i położenie uzależnione były w tym czasie od warunków hydrologicznych rzeki. Ten stan trwał aż do momentu obniżania się stanów wody. W czasie trwania niskich stanów wody, dno koryta podlegało intensywnemu przemodelowaniu. Proces ten wynikał z niedostosowania się form korytowych do nowego reżimu fluwidynamicznego (Falkowski 1967). Tworzy się w ten sposób nowy obraz dna, którego główną cechą dynamiczną jest erozja przemiałów i pogłębianie przegłębień plos i kotłów oraz przemieszczanie się tych form w dół rzeki. Odziedziczony układ plos (plosa zachodzące), z charakterystyczną cyrkulacją wody (ryc. 20), powoduje w okresie niskich stanów wody rozczepianie się prądów wodnych na wzdłużne, zgodnie z kierunkiem płynięcia wody i skośne — międzyplosowe. Pierwsze z nich powodują przemieszczanie mezoform w dół rzeki z prędkością około 0,6—1,2 m/dobę, co daje średnią roczną wartość około 300 m. Prądy międzyplosowe powodują tymczasem przesuwanie się łańcuch skośnych pod kątem około 20° do brzegów koryta; w badanym przypadku ku Kępie Grodzkiej. Ze względu na to, że na krawędzi przemiału i plosa prądy skośne ścierają się z prądami wzdłużnymi następuje częściowe wytrącanie się niesionego materiału, reszta wynoszona jest w dół rzeki. Dlatego też od tej strony forma ta jest mniej dynamiczna i przesuwa się tylko z prędkością około 100 m na rok. Jeżeli w czasie tego przemieszczania nie nastąpi odnowienie układu form, dostosowanego do warunków hydrologicznych rzeki przy przejściu fali powodziowej, następuje przesuwanie się plos w dół rzeki równoległe do brzegów koryta. Proces dążący do tworzenia się kolejnych nasunięć plos wynika m.in. z ich charakterystyki dynamicznej, zawartej na rycinie 20, gdzie po ustąpieniu prawobrzeżnego plosa na jego miejsce

Ryc. 22. Charakterystyka niektórych elementów geometrii koryta Wisły w profilu podłużnym poniżej zapory we Włocławku

a — wielkość powierzchni przekrojów poprzecznych koryta ($F \text{ m}^2$), *b* — maksymalne głębokości koryta (m), *c* — średnie głębokości koryta (m), *d* — wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych koryta w układzie połowicznym ($F \text{ m}^2$) w dniu: 1—25 VIII 1967 r., 2 — 1 X 1969 r., 3 — 6 XI 1970 r., 4 — 26 X 1971 r., 5 — 23 XI 1972 r. *P* — prawobrzeżna część koryta, *L* — lewobrzeżna część koryta

Characteristics of some elements of the Vistula channel geometry in the long profile below the water dam in Włocławek

a — size of the areas of cross-sections of the channel ($F \text{ m}^2$), *b* — maximum depths of the channel (m), *c* — mean depths of the channel (m), *d* — size of the areas of cross-sections of the channel in partial system ($F \text{ m}^2$) on: 1 — Aug. 25th, 1967, 2 — Oct. 1st, 1969, 3 — Nov. 6th, 1970, 4 — Oct. 26th, 1971, 5 — Nov. 23rd, 1972; *P* — right-bank part of the channel, *L* — left-bank part of the channel

wkroczyło ploso nowe (ryc. 20 D, E). Przy długookresowej niżowce mogą powstać dwie równoległe do brzegów koryta bruzdy, przedzielone przemiałem (ryc. 21 — niektóre sytuacje).

Ten ogólny układ mezoform typu plos i przemiałów zakłócony jest głównie przez tamy i ostrogi. W strefie ostróg, dzięki cyrkulacji okrężnej wody, tworzą się łachy boczne (ryc. 16). Ich rozmiary są wprost proporcjonalne do długości i odległości między ostrogami oraz do siły przepływających w pobliżu nich prądów rzecznych. Toteż w okresie wysokich stanów wody i w warunkach blisko przebiegających strumieni wodnych (ryc. 20 B, D, E) następuje przyrost łachy bocznej.

Powyższa charakterystyka dotyczy dynamicznych mezoform korytowych, których wysokość nie przekracza wysokości zwierciadła średniej wody (SW). Są to więc formy podlegające permanentnym przeobrażeniom w przeciwieństwie do kęp i odsypów brzegowych. Te ostatnie kształtowane są w okresie wysokich stanów wody, a przy średniej i niskiej wodzie podlegają tylko zmianom linii brzegowej, dlatego też ich charakterystykę przedstawiono w rozdziale poświęconym morfologii koryta Wisły.

DYNAMIKA PRZEKROJU POPRZECZNEGO KORYTA

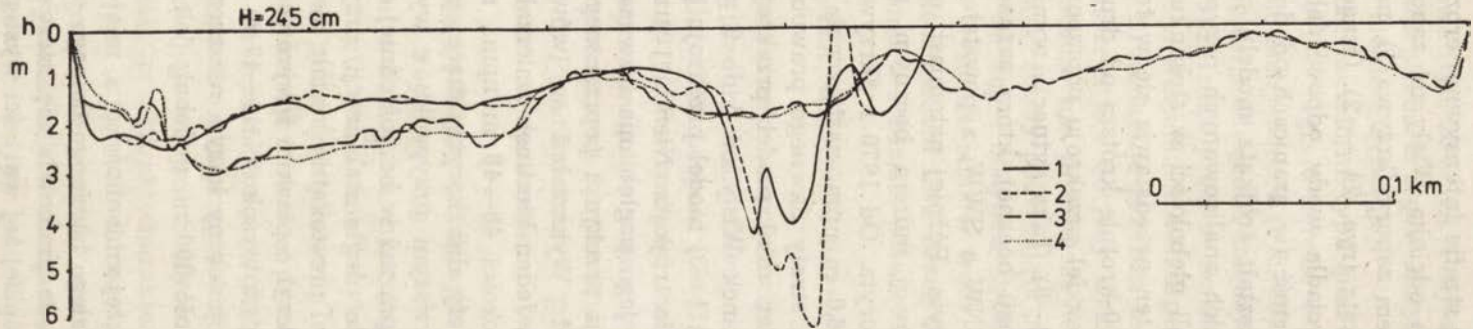
Rozmiary i kształt przekroju poprzecznego, podobnie jak w przypadku mezoform korytowych, ściśle zależą od warunków hydrologicznych rzeki (Leopold, Miller 1956; Leopold i in. 1964; Antropowski 1969; Kuczment, Motowilow 1973; Barisznikow, Subbotina 1976; Sedych 1976). Zmiany profilu poprzecznego w czasie były niejednokrotnie tematem analizy tendencji rozwojowych koryta (m.in. Lane, Bofland 1954; Dauksza 1976; Soja 1976). Przedstawione w powyższych pracach rozważania znalazły zastosowanie w opracowaniu tego zagadnienia w niniejszej pracy.

Ogólnie wyróżnia się 3 typy przekrojów poprzecznych koryta: prostokątne, paraboliczne i trójkątne. Ich kształt oraz rozmiary są ściśle związane między innymi z warunkami hydrologicznymi rzeki, z budową geologiczną, sytuacją morfodynamiczną koryta i szatą roślinną. W przypadku koryta Wisły, mającego zróżnicowaną budowę geologiczną (rozd. II) oraz duże rozmiary, należy mówić o przekroju poprzecznym prostokątnym — złożonym. Oznacza to, że prostokątny przekrój poprzeczny zaburzony jest przez liczne łachy i przegłębienia o kształcie trójkątnym, usytuowane w różnych jego miejscach (ryc. 23). Mając więc na względzie zróżnicowany kształt przekroju, charakterystykę jego przeprowadzono w ujęciu modelowym. Ujęcie modelowe przekrojów poprzecznych, powstałe w wyniku połączenia punktów szerokości koryta (oś x) mierzonej w odpowiednich wysokościach w m n.p.m. (oś y), przedstawiono na rycinie 24. Rycina ta zawiera 4 typy modeli przekrojów poprzecznych koryta, reprezentujących cały badany odcinek Wisły (33 przekroje).

Przekrój 2 znajduje się w strefie intensywnej erozji wgłębnej, a jego model odpowiadał warunkom odcinka Wisły od zapory do przekroju 4 (ryc. 21). Przed wybudowaniem zapory (krzywa 1), model przekroju poprzecznego miał kształt trójkąta (ryc. 24 — 2). Oznacza to, że każdemu przyrostowi wysokości zwierciadła wody odpowiadał wzrost szerokości koryta niemal o tę samą wartość (w granicach od dna do stanu SWW). Należy dodać, że wyraźny kształt trójkąta modelu przekroju poprzecznego (ryc. 24 — we wszystkich analizowanych przypadkach) wynika ze znacznego przewyższenia skali głębokości w stosunku do szerokości koryta. W rzeczywistości obraz ten przedstawia się w ten sposób, że oś y, jako przyprostokątna, jest 100-krotnie krótsza od drugiej przyprostokątnej. W późniejszym okresie model przekroju poprzecznego koryta przyjął kształt trapezu (krzywe 2—6). Taka sytuacja wynikła w początkowej fazie (krzywa 2) z silnej erozji bocznej, która zaznaczyła się na wysokości ograniczonej stanami SNW a SWW, a powstałej dzięki przerzuceniu nurtu na lewy brzeg koryta. Później natomiast, na skutek umocnienia niszczonej strefy brzegowej murem bocznym, nastąpił wzmożony proces pogłębiania się dna koryta. Od 1970 r. (krzywa 3) w strefie dna koryta od wysokości 41,5—46,0 m npm. następowała akumulacja materiału jako efekt wypełniania strefy dawnego prawobrzeżnego nurtu.

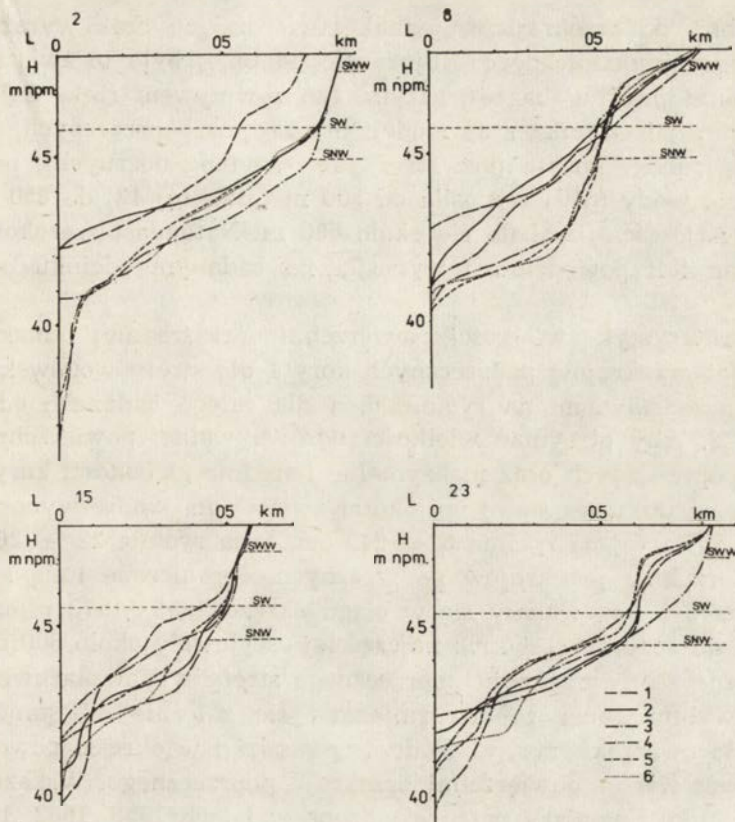
Bardziej złożony charakter miał model przekroju poprzecznego 6 (ryc. 24), reprezentujący odcinek Wisły od 5 do 9 przekroju (ryc. 21). W początkowej fazie (krzywa 1—3) model przekroju poprzecznego koryta posiadał kształt zbliżony do trójkąta. Niemniej już wówczas następowały zmiany zmierzające do jego pogłębiania i zwężania w strefie dennej koryta. Wyraźna ewolucja przekroju poprzecznego nastąpiła dopiero pomiędzy latami 1970 a 1971. Wykształcił się wówczas nowy model o dwóch kierunkach rozwoju. Jeden kierunek zmierzał do zwężania przekroju koryta w strefie wysokości 46—48 m npm., natomiast drugi do pogłębiania i poszerzania strefy dna koryta leżącej poniżej 45 m npm. Zmiany te wynikały w pierwszym przypadku z wypełniania się stref oddziaływania ostróg, w drugim zaś w bezpośredniej działalności erozyjnej zapory. Po 1971 r. koryto uległo stabilizacji, przybierając od wysokości 41 do 47 m npm. niemal prostokątny kształt modelu przekroju poprzecznego. Taki układ świadczył o płaskim i wyrównanym dnie z wąską strefą brzegową, występującą na wysokości 42—47 m npm. (ryc. 24). Powyżej 47 m npm. przekrój poprzeczny koryta rozszerzał się, osiągając na wysokości 48 m npm, szerokość 800 m, podobnie jak w przypadku profilu 2.

Prosty układ modelu, o dużej zmienności dna, miał przekrój poprzeczny 15 reprezentatywny dla całego badanego dolnego odcinka. W zasadzie od wysokości 46,5 m npm. nie zmieniała się szerokość przekroju poprzecznego koryta. Dopiero poniżej tej wartości występowały zmiany dna o charakterze oscylacyjnym, świadczącym o ruchu mezoform koryto-



Ryc. 23. Kształty przekrojów poprzecznych koryta Wisły w profilu wodowskazu Włocławek w 1955 r. w dniach:
1 — 17 VI, 2 — 27 VI, 3 — 28 VI, 4 — 2 VII

Shapes of cross-sections of the Vistula channel in the profile of Włocławek water gauge on:
1 — June 17th, 2 — June 27th, 3 — June 28th, 4 — July 2nd, 1955



Ryc. 24. Modele przekrojów poprzecznych koryta Wisły w profilach 2, 6, 15 i 23 w dniach:

1 — 25 VIII 1967 r., 2 — 1 X 1969 r., 3 — 6 XI 1970 r., 4 — 11 VI 1971 r., 5 — 26 X 1971 r., 6 — 23 XI 1972 r.; L — szerokość koryta, H — wysokość zwierciadła wody, SWW — średnia wysoka woda, SW — średnia woda, SNW — średnia niska woda

Models of cross-sections of the Vistula channel in the profiles 2, 6, 15 and 23 on:

1 — Aug. 25th, 1967, 2 — Oct. 1st, 1969, 3 — Nov. 6th, 1970, 4 — June 11th, 1971, 5 — Oct. 26th, 1971, 6 — Nov. 23rd, 1972. L — channel width, H — water table height, SWW — mean high water, SW — mean water, SNW — mean low water

wych. Generalnie jednak model tej strefy miał kształt trójkątny o tendencjach do obniżania dna koryta, w czym należy upatrywać oddziaływania zapory.

Od tych trzech podstawowych typów modeli przekrojów poprzecznych odbiegały przekroje 11 i 23. Przekrój poprzeczny 11, przebiegających odbiegały przekroje 11 i 23. Przekrój poprzeczny 11, przebiegający do przekroju 15, z tym że w ciągu 6 analizowanych lat nie zanotowano większych zmian szerokości koryta. Przekrój 23 z kolei (ryc. 24), w przeciwieństwie do poprzedniego, charakteryzował się dużą zmiennością przy wszystkich wysokościach stanów wody. Aczkolwiek charakter zmian był

tu podobny do przekroju 6, jednak stwierdza się brak wyraźnego porządku morfodynamicznego. Najprawdopodobniej było to związane z intensywnymi pracami bagrowniczymi lub z wpływem rzeki Zgłowiączki.

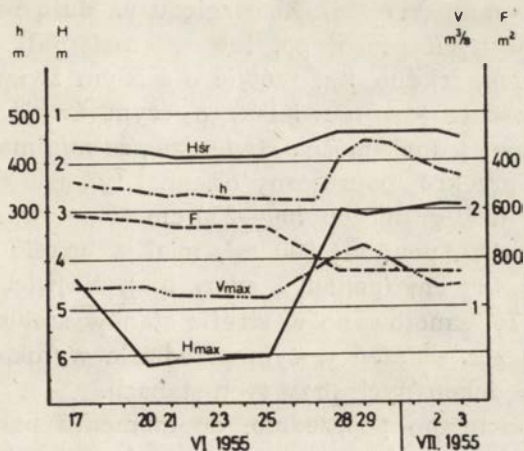
Ogólnie, jak wynika z 33 modeli przekrojów poprzecznych, szerokość nurtowej odnogi koryta (bez strefy kęp i odnóg bocznych), przy średnim stanie wody (SW) wynosiła od 500 m (przekrój 13) do 850 m (przekrój 1); najczęściej wahała się około 600 m. Natomiast szerokość koryta w okresie fali powodziowej wynosiła na badanym odcinku od 0,6 do 1,2 km.

Charakterystykę wielkości powierzchni oraz średniej i maksymalnej głębokości przekrojów poprzecznych koryta dla strefy wodowskazu Włocławek przedstawiono na rycinie 6, a dla całego badanego odcinka na rycinie 22. Aby otrzymać wielkości porównywalne, powierzchnie przekrojów poprzecznych oraz maksymalne i średnie głębokości koryta określano w stosunku do stałej wysokości zwierciadła wody, wynoszącej dla sytuacji zawartej na rycinie 6 — 245 cm, a na rycinie 22 — 260 cm.

Powierzchnie przekrojów poprzecznych, ograniczone linią stanu wody równą 245 cm, wahały się w ciągu okresu 1956—1973 r. od 388 m² (1963 r.) do 1040 m² (1964 r.); najczęściej oscylowały około 600 m². Wielkość powierzchni przekroju poprzecznego strefy wodowskazowej do momentu wybudowania zapory zmieniała się zależnie od stanów wody i przepływów rzeki (ryc. 6). Podczas powodzi i w okresie powodziowym następował wzrost powierzchni przekroju poprzecznego. Wskazują na to między innymi pomiary przeprowadzone w latach 1958, 1962, 1964, 1967 i 1970 (ryc. 6), jak również sytuacje przedstawione na rycinie 25. Przyrost powierzchni przekroju poprzecznego koryta w okresie wysokich stanów wody, widoczny jest też na rycinie 23. Proces ten występował przede wszystkim dzięki rozszerzeniu się strefy dna koryta.

Zmiany kształtu powierzchni przekroju poprzecznego następowały nagle przy określonym stanie wody, który odpowiadał momentowi zalewu oraz możliwości transportu i erozji stref odnóg bocznych. W czasie trwania stanów średnich (17—25 VI) dla przykładu nie zanotowano zmian w przekroju poprzecznym koryta, poza pogłębieniem się płosa (ryc. 23). Wystarczył jednak jeden dzień 27/28 VI, podczas którego h podniosło się o 1 m, aby nastąpiła zmiana konfiguracji dna, a tym samym wielkość powierzchni przekroju poprzecznego koryta. Późniejszy przyrost stanu wody o dalsze 0,5 m, jak też i częściowe jego obniżenie (do 3 VII), nie przyniosły prawie żadnych zmian dna koryta (ryc. 23, 25). Natomiast w okresie stanów średnich, a tym bardziej niskich, powierzchnia przekroju poprzecznego osiągnęła najmniejsze wartości, charakteryzując się przy tym pewną stabilizacją (ryc. 25).

Wykorzystując wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych F , obliczonych przy $h = 245$ cm (ryc. 6), w odniesieniu do stanów wody, przy których były dokonywane pomiary, ustalono związek pomiędzy ty-

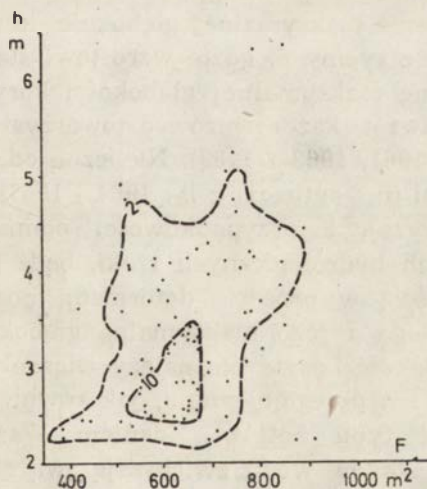


Ryc. 25. Charakterystyka niektórych elementów geometrii koryta w profilu wodowskazu Włocławek w okresie od 17 VI do 3 VII 1955 r.

H — głębokość koryta, h — stany wody, F — powierzchnia przekroju poprzecznego koryta, V — prędkość płynięcia wody

Characteristics of some elements of channel geometry in the profile of Włocławek water gauge in the period from June 17th to July 3rd, 1955

H — channel depth, h — water levels, F — area of cross-section of the channel, V — velocity of water flow



Ryc. 26. Zależność między powierzchnią przekroju poprzecznego koryta (F) mierzoną od $H = 260$ cm a stanem wody h , przy którym były dokonywane pomiary

2, 10 — liczba zdarzeń w polu o wartości: $h = 0,5$ m i $F = 100$ m²

Dependence between the area of cross-section of the channel (F) measured from $H = 260$ cm and the water level h at which the measurements were made

2, 10 — number of events in the field of the value: $h = 0,5$ m and $F = 100$ m²

mi charakterystykami (ryc. 26). Ze względu na dużą przypadkowość pomiarów dokonywanych przed, po, lub w czasie fali powodziowej czy w okresie niżówek, trudno jest mówić o ścisłym związku między nimi. Stąd też zależność ta jest niewielka, o czym świadczy duży rozrzut punktów. Niemniej jednak można stwierdzić, że minimalną powierzchnię, poniżej 400 m², przekrój poprzeczny osiągnął tylko w czasie niskich stanów wody, przy h w granicach 200—250 cm (2 notowane zdarzenia), natomiast maksymalną, powyżej 800 m², miał w strefie stanów wysokich przy h powyżej 400 cm (ponad 2 zdarzenia). Najwięcej stwierdzonych zdarzeń, ponad 10, zanotowano w strefie stanów średnich przy F 600—650 m². Duża liczba zdarzeń w tym przedziale wynika głównie z dużej liczby pomiarów dokonanych przy tych stanach.

Jak już wspomniano poprzednio, do momentu przegrodzenia Wisły zaporą powierzchnie przekrojów poprzecznych, jak też średnie i maksymalne głębokości koryta kształtowane były w zależności od stanów wody. Średnia i maksymalna głębokość koryta przejawiały te same tendencje o zależności odwrotnie proporcjonalnej do stanów wody (ryc. 6, 23, 25). Dla przykładu, w okresie 17—20 VI 1955 r., przy obniżeniu się stanu wody o 0,2 m nastąpił wzrost maksymalnej głębokości względnej o prawie 1,8 m (ryc. 23, 25). Tymczasem w okresie wzrostu stanów wody do $h = 450$ cm przegłębienie koryta zostało zasypane, zmniejszając tym samym maksymalną głębokość do 3 m. Stąd należy wnosić, że podniesienie się zwierciadła wody w ciągu jednego dnia o 1 m spowodowało dwukrotne zmniejszenie maksymalnej głębokości koryta. Ten sam wniosek wynika również z ryciny 6, gdzie wzrostowi stanów wody towarzyszyło zmniejszenie się maksymalnej głębokości koryta (sytuacja dla lat 1958 i 1962) i na odwrót, każdej niżówce towarzyszył wzrost głębokości (np. w latach 1957, 1961, 1963 i 1969). Nieliczne odchylenia zaprzeczające temu stwierdzeniu (np. sytuacja z lat 1964 i 1967) mogły wynikać, jak już wspomniano wyżej, z przypadkowości pomiarów dokonywanych w różnych sytuacjach hydrologicznych rzeki, bądź mogły być spowodowane różną prędkością w procesie deformacji pomiędzy powierzchnią przekroju poprzecznego a jego maksymalną głębokością. Należy dodać, że maksymalną głębokość koryta nie należy wiązać tylko z płosami, lecz przede wszystkim z ich przegłębieniami, jak również z mniejszymi formami negatywnymi typu kotłów. Zdaniem Ważnowa (1976), płosa w okresie wysokich stanów wody zwiększają swą objętość, a po okresie niżówek zmniejszają. Taka sytuacja istnieje również w przypadku koryta Wisły, lecz nie w odniesieniu do maksymalnej głębokości koryta.

Odbiciem przebiegu krzywej względnej maksymalnej głębokości koryta, lecz o mniejszej amplitudzie wahań, jest krzywa średnich głębokości koryta w poszczególnych przekrojach poprzecznych. Na taki układ, gdzie przyrost wielkości powierzchni przekroju poprzecznego jest odwrotnie proporcjonalny do przyrostu średniej głębokości koryta, mają

wpływ przede wszystkim ramiona boczne koryta (ryc. 23). W okresie fali powodziowej ulegają one zalaniu i obniżeniu. Obniżenie to, dające przyrost powierzchni przekroju poprzecznego, nie jest jednak tak duże, aby zrekomensować przyrost szerokości koryta. Stąd też średnia głębokość koryta, będąca ilorazem powierzchni przekroju do jego szerokości, była w tym okresie mniejsza. Po przejściu fali powodziowej od momentu, gdy energia kinetyczna wód płynących ramionami bocznymi koryta była na tyle mała, by nie erodować dna koryta (stany średnie i średnie wysokie), następowało ich wypełnianie. Dlatego też w okresie niskich stanów wody powierzchnia przekroju poprzecznego koryta zmniejszała się kosztem ramion bocznych, jednak średnia głębokość koryta wzrastała na skutek ograniczenia przekroju do jego części nurtowej.

Średnia głębokość koryta w przekroju wodowskazu Włocławek, mierzona od zwierciadła wody $h = 245$ cm, wynosiła od 1,1 m do 3 m, a najczęściej 2 m (ryc. 6).

Przedstawiona wyżej charakterystyka morfodynamiczna przekroju poprzecznego dotyczy koryta Wisły w strefie wodowskazu Włocławek, gdzie koryto zwęża się, stwarzając niedogodną sytuację dla rozwoju łach skośnych. Stąd też wspólnie z charakterystyką mezoforum przedstawioną w rozdziale o morfologicznej działalności wód płynących stanowi uzupełnienie problemu dynamiki tych form w korycie Wisły.

DYNAMIKA PROFILU PODŁUŻNEGO DNA KORYTA

Charakterystykę profilu podłużnego dna koryta, o długości ponad 10 km, przedstawiono na podstawie wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych, maksymalnych i średnich głębokości koryta, mierzonych od linii zwierciadła wody $h = 260$ cm (uwzględniając spadek zwierciadła wody). We wszystkich rozpatrywanych przypadkach pomiary przekrojów poprzecznych dokonywane były w czasie średnich i niskich stanów wody (od 238 cm do 335 cm), występujących po okresie powodziowym (ryc. 6). Fakt dokonywania pomiarów w podobnych warunkach reżimu hydrologicznego rzeki sprawił, że materiał badawczy stał się porównywalny.

Pierwsze pomiary, które wykonano w dniach 12—17 V 1959 r., charakteryzowały stan dna koryta Wisły przed jego przegrodzeniem zaporą we Włocławku. Ekstremalne wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych na całej długości badanego odcinka wynosiły wówczas od 565 m² do 730 m² (ryc. 22). Wartości te wskazują na niewielkie zróżnicowanie powierzchni przekrojów poprzecznych rzeki w profilu podłużnym. Podobną sytuację zanotowano w przypadku wielkości średnich głębokości koryta, których zmienność ograniczała się do 0,8 m (od 1,1 do 1,9 m), (ryc. 22). Małe zróżnicowanie wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych i ich pochodnych — średnich głębokości koryta w profilu podłużnym rzeki — było najprawdopodobniej związane z pewną stabilizacją

koryta w tym czasie. Wniosek ten wyciągnięto również z analizy stosunków hydrologicznych Wisły (rozdz. III). Stanowił on wówczas podstawę wyjściową do określenia zmian dna koryta w profilu wodowskazu Włocławek. O ile w przypadku powyższych charakterystyk koryta stwierdzono małe zróżnicowanie, to w odniesieniu do przebiegu maksymalnych głębokości koryta zanotowano duże ekstrema dochodzące do 4,2 m (od 2,4 do 6,6 m).

Rytmiczny układ przebiegu maksymalnych głębokości koryta w profilu podłużnym sugeruje wyraźne wykształcenie się form typu plos i przemiałów. Tak więc od przekroju poprzecznego 2 do 12 oraz 22 do 26 znajdowały się strefy przemiałów przedzielone plosami. Wniosek ten wynika również z sytuacji koryta z 1959 r. zobrazowanej na rycinie 16, a otrzymanej z interpretacji zdjęć lotniczych.

Bardziej zróżnicowany przebieg, w stosunku do sytuacji z 1959 r., miały profile podłużne koryta w następnych latach (od 25 VIII 1967 do 23 XI 1972 r.), przypadających na okres spiętrzania i działalności zbiornika (ryc. 22). Złożoność sytuacji profilów podłużnych wynikała z bardzo intensywnych prac bagrowniczych i regulacyjnych koryta oraz oddziaływania zapory wodnej (*Studium wpływu...* 1974), a także z błędów technicznych opracowania materiałów badawczych, polegających między innymi na różnym zagęszczeniu przekrojów poprzecznych koryta.

W okresie piętrzeniowym, który poprzedzały intensywne prace regulacyjne (sytuacje dla lat 1967 i 1969), wielkość powierzchni przekrojów poprzecznych koryta wynosiła od 452 m² do 1700 m², a ich różnica — 1248 m² (ryc. 22). W odniesieniu do średnich głębokości koryta zróżnicowanie to dochodziło do 1,89 m (od 0,85 m do 2,72 m). W obydwu przypadkach nastąpił wzrost wartości w stosunku do danych z pierwszego pomiaru, zwłaszcza w strefie przylegającej do zbiornika. Dla przykładu, powierzchnia przekroju poprzecznego koryta 1 w okresie od sierpnia 1967 r. do października 1969 r. (767 dni) powiększyła się aż o 467 m². Wraz z oddalaniem się od zbiornika zróżnicowanie tych parametrów miało tendencje malejące, by pomiędzy przekrojami poprzecznymi koryta 28 i 30 osiągnąć swe minimum. Była to strefa akumulacji materiału wyerodowanego z górnej części badanego odcinka Wisły.

Z przebiegu linii maksymalnych głębokości koryta stwierdzono, że na badanym odcinku rzeki w dniu 25 VIII 1967 r. występowały 3 przemiały przedzielone plosami (ryc. 22). Pierwsze plosa mieściło się w strefie ograniczonej przekrojami 8—16, drugie 24—27, a trzecie od 31 w dół rzeki. Do października 1969 r. plosa uległy przemieszczeniu w dół rzeki, występując odpowiednio pomiędzy przekrojami 12—20, 26—28 oraz poniżej przekroju 31. Tak więc w ciągu 767 dni czoła lub ogony plos czy przemiałów przesunęły się od 0,5 do 1,0 km (średnio 750 m). Stąd średnia prędkość przemieszczania się tych form wynosiła około 1 m na dobę. Wynik ten, obliczony za pomocą analizy przekrojów poprzecznych, po-

twierdza wcześniej otrzymaną wartość dla odcinka szczegółowej analizy (rozdz. V — 2). Podobną zgodność stwierdzono także w przypadku wielkości tych form, których długość wynosiła około 1,5 km.

Pozostałe 3 pomiary przypadają już na okres intensywnej działalności zbiornika we Włocławku (6 XI 1970, 26 X 1971, 23 XI 1972 r.). Fakt przegrodzenia koryta zaporą w sposób znamieny wpłynął na kształtowanie się wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych, średnich i maksymalnych głębokości koryta w profilu podłużnym. Przede wszystkim nastąpił wzrost wartości tych trzech parametrów (ryc. 6, 22). Dla przykładu, od 1969 r. do 1971 r. nastąpił przyrost powierzchni przekroju poprzecznego 1 o 502 m², a przekroju 5 o 862 m². Średnie głębokości koryta wzrosły odpowiednio o 0,33 m i 1,43 m, a maksymalne o 2,3 m i 1,7 m. Od 1971 r. do momentu wykonania ostatniego pomiaru, wartości tych charakterystyk przejawiały tendencje malejące. Powierzchnie przekrojów poprzecznych koryta 1 i 5 pomniejszyły się odpowiednio o 76 m² i 226 m², średnie głębokości koryta o 0,18 m i 0,35 m, natomiast maksymalne głębokości koryta pomniejszyły się w obydwu przypadkach o 0,4 m (ryc. 22). Proces pogłębiania się dna koryta w sąsiedztwie zapory, przy jednoczesnej stabilizacji lub wręcz tendencji spływania w strefie Kępy Grodzkiej i Krzywogórskiej, świadczył o zmniejszaniu się spadku profilu podłużnego dna koryta Wisły w tym okresie (ryc. 3, 22). Poza wzrostem wartości bezwzględnych powierzchni przekrojów poprzecznych, średnich i maksymalnych głębokości koryta w poszczególnych profilach nastąpił wzrost amplitud między ich wartościami ekstremalnymi w profilu podłużnym rzeki. W przypadku powierzchni przekrojów poprzecznych amplitudy te wynosiły dla lat: 1970 — 1610 m², 1971 — 1544 m², 1972 — 1532 m². Natomiast dla średnich głębokości koryta odpowiednio 2,21 m, 2,18 m, 2,98 m, dla głębokości maksymalnych zaś 2,44 m, 5,52 m, 4,64 m (ryc. 22).

Rozwój strefy nurtowej rzeki w profilu podłużnym badanego odcinka — opartej na analizie różnicy połowicznego podziału powierzchni przekrojów poprzecznych (bez kęp i odnóg bocznych), ograniczonych linią zwierciadła wody $h = 260$ cm — przedstawiono na rycinie 22. Z ryciny tej wynika, że w 1967 r. strefa nurtu od zapory do 2,5 km przebiegała wzdłuż prawego brzegu koryta. Następnie od 2,5 do 6,6 km biegu rzeki towarzyszyła ona brzegowi lewemu, aby ponownie od 9,7 km przebiegać wzdłuż prawego brzegu. Tak więc w odległości 2,5 km, 6,6 km i 9,7 km od zapory znajdowały się strefy przerzutów nurtu. Nurt w tych miejscach zajmował centralną część koryta. Sytuacja ta uległa zmianie po wybudowaniu zapory (lata 1970—1972). Chociaż zmiany te w dolnej części badanego odcinka były niewielkie, to jednak od zapory do 3 km uformował się nowy układ lewobrzeżnego nurtu. Sztuczne przerzucenie nurtu rzeki na lewy brzeg koryta wywołało zaburzenia w przebiegu nurtu aż do 7 km badanego odcinka. Na uwagę zasługuje fakt, że różnica

między prawo- i lewobrzeżnymi połowami przekrojów poprzecznych nie przekraczała 800 m². Najczęściej wartość ta wynosiła od 400 m² do 500 m².

Reasumując zagadnienie rozwoju profilu podłużnego koryta Wisły należy stwierdzić, że po okresie względnej stabilizacji przypadającej na lata pięćdziesiąte i sześćdziesiąte bieżącego stulecia, nastąpił wzrost jego dynamiki spowodowany wybudowaniem zapory wodnej we Włocławku. Fakt przegrodzenia koryta zaporą przyczynił się do jednokierunkowego rozwoju dna koryta, zmierzającego do obniżania i zmniejszania jego spadku. To z kolei przyczyniło się do jego zubożenia ilości i wielkości mezoform korytowych, zwłaszcza w bezpośrednim sąsiedztwie zapory. W ostatnim analizowanym okresie stwierdzono jednak zmniejszenie się dynamiki profilu podłużnego koryta oraz cechy pewnej stabilizacji.

VI. ZMIANY I TENDENCJE ROZWOJOWE KORYTA WISŁY OD ZAPORY DO WŁOCŁAWSKICH AZOTÓW DO 1974 ROKU

W kształtowaniu współczesnych procesów korytowych badanego odcinka Wisły można wyróżnić dwa zasadnicze okresy: okres do momentu wybudowania zapory i okres działalności zbiornika wrocławskiego. Różnią się one między sobą nie tylko pod względem reżimu hydrologicznego rzeki, lecz również właściwościami morfodynamicznymi koryta. W związku z tym, że morfodynamika koryta kształtowana jest głównie przez wody płynące (Antropowski 1969), oba te czynniki korytotwórcze należy rozpatrywać łącznie. Powiązanie ich ma szczególne znaczenie przy rozpatrywaniu zmian i tendencji rozwojowych koryta.

ROZWÓJ KORYTA WISŁY DO MOMENTU WYBUDOWANIA ZAPORY

Koryto Wisły wraz z terasą zalewową założone jest w utworach piaszczystych fluwialnych i glaciofluwialnych (rozdz. II). Terasa zalewowa, jako integralna część łóżyska rzeki, towarzysząca w postaci wąskich listew korytu rzeki, została utworzona w holocenie (Wiśniewski 1976). Fakt ten został potwierdzony badaniami prowadzonymi przez Drozdowskiego i Berglunda (1976), na obszarze doliny dolnej Wisły poniżej miejscowości Fordon. Dzięki datowaniu osadów terasy zalewowej metodą C^{14} , ustalili oni jej wiek w pierwszym przypadku na 6969 ± 75 BP, a w drugim na 4940 ± 65 BP. Ta duża rozpiętość wiekowa powierzchniowej części terasy zalewowej, sięgająca co najmniej od okresu atlantyckiego do współczesnego, zdaniem autorów, była wynikiem meandrowania rzeki na skutek transgresji morskich.

Według Rotnickiego również rzeka Proсна od okresu borealnego przejawiała charakter rzeki meandrującej z tendencją do stałego obniżania się dna koryta. Od późnego glacjału do okresu borealnego rzeka ta miała reżim typowy dla rzeki roztokowej (Kozarski, Rotnicki 1978). Podobnie było w przypadku rozwoju doliny Zaleskiej Strugi — lewobocznego dopływu środkowej Proсны (Przybylski, Rotnicki 1961). O takim samym kierunku rozwoju rzek nizinnych, na bazie wywodów licznych badaczy, mówi również Starkel (1977). Należy zaznaczyć, że analizowane

przez tych autorów rzeki od Wisły dzieli znaczna przestrzeń, stąd też i możliwości ich różnego rozwoju w czasie. O typie meandrującej rzeki Wisły w środkowym biegu, w okresie holocenu do XVII w., pisał także Falkowski (1967). Autor ten twierdzi, że w okresie borealnym, a więc w czasie, w którym mieści się wiek obydwu datowań terasy zalewowej odcinka dolnej Wisły (Drozdowski, Berglund 1976), maksymalne wcięcie meandrującej rzeki mogło sięgać do głębokości około 15 m poniżej powierzchni terasy zalewowej. Przypuszczalnie wartość tę należy uznać za maksymalną również na badanym odcinku Wisły, skoro 11-metrowe wcięcie stwierdzono w trakcie pomiarów. Stąd też starsze utwory fluwialne w holocenie uległy „przemieszaniu” na wysokości zapory do głębokości 34 m n.p.m., natomiast przy Kępie Korabnickiej do głębokości 32 m n.p.m.

Meandrująca rzeka, o niemal ustabilizowanym reżimie przepływu osadów, zmieniała położenie koryta. Na badanym terenie, poza strefą okolic Korabnik (ryc. 2), zmiany te były jednak niewielkie, najprawdopodobniej z powodu czynnika krępującego je, tj. w miarę odpornych na erozję teras IV i VI oraz Wysoczyznę Dobrzyńską (rozd. II). Dlatego też w okresie holocenu do XVII w. (Falkowski 1967), badany odcinek Wisły mógł charakteryzować się jedynie typem ograniczonego meandrowania. Od XVII w., jak stwierdził Falkowski, nastąpiły wyraźne zmiany w procesach fluwiodynamicznych środkowej Wisły. Uważa on, że na skutek działalności gospodarczej człowieka, przejawiającej się w niszczeniu szaty leśnej, rzeka ta uległa przekształceniu z typu meandrowego na typ dziki, czyli roztokowy. Ze względu na to, że proces ten rozwijał się na obszarze całego dorzecza Wisły, badany odcinek powinien również ulec przeformowaniu na typ roztokowy. Rzeki roztokowe charakteryzują się przeciążeniem niesionego rumowiska, dużymi wahaniami stanów wody (np. w Toruniu notowano wówczas stany o 7 m wyższe od obecnych stanów średnich) i dużymi spadkami zwierciadła wody. W korycie występowało wówczas wiele łach, głównie centralnych, których lokalizacja była związana z lokalnymi warunkami hydraulicznymi koryta. Na badanym odcinku strefa o zwiększonej ilości łach centralnych mieściła się od 1 do 5 km w dół od obecnej zapory (ryc. 16).

W warunkach rzeki dzikiej, między innymi ze względu na dużą zmienność stanów wody i spadków jej zwierciadła, istniały niesprzyjające warunki do powstawania utrwalonych form typu kęp czy odsypów brzegowych. Niemniej jednak mogły tworzyć się kępy przez odcinanie części terasy zalewowej w czasie trwania wysokich stanów powodziowych lub poprzez utrwalanie łach bocznych, których w tych warunkach było bardzo mało. Podobnych spostrzeżeń dokonał Popow (1962) na rzece Ob, dając jednocześnie klasyfikację i kierunki deformacji wysp rzecznych (rozd. IV). Kępy o wyżej przedstawionej genezie występowały przed regulacją pomiędzy 4 i 5 km oraz 9—10 km badanego odcinka (ryc. 16). Łączna powierzchnia tych kęp wynosiła wówczas 13,8 ha.

Radykalne zmiany koryta nastąpiły od momentu wykonywania intensywnych prac regulacyjnych rzeki przypadających na lata trzydzieste bieżącego stulecia, chociaż już wcześniej obserwowano przekształcenia koryta związane z pewnymi usprawnieniami żeglugi na Wiśle. Głównym celem regulacji było ograniczenie koryta średniej wody ostrogami rzecznyymi i murami bocznymi do szerokości 350 m oraz ukierunkowanie nurtu do przebiegu meandrowego.

Wraz z regulacją nastąpił proces kształtowania się nowego typu koryta. W przypadku regulacji prostolinijnego odcinka rzeki takiego, jaki przedstawił Rossiński i Kuźmin (1958) czy Śliwczyński (1973), wiodącymi mezoformami korytowymi były łachy boczne, a układ plos i przeziałów należał do typu I o plosach zachodzących (ryc. 14). Oprócz tego regulacja rzeki wpłynęła wydatnie na przyrost powierzchni kęp. Od II połowy XIX w. do 1951 r. powierzchnia ich na badanym odcinku zwiększyła się prawie 4,7-krotnie. Powierzchnia trzech głównych kęp w 1951 r. wynosiła 38 ha, z czego na Włocławską przypadało 10,8 ha, Grodzką 20,4 ha, a na Krzywogórską 6,8 ha. Łączna powierzchnia kęp na badanym odcinku wynosiła około 64,4 ha.

Ten trend przyrostu powierzchni kęp z jednoczesną ich stabilizacją zaznaczył się również w latach następnych. W dniu 7 X 1959 r. łączna powierzchnia kęp na tym odcinku wynosiła już 116,8 ha. W ciągu ośmiu lat nastąpił 1,8-krotny przyrost tych form. Powierzchnia Kępy Włocławskiej wzrosła 3,8-krotnie, Grodzkiej 1,4-krotnie, natomiast Kępy Krzywogórskiej prawie 2,8-krotnie (do całkowitej powierzchni kęp włączono również mniejsze sąsiadujące z nimi wysepki). Oprócz stałych form korytowych typu kęp, pojawiły się w tym okresie nowe, a mianowicie odsypy brzegowe. Łączna powierzchnia tych form, usytuowanych tylko na prawym brzegu Wisły, wynosiła 42,8 ha (górną 26,0 ha, środkową 10,8 ha i dolną 6,0 ha). Morfologię oraz warunki tworzenia się odsypów omówiono w rozdziale IV.

W ciągu ośmiu lat (1951—1959) zaznaczyły się w kilku przypadkach zmiany w przebiegu nurtu (ryc. 16). W górnej części badanego odcinka nurt rzeki przesunął się w kierunku lewego brzegu, zajmując niemal centralne położenie. W wyniku tego przemieszczenia, mającego podłoże w zmianach hydrodynamicznych rzeki w strefie wyżej leżącej, lewo-brzeźna łacha uległa częściowemu zniszczeniu łącznie z ostrogami rzecznyymi. Dzięki temu wyodrębniły się 2 kępy centralne, a mianowicie na początku badanego odcinka i powyżej Kępy Włocławskiej, dzielące nurt na 2 zasadnicze prądy rzeczne. Jak wskazują warunki morfodynamiczne łach przykępowych tych wysp, prądy prawobrzeżne przejawiały w tym czasie większą żywotność (ryc. 16). One to na drodze swojego przepływu zniszczyły górną część odsypu brzegowego (0,45 ha) oraz górną część Kępy Włocławskiej (2,55 ha). Czoło tej kępy cofnęło się w głąb około 140 m (średnio 17,5 m na rok). Przy założeniu, że wysokość powierzchni

kępy wynosiła przed zniszczeniem 47,5 m npm., natomiast po zniszczeniu dno zalegało na wysokości 43,6 m npm. (uwzględniono spadek zwierciadła I, odnosząc go do $h = 47,77$ m npm. przy średniej głębokości koryta w tym miejscu 1,5 m) wyerodowaniu uległa warstwa prawie 4 m miąższości. Iloczyn tej cyfry do wielkości powierzchni zniszczonej części kępy, wynoszący 102 tys. m³, określa ilość wyerodowanego materiału. Na odcinku od 2,5 km do 4,0 utworzyła się jedna strefa lewobrzeżnych prądów, dzięki którym między innymi została zniszczona lewobrzeżna kępa o powierzchni 1,6 ha (64 tys. m³ materiału). Związanie nurtu z lewym brzegiem Wisły oraz ograniczenie przepływu wody prawą odnogą rzeki za Kępą Włocławską wpłynęło na zmianę przebiegu pierwszego w tym okresie i na badanym obszarze przemiału. Przesunął się on w dół rzeki lewym ramieniem o około 400 m, natomiast prawym blisko 900 m. Zniszczeniu uległa w tym czasie lewobrzeżna łacha boczna. Wody przepływające przez przemiał, uderzając w czoło Kępy Grodzkiej, spowodowały jej erozję. Linia brzegowa kępy przesunęła się w głąb o około 70 m, dając średnią prędkość cofania się brzegu 8,75 m/rok. Zostało wówczas wyerodowane około 60 tys. m³ materiału z powierzchni około 1,5 ha (obliczenia jak w przypadku Kępy Włocławskiej). Na uwagę zasługuje fakt zwiększenia się krzywizny łuków strefy nurtowej koryta rzeki na odcinku od mostu drogowego do Kępy Grodzkiej (ryc. 16). Miało to między innymi wpływ na rozwój zmian koryta niżej w dół rzeki. W związku z tym, odsunięcie się nurtu pomiędzy 6 a 8 km od lewego brzegu w kierunku prawego przyczyniło się z jednej strony do niszczenia Kępy Grodzkiej (2 odcinki erozyjne o łącznej powierzchni 1,6 ha; ryc. 16), z drugiej zaś do wypełniania lewobrzeżnych stref międzyostrogowych i tworzenia łach bocznych. Ograniczenie poprzez budowę ostróg przepływu lewobrzeżną odnogą rzeki, mieszczącą się między brzegiem koryta a Kępą Krzywogórską, spowodowało zmiany w warunkach hydrodynamicznych tego odcinka. Dzięki temu nastąpił przyrost kępy oraz bocznej łachy przykępowej.

Na skutek przerzucenia nurtu na prawy brzeg rzeki, pomiędzy ogonem Kępy Grodzkiej a początkiem Krzywogórskiej, powstał przemiał około 1,5 km długi i 0,3 km szeroki. Występujące w tym czasie niskie stany wody spowodowały, że łacha ta podlegała intensywnym przemianom erozyjnym. Dalej w dół rzeki prądy wodne, odbite od odpornego na erozję prawego brzegu koryta, skierowane zostały ku centralnej części Kępy Krzywogórskiej. W konsekwencji zmiany kierunku płynięcia wody ku lewemu brzegowi powstała na 8 km łacha skośna, której górne ramię opierało się o czoło Kępy Krzywogórskiej, natomiast dolne o powstający w „cieniu” prądu prawobrzeżny odsyp brzegowy. Wody przepływające przez przemiał skierowały się ku centralnej części Kępy Krzywogórskiej, erodując ją. W stosunku do sytuacji z 1951 r. linia brzegowa kępy uległa w tym miejscu, na odcinku około 500 m, przesun-

nięciu w głąb na odległość 20—40 m. W ten sposób zostało zniszczone około 1,25 ha powierzchni kępy. Poniżej strefy przemiału prądy wodne nie napotykając na przeszkody, np. ostrogi, kontynuowały swój dawny kierunek płynięcia dzięki sile bezwładności. Na kontakcie z mniej dynamicznym lewobrzeźnym prądem, przepływającym wąską odnogą pomiędzy brzegiem a Kępą Krzywogórską, powstał ostatni na badanym odcinku przemiał o przebiegu równoległym do poprzedniej łachy skośnej. Jest to szczególny tego typu przypadek, gdzie układ równoległych do siebie przemiałów sugeruje niedostosowanie się istniejących warunków hydraulicznych rzeki do stosunków morfometrycznych koryta. Dlatego należy spodziewać się radykalnych zmian koryta na tym odcinku, zmierzających do wyrównania tych dysproporcji pomiędzy warunkami hydraulicznymi a morfometrycznymi rzeki. Dowodzi tego następująca sytuacja koryta z 1965 r. (ryc. 16).

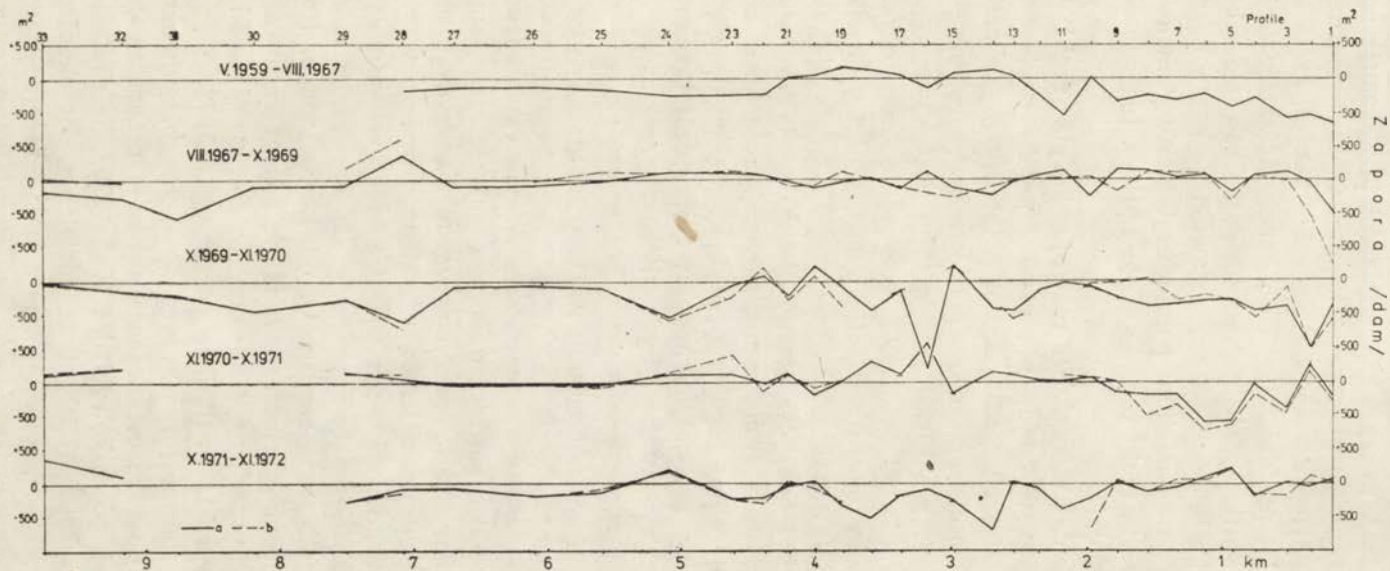
Brak mapy batymetrycznej dna oraz interpretacji dynamicznej łach (mapa sytuacyjno-wysokościowa) nie pozwolił w sposób jednoznaczny scharakteryzować kierunków prądów rzecznych, jak też zmian koryta. Niemniej Kępa Krzywogórska uległa zniszczeniu w środkowej i końcowej części, jako następstwo oddziaływania na nią prądów przepływających przez przedostatni przemiał. Do 1965 r. prawobrzeżna część Kępy Krzywogórskiej została przesunięta w kierunku lewego koryta o około 100 m. Na skutek tego procesu zostało zniszczone 7,5 ha jej powierzchni. Nieznacznej deformacji podlegała również w tym czasie centralna część lewego brzegu Kępy Grodzkiej, jako efekt wyrównywania (zwiększania) krzywizny meandrowego charakteru nurtu rzeki, o czym wspomniano poprzednio. W górnej części badanego odcinka stwierdzono 3 przypadki zmian w układzie mezofর্ম korytowych (ryc. 16). W dwóch przypadkach dotyczyły one niszczenia kęp centralnych, leżących na 1 i 2 km badanego odcinka. Pierwsza kępa uległa wówczas całkowitej degradacji (7,6 ha — ok. 304 tys. m³ materiału), natomiast druga podlegała erozji w czołowej części pod wpływem wód przepływających przez pierwszy przemiał na 1,5 km (zniszczeniu uległo 0,8 ha powierzchni kępy). W trzecim przypadku zmiany dotyczyły przede wszystkim wzrostu powierzchni łachy przykępowej bocznej Wyspy Włocławskiej oraz łachy dolnej centralnej kępy, leżącej na 2 km (ryc. 16). Dynamiczny układ przykępowych łach, jak też kierunki rozwoju stref erozyjnych na tym odcinku rzeki, wskazywały na bardziej centralny niż w poprzednim okresie przebieg nurtu w strefie dzisiejszej zapory. Po przejściu przez przemiał nurt został następnie rozdzielony na 2 zasadnicze prądy, z których prawobrzeżny przejawiał większą żywotność. O ile w 1959 r. prądy prawobrzeżne skierowane były ku lewemu brzegowi pod kątem 30°, a ich siła uderzeniowa znajdowała się na 2,5 km, to w 1965 r. przesunęła się ona w dół o 1 km, a kąt zmniejszył się do 20° (ryc. 16). Fakty te, mające uzasadnienie w zmianie przebiegu nurtu na początku badanego

odcinka, przyczyniły się do zmian akumulacji materiału wleczonego w obrębie Kępy Włocławskiej i leżącej wyżej od niej kępy centralnej. Dzięki temu powstał kompleks łach przykępowych dolnych wyspy centralnej (ok. 2 km) oraz zmniejszył się zasięg lewobrzeżnej łachy przykępowej bocznej Wyspy Włocławskiej.

Łączna powierzchnia kęp bez łach przykępowych wynosiła w 1965 r. 106 ha, natomiast z łachami przykępowymi 141,2 ha. W stosunku do 1959 r. powierzchnia tych form korytowych zmniejszyła się o 9,2%. W przypadku Kępy Włocławskiej i Grodzkiej zanotowano wzrost powierzchni odpowiednio o 21 i 1,4%, natomiast powierzchnia Kępy Krzywogórskiej zmalała o 40%. W ciągu tych sześciu lat nie stwierdzono istotnych zmian w kształcie i wielkości powierzchni odsypów brzegowych. Jedynie prawobrzeżny odsyp, usytuowany poniżej mostu drogowego, zwiększył swą powierzchnię o prawie 30%.

Sytuację morfologiczną dna koryta przed przegrodzeniem rzeki zaporą, o 2 lata później niż ostatni analizowany wyżej okres, charakteryzuje rycina 21. Kształty i wielkość kęp oraz odsypów brzegowych zostały przeniesione z mapy sytuacyjno-wysokościowej z 1965 r. (ryc. 16). W związku z tym, w sytuacji przedstawionej na tej rycinie, nie należy upatrywać żadnych zmian form trwałych w ciągu tych 2 lat.

Nieznaczne zmiany w warunkach hydrodynamicznych rzeki, pomiędzy rozpatrywanymi latami 1965 i 1967, stwierdzono w strefie od 1,5 do 2,5 km badanego odcinka. W wyniku intensywnych prac regulacyjnych rzeki pod przyszłą zaporę, jak też budowy lewobrzeżnej opaski (*Studium wpływu...* 1974), z procesów korytowych została wyłączona lewa odnoga strefy nurtowej, opływająca wyspę centralną (ryc. 16, 21). Pociągnęło to za sobą przede wszystkim zmianę kształtowania się lewobrzeżnej łachy przykępowej bocznej Kępy Włocławskiej oraz powstanie lewobrzeżnej łachy bocznej, przekształcającej się z upływem czasu w odsyp brzegowy. Mimo że kąt uderzenia prądów rzecznych ku lewemu brzegowi koryta był taki sam, jak w 1965 r., jednak jego skutki były inne, podobne do 1959 r. Sytuacja ta zaistniała dzięki temu, że główna strefa nurtu nie była spychana ku Kępie Włocławskiej przez lewobrzeżną odnogę, istniejącą jeszcze w 1965 r. Stąd też w „cieniu” kępy tworzyła się rozległa łacha przykępowa. Fakt ten należy traktować jako dowód na wystąpienie w strefie Kępy Włocławskiej, pomiędzy latami 1959 a 1967, jedynego odcinka o dodatnim bilansie rumowiska (ryc. 27). Wartość przyrostu powierzchni przekroju poprzecznego była w tym okresie niewielka i osiągała w przekroju 19 maksymalnie około 200 m². Oznacza to, że średnia głębokość koryta zmniejszyła się tu o ponad 0,3 m (ryc. 22). Na pozostałym obszarze badanego odcinka, pomiędzy latami 1959 a 1967, stwierdzono ujemny bilans rumowiska, będący wynikiem prac regulacyjnych i bagrowania dna koryta. W ciągu ośmiu lat, w bezpośrednim sąsiedztwie przyszłej zapory, powierzchnia przekroju poprzecznego stre-



Ryc. 27. Zmienność powierzchni przekrojów poprzecznych koryta Wisły pomiędzy poszczególnymi okresami badawczymi od zapory do Kępy Korabnickiej

a — dla koryta ograniczonego zwierciadłem wody H wynoszącym w strefie wodowskazu Włocławek 260 cm, b — dla koryta łącznie z kępami i odsypami brzegowymi

Variation of areas of cross-sections of the Vistula channel between different periods of research from the water dam to Kępa Korabnicka

a — for the channel limited by the water table H amounting to 260 cm in the zone of Włocławek water gauge, b — for the channel including islands and fixed side bars

fy dennej koryta wzrosła o ponad 600 m² (ryc. 27). W maju 1959 r. średnia głębokość dna koryta w przekroju 1 wynosiła około 1,4 m, natomiast w sierpniu 1967 r. ponad 2,7 m (ryc. 22). Wielkości te wskazują na prawie dwukrotny wzrost średniej głębokości koryta. Ogólnie można więc mówić o pewnych tendencjach do obniżania się dna koryta, które zaznaczyły się w okresie od lat pięćdziesiątych do końca lat sześćdziesiątych bieżącego stulecia. Fakt ten w sposób pośredni wynika również z bilansu mas transportu rumowiska unoszącego, przedstawionego przez Brańskiego (1972). Stwierdza on, że na odcinku pomiędzy Włocławkiem a Toruniem erozja zabiera z koryta rzeki rocznie około 130 tys. ton rumowiska (średnio za lata 1956—1965).

Reasumując zagadnienie warunków rozwoju koryta rzeki Wisły w okresie poprzedzającym wybudowanie zapory należy stwierdzić, że od początku lat pięćdziesiątych podlegało ono intensywnym zmianom ukierunkowanym działalnością gospodarczą człowieka. W wyniku regulacji koryta nastąpiło jego przekształcenie z typu roztokowego na typ ograniczonego meandrowania. W rezultacie tych zmian został ograniczony transport materiału wleczonego w strefie nurtu, a nastąpiło odkładanie go w strefach oddziaływania ostróg rzecznych i tworzenie nowych form typu łach bocznych i odsypów brzegowych. Te ostatnie, w przypadku rzeki o ograniczonym meandrowaniu, spełniają rolę teras zalewowych. Po dokonaniu generalnej regulacji rzeki, ukształtowała się nowa sytuacja morfologiczna dna z trwałymi kępami i odsypami brzegowymi, dostosowana do panujących warunków hydraulicznych rzeki.

ROZWÓJ KORYTA WISŁY W OKRESIE DZIAŁALNOŚCI ZAPORY

Prace związane z budową zapory we Włocławku rozpoczęto w maju 1962 r. W tym czasie również podjęto regulację rzeki, zmierzającą do dostosowania koryta do nowych warunków hydraulicznych. W trakcie realizacji tych prac należało uwzględnić przede wszystkim zmiany przebiegu przyszłego nurtu, jak również efekt wzmożonej działalności erozyjnej wód. Zjawiska te zaznaczyły się dopiero od momentu całkowitego przegrodzenia koryta zaporą, tj. od 13 X 1968 r. (fot. 2). W wyniku tego przegrodzenia, na które składa się zaporą czołową ziemną o długości 600 m i 10-prześłowy jaz, nastąpiło spiętrzenie wód rzeki dochodzące maksymalnie do 11 m (*Wykaz sztucznych...* 1972).

Kształtowanie się konfiguracji dna koryta w poszczególnych okresach badawczych od 1967 r. do 1972 r. obrazują sytuacje przedstawione na rycinie 21. W ciągu dwóch początkowych lat 1967—1969, na skutek przetrzucenia nurtu na lewy brzeg Wisły i przedzielenia dotychczasowego prawobrzeżnego zaporą ziemną, powstał nowy układ morfodynamiczny dna koryta, powiązany z postępującą w dół rzeki erozją denną oraz boczną kępą i koryta. W bezpośrednim sąsiedztwie zapory powstało rozległe



Fot. 2. Moment przegrodzenia koryta Wisły zaporą we Włocławku (fot. „Hydroprojekt” we Włocławku)

The moment of dividing the Vistula channel with the water dam in Włocławek (Phot. by “Hydroprojekt” in Włocławek)

płoso (wybój). Z powstaniem tej formy wiąże się proces wynoszenia materiału dennego, który trwał aż do osiągnięcia mało podatnego na erozję dna ilasto-kamienistego. W tym okresie, w najbliższym od zapory przekroju poprzecznym 1 zostało wyerodowane 476 m^2 materiału ze strefy dna koryta ograniczonej zwierciadłem wody $h = 45,19 \text{ m n.p.m.}$ Z kolei całkowita wartość wyerodowanego materiału, łącznie z 2 kępami i zbagrowanym poziomem terasowym, wynosiła 1231 m^2 (ryc. 27). Biorąc pod uwagę tylko strefę denną koryta, ograniczoną zwierciadłem wody $h = 45,19 \text{ m n.p.m.}$, w ciągu tych dwóch lat nastąpiło podniesienie się jej (spłylenie) o około $0,3 \text{ m}$ (ryc. 22). Ten nietypowy fakt dla strefy leżącej poniżej zbiornika zaistniał w tym czasie dlatego, że przy wzroście powierzchni przekroju poprzecznego koryta o 39% nastąpił większy o 18% przyrost szerokości koryta. Sytuacja ta powstała na skutek wykonania przekopu pod zaporę w lewobrzeżnym odsypie brzegowym.

Jak wykazują dane zawarte w tabeli 5, na odcinku zapory do 1 przekroju badawczego (670 m) zostało wyerodowane w tym czasie ponad $1,1 \text{ mln m}^3$ materiału, natomiast około $0,3 \text{ mln m}^3$ zakumulowane w prawobrzeżnej strefie dawnego nurtu. Współczynnik erozji do akumulacji (E do A) wynosił dla tego odcinka $3,83$ (tab. 6; ryc. 28). Oznaczało to prawie 4-krotny wzrost erozji w stosunku do akumulacji. Z wyerodowanego

Tabela 5

Wielkość materiału dennego wyerodowanego (E) i zakumulowanego (A), bilans rumowiska dennego pomiędzy poszczególnymi profilami poprzecznymi koryta w okresie od 25 VIII 1967 r. do 23 XI 1972 r. (m³)

Przekroje	Odległość m	25 VIII 1967–1 X 1969			1 X 1969–6 XI 1970		
		E	A	A–E	E	A	A–E
0–1	670	1116220	291450	–824770	529300	162140	–367160
1–10	1800	1051956	823233	–228723	250110	465456	215346
10–20	2060	724972	565980	–158992	674403	309582	–364821
20–26	2100	299145	430288	131143	797173	353072	–444101
26–29	1415	128193	601130	472937	733507	150835	–582672
29–33	2260	418580	532690	114110	606558	229463	–377095
0–33	10305	3739066	3244771	–494295	4291051	1670548	–2620503
33–45	8305	2635640	1554563	–1081077	2264475	4489600	2225125

6 XI 1970–11 VI 1971			11 VI 1971–26 X 1971			26 X 1971–23 XI 1972		
E	A	A–E	E	A	A–E	E	A	A–E
546050	312890	–233160	67000	122610	56510	251920	259290	7370
948033	318096	–629937	223510	20 423	–22087	349737	293573	–56164
483052	301488	–181564	176360	421493	245133	678913	232050	–446863
340045	729650	389605	475037	251363	–223674	401043	250087	–150956
112303	623865	511562	495467	89855	–405612	410448	158490	–251958
356360	727825	371465	264837	291673	26836	511963	532389	20426
2785843	3113814	327971	1702211	1378417	–323794	2604024	1725879	–878145
3185225	2106652	–1078573	1970595	1254265	–716330	287300	2505210	2217910

Tabela 6

Stosunek ilości materiału wyerodowanego do zakumulowanego pomiędzy poszczególnymi przekrojami badawczymi w okresie od 25 VIII 1967 r. do 23 XI 1972 r.

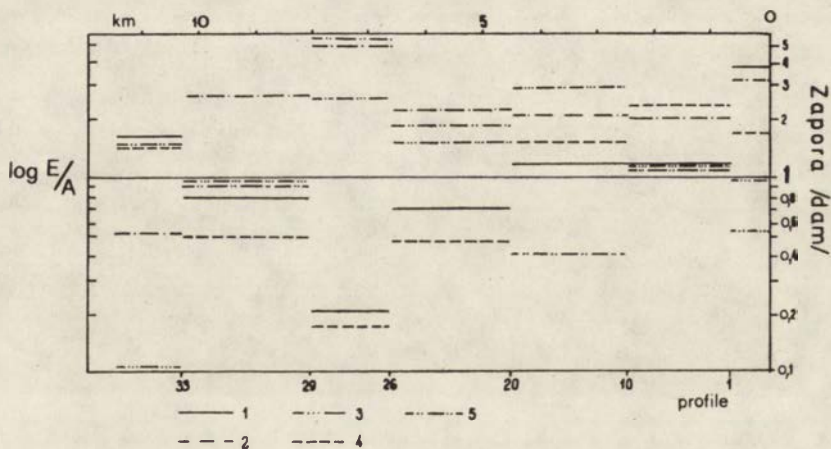
Przekroje	Okres badawczy	25 VIII 1967– 1 X 1969	1 X 1969– 6 XI 1970	6 XI 1970– 11 VI 1971	11 VI– 26 X 1971	26 X 1971– 23 XI 1972
	0–1		3,83	3,26	1,75	0,55
1–10		1,28	2,04	2,27	1,11	1,19
10–20		1,28	2,18	1,60	0,42	2,93
20–26		0,70	2,26	0,47	1,89	1,60
26–29		0,21	4,86	0,18	5,51	2,59
29–33		0,79	2,64	0,49	0,90	0,96
0–33		1,15	2,57	0,89	1,23	1,51
33–45		1,70	0,50	1,51	1,57	0,11

materiału powstał pierwszy na badanym odcinku przemiał, którego górną część stanowiła nowo powstała łacha boczna. W stosunku do 1967 r. (ryc. 27) przemiał miał diametralnie inny układ związany ze zmianą bie-

gu nurtu rzeki. Przepływające przez przemiał wody kierowały się następnie ku czołu Kępy Włocławskiej. Dzięki umocnieniom kępa ta w okresie średnich i niskich stanów wody nie podlegała w tym miejscu erozji (fot. 3). Również w tym czasie nie stwierdzono intensywnych procesów korytowych w prawej odnodze rzeki, oddzielającej kępę od prawego brzegu koryta. Odbity od czoła kępy prąd rzeczny skierowany został ku lewemu brzegowi rzeki. Stworzyło to dogodne warunki do powstania w „cieniu” kępy prądów rzecznych lewobrzeżnej łachy przykępowej bocznej.

Na przedstawionym wyżej odcinku, od przekroju 1 do 10 i od 10 do 20, nieznacznie przeważała erozja nad akumulacją. Współczynnik E/A wynosił w obydwu przypadkach tylko 1,28 (ryc. 28; tab. 6). Na dalszym odcinku Wisły był on mniejszy od 1 i wahał się od 0,21 do 0,79 (ryc. 28; tab. 6). Tak więc od przekroju 20 w dół rzeki następował proces akumulacji materiału wyerodowanego ze strefy poniżejaporowej. W ciągu dwóch lat, na odcinku ponad 10 km długości (od zapory do przekroju 33 — ryc. 21), zostało wyerodowane około 3,74 mln m^3 materiału, a zakumulowane około 3,24 mln m^3 , dając wskaźnik $E/A = 1,15$ (tab. 5, 6).

W następnym okresie, trwającym od 1 X 1969 r. do 6 XI 1970 r., na całym badanym odcinku przeważała erozja nad akumulacją. Współczynnik erozji do akumulacji był zawsze większy od 1 i wynosił od 2,04 do 4,86 (ryc. 28; tab. 6). W tym czasie zostało wyerodowane ze strefy dna



Ryc. 28. Stosunek erozji (E) do akumulacji (A) uśredniony dla poszczególnych stref międzyprofilowych w okresach:

1 — 25 VIII 1967 r., 2 — 1 X 1969 r., 3 — 6 XI 1970 r., 4 — 26 X 1971 r., 5 — 23 XI 1972 r.

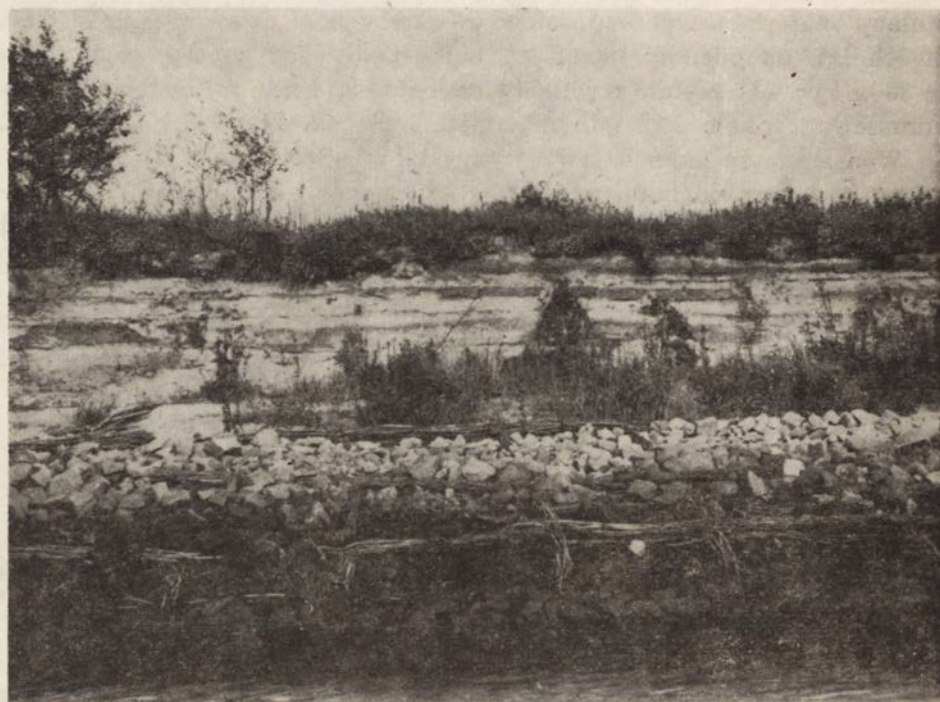
Relation of erosion (E) to accumulation (A) mean for different intersectional zones in the periods:

1 — Aug. 25th, 1967, 2 — Oct. 1st, 1969, 3 — Nov. 6th, 1970, 4 — Oct. 26th, 1971, 5 — Nov. 23rd, 1972

koryta ponad 4,29 mln m³ materiału, a zakumulowane tylko 1,67 mln m³.

O wzroście erozji wgłębnej na tym odcinku wskazuje również zwiększenie powierzchni strefy dna o głębokości ponad 2 m, która do mostu drogowego zajmowała niemal całą szerokość koryta (poza kępami), (ryc. 21). Wyerodowany materiał został częściowo zdeponowany niżej, między przekrojami 33 i 45, w odległości od 10 km do ponad 18 km od zapory. Świadczy o tym wielkość bilansu rumowiska (tab. 5) oraz wartość współczynnika E/A wynoszącego 0,5 (tab. 6).

W jaki sposób kształtował się bilans rumowiska w tym okresie w poszczególnych przekrojach poprzecznych koryta przedstawia rycina 27, w formie przestrzennej zaś rycina 21. Na uwagę zasługuje fakt zachowania się dwóch przemiałów pomiędzy 0,5—1,5 km oraz 5—6 km badanego odcinka.



Fot. 3. Fragment umocnień czołowo-bocznych kamienno-faszynowych Kępy Włocławskiej, hamujących proces erozji bocznej w okresie stanów średnich i niskich

Part of front-lateral stone-fascine revetments of the Kępa Włocławska which set back the process of lateral erosion in the periods of mean and low water levels

W następnych dwóch okresach (III i IV) zauważa się pewne zahamowanie procesu erozji na badanym odcinku. Wskazuje na to współczynnik E/A wynoszący średnio dla 33 przekrojów 0,89 i 1,23 (tab. 6; ryc. 28) oraz przebieg krzywej bilansowej (ryc. 27). W tych okresach przewaga

erozji nad akumulacją wystąpiła w strefie leżącej w bezpośrednim sąsiedztwie zapory (przekroje 1—10 — ryc. 27) oraz od przekroju 33 do 45, gdzie współczynnik E/A wynosił 1,51 i 1,57 (tab. 6).

Ostatnia analizowana sytuacja dna koryta, poparta interpretacją zdjęć lotniczych, pochodzi z 1972 r. (ryc. 16). W ciągu ponad czteroletniej działalności zbiornika, od zapory do mostu drogowego wytworzyła się wielka strefa erozyjna bez mezoform akumulacyjnych, tzn. łach rzecznych. Jedynie poza strefą nurtu, poniżej zapory ziemnej, powstała łacha boczna z materiału wyerodowanego w miejsca plosa — wyboju. Jej powstanie należy tłumaczyć następująco: gdyby materiał w ilości około 1,15 mln m³ zakumulowany w ciągu lat 1967—1972 w strefie od zapory do przekroju 1 uznać chociaż w 30% za aluwia przeznaczone na budowę tej łachy, to mogłaby powstać z niego forma co najmniej 800 m długa, 200 m szeroka i 2 m miąższa, a więc taka, na jaką wskazują rozmiary łachy przedstawionej na rycinach 16 i 21. Jest to jeden z dowodów na to, że na wykształcenie tej formy nie musiał być dostarczony materiał ze zbiornika, co byłoby sprzeczne z założeniami jego funkcjonalności.

Rozszerzenie się strefy erozyjnej dna w bezpośrednim sąsiedztwie Kępy Włocławskiej powodowało jej niszczenie. Stąd też na znacznej długości linia brzegowa ulegała przesuwananiu w głąb kępy (ryc. 16). Jak wynikało z badań terenowych przeprowadzonych od 1973 r. do 1976 r., a więc już w okresie pewnej stabilizacji koryta, linia brzegowa niemal na całej swej długości cofnęła się od 1,0 do 2,5 m — średnio około 1,75 m/rok. O intensywności tego procesu, jak również o jego wpływie na kształtowanie piaszczystej strefy brzegowej kęp, niech świadczą sytuacje przedstawione na fotografiach 4—7.

Pierwszym przemiałem powstałym poniżej zapory w tym czasie była łacha skośna scharakteryzowana pod względem dynamiki w rozdziale V—2. Prądy wodne po przejściu przez ten przemiał podążały w kierunku Kępy Grodzkiej. Tu, podobnie jak w przypadku Kępy Włocławskiej, brzeg wyspy podlegał silnej erozji bocznej (ryc. 16). Od 1965 r. do 1972 r. kępa ulegała niszczeniu na odcinku około 900 m, zmniejszając powierzchnię (łącznie z mniejszymi przyległymi wysepkami) o około 3,8 ha. Następnie na 7 km nurt osiągał prawy brzeg Wisły, który wprawdzie dzięki kamienistemu dnu koryta w okresie niskich stanów wody nie był niszczone, jednak w czasie powodzi cofał się ze średnią prędkością 0,9 m na rok. Wynik ten otrzymano z pomiarów przeprowadzonych w latach 1973—1976. W strefie od 6,5 km do 8,0 km badanego odcinka utworzył się następny przemiał, po którego przepłynięciu prądy wodne kierowały się ku Kępie Krzywogórskiej. Dzięki takiemu układowi prądów kępa ta w środkowej i końcowej części podlegała erozji bocznej (ryc. 16). W wyniku tego procesu powierzchnia jej została uszczuplona o 65% w stosunku do sytuacji z 1965 r. O takim kierunku deformacji tej kępy sygnalizowano już w poprzednim podrozdziale.



Fot. 4. Cofający się brzeg Kępy Włocławskiej w wyniku intensywnej erozji bocznej
Bank of the Kępa Włocławska receding due to intensive lateral erosion

A zatem, jak wskazują sytuacje morfologiczne dna koryta (ryc. 16), w okresie popiętrzeniowym nastąpiła zmiana w układzie mezoforn korytowych, głównie przemiałów i plos. Świadczyłyby to o zmianie na badanym odcinku warunków hydraulicznych i morfologicznych rzeki, wywołanych przede wszystkim przerzuceniem nurtu w strefie zapory na lewy brzeg. Z kolei przegrodzenie koryta zaporą spowodowało wzrost erozji dennej, która przyczyniła się do pogłębienia strefy nurtu rzeki, zmniejszenia udziału form pozytywnych dna typu przemiałów, oraz do budowy łańcuch bocznych jako nowych form przybierających w określonych warunkach hydrologicznych charakter terasy zalewowej (ryc. 16; 21).

Jeśli chodzi o proces pogłębienia dna koryta w ostatnim trwającym ponad rok (26 X 1971—23 XI 1972) okresie badawczym, to ponownie stwierdzono jego wzrost. Niemal dla całego odcinka współczynnik E/A wynosił ponad 1,5 (tab. 6). Wyjątek stanowił tu początkowy oraz końcowy odcinek (29—33 przekroje), gdzie nie przekroczył on wartości 1. Z kolei strefa akumulacyjna obejmowała obszar mieszczący się między przekrojami 33 a 45, gdzie współczynnik E/A wynosił 0,11 (tab. 6).

Analizując czteroletnią działalność zbiornika wodnego we Włocławku w zakresie erozji wgłębnej należy stwierdzić, że od zapory do 10 km w dół rzeki zostało wyerodowane ze strefy dna koryta ponad 15 mln m³ materiału, a zakumulowane ponad 11 mln m³. Iloraz tych dwóch wartości

wskazuje na wielkość współczynnika E/A , wynoszącego 1,36, natomiast ich różnica świadczy o ubytku materiału dennego w ilości około 4 mln m^3 (ryc. 29). Przy założeniu, że średnia szerokość koryta w okresie wysokich stanów wody wynosi około 900 m (minimalna 600 m, a maksymalna 1200 m — rozdział V), to średnio strefa denną koryta, na odcinku ponad



Fot. 5. Rola drzew w częściowym zabezpieczeniu brzegu Kępy Grodzkiej przed niszczyielską działalnością wód Wisły

Role played by trees in partial protection of the Kępa Grodzka bank against destructive activity of the Vistula waters

10 km długości, obniżyła się prawie o 0,43 m (ryc. 29). W przybliżeniu wartość ta wynika również z różnicy średnich głębokości koryta pomiędzy latami 1967 a 1972, chociaż jest ona nieco zaniżona, gdyż dotyczy tylko strefy dna koryta ograniczonego stanem wody $h = 260$ cm (ryc. 22). Nieco inaczej było pomiędzy 33 a 45 przekrojem poprzecznym koryta. Tu współczynnik E/A był mniejszy od 1 i wynosił 0,87 (erozja ponad 10,3 mln m^3 , a akumulacja 11,9 mln m^3 — tab. 5). Tak więc, na tym odcinku wynoszącym 8305 m (tab. 5), przy założeniu średniej szerokości koryta około 900 m, strefa denną podniosła się w ciągu czterech lat o blisko 0,21 m (ryc. 29).

Najintensywniej działalność erozyjna wód wypływających ze zbiornika ujawniła się w pierwszym przekroju poprzecznym koryta. Biorąc pod uwagę całkowity wzrost powierzchni przekroju poprzecznego o 2033 m^2

(łącznie ze strefą kęp oraz miejscem przekopu pod awanport) oraz szerokość koryta w tym miejscu około 800 m, to średnio dno obniżyło się o ponad 2,5 m (ryc. 29). Jest to oczywiście wartość maksymalna i nie wynika ona tylko z bezpośredniej działalności zapory, ale również z prac bagrowniczych.

Przegrodzenie koryta Wisły zaporą przyczyniło się do zmian składu mechanicznego osadów piaszczysto-żwirowych budujących dno. Bezpośrednią przyczyną tych zmian było i jest w dalszym ciągu selektywne wymywanie materiału w dół rzeki na skutek dużych chwilowych przyrostów

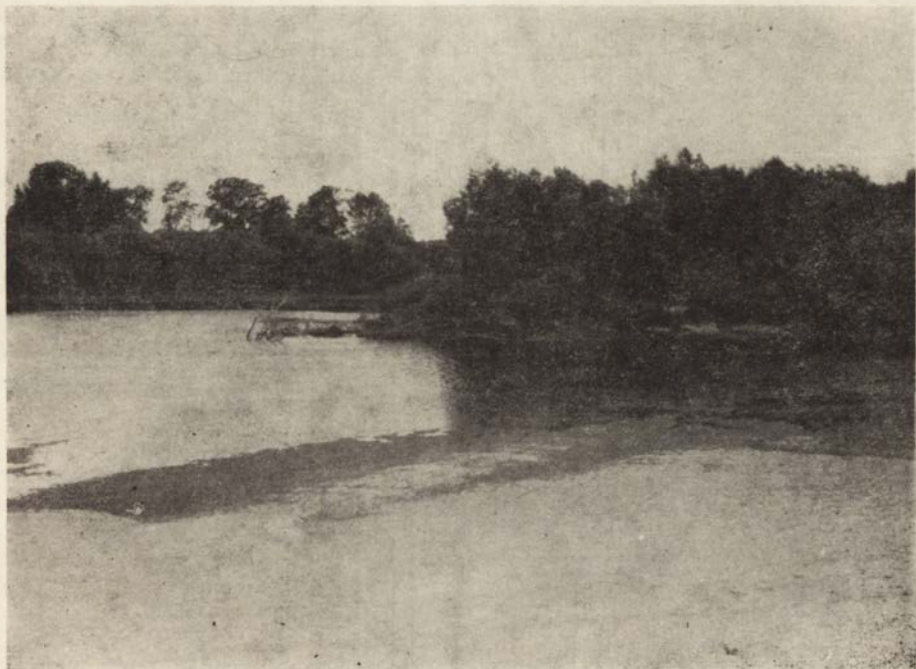


Fot. 6. Niszczony fragment Kępy Włocławskiej. Rola roślinności (wikliny) w umacnianiu brzegu

Part of the Kępa Włocławska being destroyed. Role played by vegetation (willow brake) in bank protection

energii rzeki. Pośredni wpływ na zmianę składu mechanicznego osadów dennych wywiera zapora poprzez postępującą erozję wgłębną, obnażającą starsze utwory, najczęściej gruboziarniste o małym wskaźniku obtoczenia (rozd. II; ryc. 4). W efekcie tych procesów, przy zaporze pozostawał materiał najgrubszy (np. w 1973 r., 0,3 km poniżej zapory, średnia ważona średnica ziarn piasku z 3 prób wynosiła 5,088 mm), dalej zaś w dół rzeki materiał coraz drobniejszy (na 9 km średnia wartość z 6 prób wynosiła już tylko 0,643 mm — ryc. 3). W porównaniu z danymi sprzed okresu piętrzenia (Born 1954) średnica ziarn piasku, obliczona jako me-

diana $d_{50\%}$ na 679 km biegu Wisły — 4,5 km w dół od zapory, wzrosła z 0,39 mm na 0,51 mm (Babiński 1979). Charakter tych utworów wraz z procesem selektywnego wymywania i drogą obróbki ziarn w trakcie toczenia tłumaczą fakt 60% wzrostu wskaźnika obtoczenia na odcinku 10 km długim w dół od zapory (ryc. 3). Szczegółowo proces zmian skła-



Fot. 7. Czoło Kępy Krzywogórskiej niszczone na skutek zmian warunków hydrodynamicznych Wisły poniżej zapory

Front of the Kępa Krzywogórska destroyed due to changes of hydrodynamical conditions of the Vistula river below the water dam

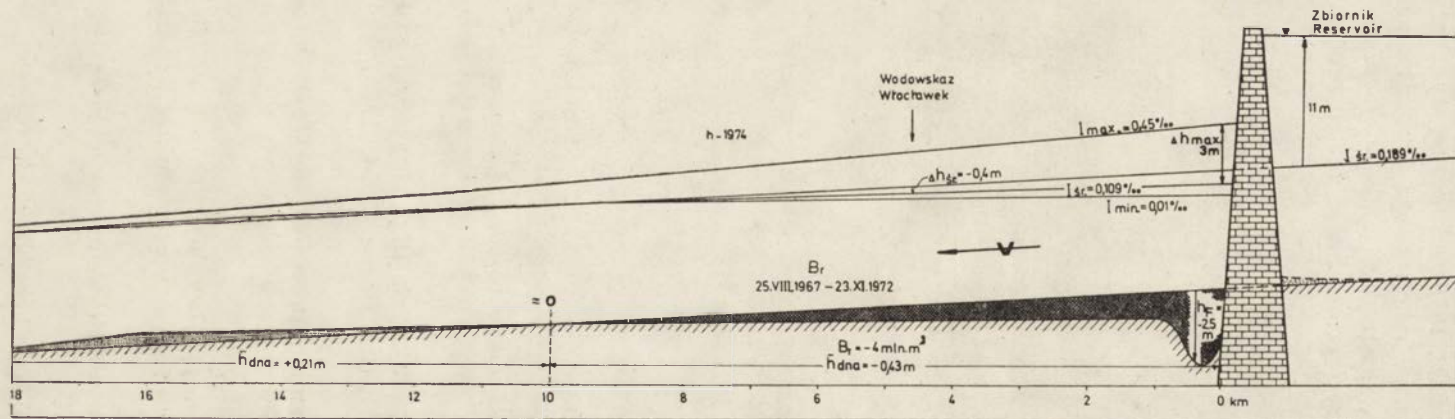
du mechanicznego osadów budujących dno koryta na skutek przegrodzenia Wisły zaporą, na tle badań Borny (1954, 1958), przedstawił Babiński (1979).

Reasumując zagadnienie zmian procesów korytowych, wynikających z przegrodzenia koryta zaporą, należy zaznaczyć, że powinny być one rozpatrywane w dwóch aspektach:

a) zmian przebiegu nurtu, przyczyniających się do deformacji kęp i doprowadzających do tworzenia się nowego układu morfodynamicznego dna koryta,

b) impulsów działających w kierunku pogłębiania się dna koryta rzeki.

O ile w pierwszym przypadku zarówno określenie wielkości, jak i kierunku zmian nie następuje trudności, to w drugim przypadku wy-



Ryc. 29. Charakterystyka hydrologiczna i morfologiczna wpływu zbiornika Włodawskiego poniżej stopnia do 1974 r.
 h — wysokość zwierciadła wody lub dna koryta, I — spadek zwierciadła wody, F — powierzchnia przekroju poprzecznego, B_r — bilans rumowiska dennego

Hydrological and morphological characteristics of the influence of the Włodawek reservoir below the water dam till 1974
 h — height of the water table or channel bottom, I — free surface slope, F — area of cross-section, B_r — balance of alluvial sediments

jaśnienie procesów erozyjnych na tle zjawisk hydrologicznych ma charakter bardziej złożony. Trudno jest bowiem mówić o wzroście erozji wgłębnej, gdy masa wodna maleje (w okresie działalności zapory zmalał przepływ wody Q — rozdz. III). Świadczyłoby to o zmniejszeniu się energii potencjalnej rzeki (energia masy). Z kolei średnia wielkość energii kinetycznej rzeki (energia prędkości), traktowana jako główny czynnik powodujący wzrost erozji wgłębnej, również uległa zmniejszeniu na skutek zmniejszenia spadku zwierciadła wody I (rozd. III; ryc. 29). Tak więc zjawiska hydrologiczne rzeki ujęte w formie wartości uśrednionych (np. średnie miesięczne czy roczne stany wody) nie są argumentem wyjaśniającym to zagadnienie. Jedynie dobowe wahania stanów wody wywołane pracą elektrowni, powodujące chwilowe i to znaczne przyrosty energii potencjalnej i kinetycznej, mogą stanowić „dowód hydrologiczny” na wzrost erozji wgłębnej. Należy nadmienić, że częste i duże wahania dobowe stanów wody, przekraczające moment krytyczny zmian w procesach korytowych przedstawionych w rozdziale V, są czynnikiem wiodącym w przekształcaniu dna koryta.

ZAKOŃCZENIE

Procesy korytowe kształtowane są między innymi przez klimat, szatę roślinną, budowę geologiczną. Relacje między procesami korytowymi a wyżej wymienionymi „naturalnymi” czynnikami korytotwórczymi były niejednokrotnie rozpatrywane w ramach typów koryt rzecznych czy typów procesów korytowych. Analiza tych czynników wykazywała na ogół ściśle prawidłowości. Jednak nie sprawdzała się tam, gdzie dochodził nowy czynnik modelujący — wpływ gospodarczej działalności człowieka. Wpływ ten, choć krótko trwający w stosunku do długiego okresu rozwoju sieci rzecznej, nabiera obecnie szczególnego znaczenia zwłaszcza tam, gdzie cieką mają charakter kanałów. Fakt ten, choć łatwy do stwierdzenia, jest jednak trudny w określeniu wielkości relacji między wpływem człowieka a „naturalnymi” procesami korytowymi. Zagadnienie to zostało przedstawione w niniejszej pracy na tle dynamiki mezofর্ম korytowych i niektórych zjawisk hydrologicznych.

Określono wpływ 11-metrowego podpiętrzenia Wisły na przestrzeni sześciu lat działalności zapory we Włocławku na odcinku rzeki długości 10—12 km. Wyznaczono kierunki rozwoju koryta wynikające ze zmiany przebiegu nurtu oraz obliczono wielkość erozji wgłębnej na odcinku tzw. wymuszonej erozji. Scharakteryzowano dynamikę mezofর্ম korytowych na tle zjawisk hydrologicznych zarówno przed, jak i po wybudowaniu zbiornika, co pozwoliło w sposób pośredni na ustalenie zmian procesów korytowych, wynikających z przegrodzenia koryta zaporą.

Ponieważ okres badań okazał się za krótki na to, by określić cykliczność procesów korytowych, analizę wydłużono do stu lat na bazie materiałów kartograficznych oraz do przełomu plejstocenu i holocenu na podstawie wyników innych badaczy, paralelizując je do obszaru dolnej Wisły. Rozszerzone w ten sposób w czasie opracowanie procesów korytowych Wisły nie stanowi jednak zwartej całości, gdyż oparte jest na różnym jakościowo materiale badawczym. Z kolei ograniczenie badań do 1974 r., a więc do sześciu lat istnienia zapory, nie rozwiązuje w pełni problemu jej wpływu, lecz wskazuje na początkowy rozwój intensywnych procesów erozyjnych dna koryta. Skoncentrowanie badań na krótkim 12 km odcinku Wisły wskazuje jedynie na wielkość wpływu zapory w jej bezpośrednim sąsiedztwie, tam gdzie procesy erozyjne przybierają

największe rozmiary. Stąd też praca nie określa bezwzględnego wpływu zapory na procesy korytowe, który sięga do 200 km w dół od zbiornika (Machalewski i in. 1974). Skupienie uwagi na tak krótkim odcinku Wisły było podyktowane istnieniem dla niego bogatych materiałów badawczych, w przeciwieństwie do odcinka niżej położonego. Własne badania ograniczono więc do tych zagadnień, które uzupełniały badania lub dotyczyły tylko niektórych ich aspektów, możliwych do zrealizowania w stosunku do tak wielkiej rzeki.

W związku z krótkim okresem badań, jak również ograniczeniem się do niewielkiego odcinka Wisły, przeniesienie wyników badań na inny obszar koryta mogłoby okazać się nieprawidłowe, a nawet błędne. Niemniej jednak, w przypadku przyszłej zapory pod Ciechocinkiem, gdzie rzeka charakteryzuje się podobnymi warunkami geologiczno-morfologicznymi, wykorzystanie niektórych wyników badań tej pracy może być przydatne.

LITERATURA

- Abdullajew E. A., 1973, *Ekspierymientalnoje issledowanije formirowanija osieriedkow na rozmywajemoj modieli*, Trudy GGI, wyp. 209, Leningrad, s. 103—116.
- 1974, *Gidrawlika potoka u riecznych ostrowow*, Mietieoroł. i Gidroł., nr 4, Moskwa, s. 63—68.
- Allen J. R. L., 1965, *A review of the origin and Characteristics of recent alluvial Sediments*, Sediment.-Else., Publich. Comp., Amsterdam.
- 1968, *Current ripples. Their relation to patterns of water and sediment motion*, North-Holland Publich. Comp., Amsterdam.
- Antropowski W. I., 1969, *Gidromorfologiczeskije zawisimosti i ich dalniejszyje razwitie*, Trudy GGI, wyp. 169, Leningrad, s. 34—86.
- 1973, *Ispolzowanije kriterialnych zawisimostiej pri ocenkie rustowych pierieformirowanij w niznych biebach GES*, Trudy Gos. Ord. Trud. Krasn. Znam. Gidroł. Inst., wyp. 209, Leningrad, s. 25—38.
- Apołłow B. A., 1963, *Uczenije o riekach*, Izdat. Moskow. Uniw., Moskwa.
- Babiński Z., 1979, *Wstępna charakterystyka utworów powierzchniowych koryta Wisły poniżej stopnia we Włocławku*, Gosp. Wodna, nr 1, Warszawa, s. 10—12.
- Babiński Z., Glazik R., 1980, *Hydrologiczna rola zbiornika włocławskiego w systemie kaskady dolnej Wisły*, Materiały III Konferencji Naukowej nt. „Perspektywy, zadania i skutki realizacji programu „Wisła” dla województwa toruńskiego”, Toruń.
- Barisznikow N. B., Subbotina E. S., 1976, *Ob izmieniieni morfometriczeskich charakteristik po dlinie rieki*, Mietieoroł. i Gidroł., nr 3, Moskwa, s. 78—84.
- Bittner A., 1976, *Poprawa głębokości żeglugowych na Wiśle poniżej Włocławka*, Gosp. Wodna, nr 10, Warszawa.
- Born A., 1954, *Materiał wleczony i unoszony w korycie Wisły*, Prace PIHM, Warszawa.
- Born A., 1958, *Wleczenie materiału dennego w korytach rzek i potoków*, Wiad. Śl. Hydrol.-Meteorol., t. 6, z. 3, PIHM, Warszawa, s. 3—29.
- Brański J., 1972, *Bilans transportu rumowiska unoszonego wzdłuż biegu Wisły*, Gosp. Wodna, nr 3, Warszawa, s. 93—95.
- Bużakow A. N., Ilina M. A., 1976, *Sezonnyje pierieformirowanija rusta Małoj Siew. Dwiny nauczastkie Aristowskich pieriekatow*, Izdat. Moskow. Uniw., Moskwa.
- Collinson J. D., 1970, *Bedforms of the Tana river*, Geogr. Ann., Norway, s. 31—56.
- Czałow R. S., 1973, *K ocenkie wlijanija rustowych processow na erozju sielskochozjajstwiennych ziemiel*, Izdat. Moskow. Uniw., Moskwa.
- 1974, *Wlijanije pobocznej pieriekatow na dynamiku riecznych bieriegow*, Wiestn. Moskow. Uniw., Geografia, z. 4, Moskwa, s. 35—39.

- 1975, *Ispolzowanije osobiennostiej režima rozwietlennych rusel dla rekonstrukcji wodnych putiej*, Wiestn. Moskow. Uniw., z. 4, Moskwa, s. 51—58.
- 1979, *Geograficzeskije issledowanija rusłowych processow*, Izdat. Moskow. Uniw., Moskwa, ss. 232.
- Czetwertyński E., Szuster A., 1973, *Hydrologia i hydraulika*, P. W. Szkol. Zawod., Warszawa.
- Dauksza L., 1976, *Zmiany koryta Ropy w świetle materiałów kartograficznych*, Materiały Teren. Konfer. Nauk, n.t. „Wykształcenia młodoczwartorzędowych aluwiów rzek karpaccich i ich znaczenie surowcowe”, Kraków (Sprawozdanie).
- Dawydow L. K., Dmitriewa A. A., Konkina N. G., 1973, *Obszczaja gidrologia*, rozdz.-Rieki, Gidromietieoizdat, Leningrad, s. 221—335.
- Drozdowski E., Berglund B. E., 1976, *Development and chronology of the lower Vistula River valley*, North Poland, Boreas nr 5, Oslo.
- Dynowska I., Tłalka A., 1976, *Hydrologia cz. I, Potamologia, Hydrogeologia*, Uniw. Jagiel., Kraków.
- Falkowski E., 1967, *Ewolucja holocenińskiej Wisty na odcinku Zawichost-Solec i inżyniersko-geologiczna prognoza jej dalszego rozwoju*, Biul. Inst. Geol., nr 198, Z badań geolog.-inż. w Polsce, t. IV, Warszawa, s. 57—131.
- 1970, *Zasady interpretacji budowy geologicznej aluwiów dolin „dojrzałych swobodnych” na podstawie odcinka Wisty środkowej*, Prz. Geol., nr 8—9, Warszawa, s. 370—372.
- Faferek B., 1960, *Inżynierskie badania geologiczne dla stopnia wodnego we Włocławku*, Prz. Geol., nr 2, Warszawa, s. 84—89.
- Froehlich W., 1970, *Geneza wzgórza nad doliną Wisty w Szpetalu koło Włocławka*, Pr. Geogr., t. 42, z. 4, Warszawa.
- Głazik R., 1976, *Niektóre cechy hydrologiczne zbiornika włocławskiego i jego wpływ na reżim wód Wisty*, Gosp. Wodna, nr 6, Warszawa, s. 170—175.
- Gradziński R., 1973, *Wyróżnienie i klasyfikacja kopalnych osadów rzecznych*, Post. Nauk Geol., nr 5, Wyd. Geol., Warszawa.
- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R., 1976, *Sedymentologia*, Wyd. Geolog., Warszawa.
- Griszanin K. W., 1972, *Tieoria rusłogo processa*, Izdat. Transport, Moskwa.
- Gruszewski M. S., Erikson W. A., 1968, *Issledowanije wału popuskow w niż-niem biefie Iwańskiej GES*, Trudy GGI, wyp. 161, Leningrad.
- Ikonnikow L. B., 1975, *Osobiennosti bieriegoformirujuszczich processow w niż-nich biefach Gorkowskiego i Rybińskiego gidrouzłow*, Sbor. rabot. Gorkow. Wołż. i Rybińsk. gidromietieo. obsierw., wyp. 12, s. 140—149.
- Jarocki W., 1957, *Ruch rumowiska w ciekach*, Wyd. Morskie, Gdynia.
- Kaniecki A., 1976, *Dynamika rzeki w świetle osadów trzech wybranych odcinków Proсны*, Wyd. Pozn. Towarz. Przyj. Nauk, t. XVII, Warszawa—Poznań.
- Kaszowski L., 1970, *Współczesne kierunki badań nad procesami korytowymi*, Czas. Geogr., z. 3, Wrocław, s. 287—311.
- Kaszowski L., Kotarba A., 1970, *Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych*, Pr. Geogr., nr 80, PWN, Warszawa.
- Kennedy J. F., i inni, 1966, *Nomenclature for bed forms in alluvial channels*, J. Hydr. Div., Vol. 92, No. HY. 3.
- Kiciński T., Byczkowski A., Skrzynecka J., Wicher M., 1974, *Materiały do ćwiczeń z hydrologii*, Skrypt Akad. Roln., Warszawa.
- Klimaszewski M., 1978, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa.
- Klimek K., 1972, *Współczesne procesy fluwialne i rzeźba równiny Skeidararsandur (Islandia)*, Pr. Geogr., nr 94, PWN, Warszawa.
- Kondratiew N. E., 1968, *Gidromorfologiczeskije osnovy rasczetow swobodnogo meandrirowanija*, Trudy GGI, wyp. 155, Leningrad, s. 5—38.

- Kondratiew N. E., Popow I. W., 1967, *Mietodiczieskije priedposytki k postanowkie sietiewych nabludenij za rustowym processom*, Trudy GGI, wyp. 144, Leningrad, s. 118—149.
- Kondratiew N. E., Trachtenberg B. K., 1974, *Gidrawliczeskij rasczet plosowej tożbiny*, Trudy Gos. Ord. Trud. Krasn. Znam. Hidroł. Inst., wyp. 216, Leningrad, s. 5—24.
- Korczocho J. M., 1965, *Issledowanije struktury raspriedielenija skorostiej w potokie i dieformacja rusta na izgubie rieki Połomiet*, Trudy GGI, wyp. 132, Leningrad, s. 53—77.
- 1968, *Issledowanije griadowego dwizenija nanosow w r. Połomiet*, Trudy GGI, wyp. 161, Leningrad.
- Kornacki Z., 1965, *Prace regulacyjne na Wiśle i osiągnięte wyniki*, Gosp. Wodna, nr 10, Warszawa, s. 369—371.
- 1966, *Oddziaływanie stopnia piętrzącego na koryto rzeki w dolnym stanowisku*, Gosp. Wodna, nr 1, Warszawa.
- Kozarski S., Rotnicki K., 1978, *Problemy późnowürmskiego i holoczeńskiego rozwoju den dolinnych na Niżu Polskim*, PWN, Warszawa—Poznań.
- Kuczment L. S., Motowilow J. G., 1973, *O formie popiercznego sieczenia rzecznych ruseł*, *Mietieoroł. i Hidroł.*, nr 3, Moskwa, s. 53—57.
- Kułemina N. M., 1959, *Issledowanije rustogo processa r. Marchi*, Trudy GGI, wyp. 69, Leningrad, s. 70—92.
- Kurdow A. G., Protopopow W. W., Kowalew J. K., Gogolew B. A. W., 1975, *Rieka Don i izmienenije stoka pod wlijaniem wodochraniliszcz*, *Mat. II Region. Konf. n.t. „Antr. landsz. Centr. Czarnoz. obl. i prolegaj. terit.”*, Woroneż.
- Lane E., Borland W. M., 1954, *River-bed scour during floods*, *River morphology* ed. Schumm S. A., Am. Soc. Civil Eng., Stroudsburg, Pensylwania, s. 1069—1079.
- Leopold L. B., Miller J. P., 1956, *Ephemeral Streams-Hydraulics Factors and Their Relation to the Drainage Net*, U.S. Geol. Surv. Profes. Paper, 282—A, Nashington.
- Leopold L. B., Wolman M. G., 1957, *River-channel patterns: braided, meandering and straight*, U.S. Geol. Surv. Profes. Paper, 282—B, Nashington.
- Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P., 1964, *Fluvial Processes in Geomorphology*, W. H. Freeman Co, San Francisco.
- Lewaszow A. A., 1974, *Ostrowa rieki Nadym*, *Mietieoroł. i Hidroł.*, nr 7, Moskwa, s. 60—65.
- 1976, *Donnyje nanosy i griady r. Nadym*, *Mietieoroł. i Hidroł.*, nr 3, Moskwa, s. 85—88.
- Litwinow A. S., 1975, *Ob opriedieleni sriednich skorostiej tieczienija w nizniech biefach gidroelektrostancij*, *Biol. wnutr. wod.*, *Inform. bjul.*, nr 25, Moskwa, s. 53—56.
- Machalewski W., Miłkowski M., Rozwadowski J., 1974, *Wplyw stopnia wodnego we Włocławku na warunki żeglugowe Wisły dolnej*, *Gosp. Wodna*, nr 3, Warszawa, s. 114—117.
- Makkawiejew N. I., 1955, *Rusto rieki i erozja w jeje basenie*, Izdat. Akad. Nauk SSSR, Moskwa.
- Mroziński J., Połujkis A., 1974, *Analiza przebiegu procesu erozji koryta rzeki Wisły poniżej stopnia we Włocławku w latach 1971—1973. Podsumowanie badań i opracowanie zasad określenia zmian zachodzących w korytach rzek na odcinkach o wymuszonej erozji*, Zakł. Fiz. Wody IMGW, Warszawa.
- Pietkiewicz S., Żmuda S., 1973, *Słownik pojęć georaficznych*, W. P., Warszawa.

- Popow I. W., 1960, *Issledowanije morfologii riek pri rieszeni zadacz chozjajstwiennogo oswojenija pojm*, Trudy GGI, wyp. 74, Leningrad, s. 22—54.
- 1962, *Primienienije morfotologiczeskogo analiza k ocenkie obszczich rustowych dieformacji r. Obi*, Trudy GGI, wyp. 94, Leningrad, s. 22—86.
- 1963, *Rustowyje pierieformirowanija r. Wolgi na uczastkie Wolgograd—Astrachań*, Trudy GGI, wyp. 108, Leningrad.
- 1965, *Primienienije gidrologo-morfologiczeskogo analiza pri projektirowani wodozaborow*, Trudy GGI, wyp. 120, Leningrad.
- 1969, *Deformacje riecznych rusiel i gidrotiechniczeskoje stroitielstwo*, Hidromietieoizdat, Leningrad.
- 1977, *Zagadki riecznogo rusta*, Hidromietieoizdat, Leningrad.
- Przybylski T., Rotnicki K., 1961, *Fazy rozwojowe doliny Zaleskiej Strugi*, Bad. Fizj. nad Pol. Zach., t. VII, Poznań.
- Rachocki A., 1974, *Przebieg i natężenie współczesnych procesów rzecznych w korycie Raduni*, Dok. Geogr., z. 4, Warszawa.
- 1977, *Klasyfikacja i terminologia osadów den dolinnych*, Zesz. Nauk. Wydz. BiNoZ, Uniw. Gd., nr 8, Gdańsk.
- Romaszin W. W., 1967, *Niekotoryje osobiennosti rustowego processa na gornoj riece*, Trudy GGI, wyp. 144, Leningrad.
- 1968, *Typy rustogo processa w swjazi s opriedielajuszczimi faktorami*, Trudy GGI, wyp. 155, Leningrad.
- 1975, *Swojstwo rustogo bluzdanija*, Trudy Gos. Ord. Trud. Krasn. Znam. Gidrol. Inst., wyp. 225, Leningrad.
- Rossiński K. I., Kuźmin I. A., 1958, *Zakonomiernosti formirowanija riecznych rusiel*, Rusłowyje processy, AN SSSR, Moskwa.
- Scheidegger A. E., 1974, *Geomorfologia teoretyczna*, PWN, Warszawa.
- Sedych A. I., 1976, *Niekotoryje woprosy morfometrii i ustojczivosti riecznych rusiel*, Sb. Moskow. Uniw., Moskwa.
- Soja R., 1976, *Proces pogłębienia koryta rzeki Ropy w latach 1968/74*, Materiały Teren. Konf. Naukowej n.t. „Wykształcenie młodoczwartorzędowych aluwiów rzek karpackich i ich znaczenie surowcowe”, Kraków (Sprawozdanie).
- Starkel L., 1977, *Paleogeografia holocenu*, PWN, Warszawa.
- Studium wpływu pracy stopnia wodnego we Włocławku na kształtowanie się koryta rzeki Wisły*, 1974, CBSiPBW „Hydroprojekt”, Warszawa O/Włocławek.
- Szupryczyński J., 1974, *Veränderung des geographischen Milieus im Weichseltał als Folge der Erbauung des Wasserstaubeckens in Włocławek*, Föld. Ertes., t. 23, z. 2, Budapest.
- 1976, *The effect of the reservoir near Włocławek on the geographical environment*, Geogr. Polon., nr 33, Warszawa, s. 135—141.
- Sliwczyński A., 1973, *Procesy dynamiczne w korycie Wisły dolnej i ich wpływ na warunki żeglugi*, Gosp. Wodna, nr 6, Warszawa.
- Troskoleński A. T., 1967, *Hydromechanika*, Wyd. Nauk Techn., Warszawa.
- Ważnow A. N., 1976, *Gidrologia riek*, Izdat. Moskow. Uniw., Moskwa.
- Wielikanowa Z. M., 1968, *Laboratoryje issledowanija riecznoj izłucziny*, Trudy GGI, wyp. 147, Leningrad, s. 40—51.
- Winogradow W. A., 1962, *Niekotoryje zakonomiernosti formirowanija rusta i pojmy r. Połomiet*, Trudy GGI, wyp. 95, Leningrad.
- 1973, *Niekotoryje osobiennosti struktury potoka i morfologii izłucziny pri swobodnom meandrirowani*, Trudy Gos. Ord. Trud. Krasn. Znam. Gidrol. Inst., wyp. 209, Leningrad.
- Wiśniewski E., 1976, *Rozwój geomorfologiczny doliny Wisły pomiędzy Kotliną Płocką a Kotliną Toruńską*, Pr. Geogr. IGiPZ PAN, nr 119, Warszawa.
- Wołoszyn J., 1974, *Regulacja rzek i potoków*, PWN, Warszawa.

- Wykaz sztucznych zbiorników wodnych i jezior podpiętrzonych, 1972, Min. Roln., Depart. Zasob. Wodn., Warszawa.
- Znamieńska N. S., 1965, *Ispolzowanie zakonomiernostiej griadowo dwizenija nanosow pri rasczecie rustowych dieformacji*, Trudy GGI, wyp. 120, Leningrad, s. 3—24.
- 1976, *Donnyje nanosy i rustowyje processy*, Gidromietieoizdat, Leningrad, s. 190.

THE INFLUENCE OF THE WATER DAM IN WŁOCŁAWEK ON FLUVIAL PROCESSES OF THE VISTULA RIVER

Summary

The aim of the study is to define changes of the Vistula river channel which are due to the construction of a water dam in Włocławek. To solve this issue fluvial processes of the river occurring under "natural" conditions were separated from the processes resulting from man's economic activity, the Vistula river regulation and the construction of the dam.

The investigations of the Vistula fluvial processes were limited to a twelve-kilometre section with a fine measuring network which covered changes in the channel morphometry and hydrological phenomena. The study makes use mainly of cartographic materials such as location-altitude and bathymetric large scale charts, air photographs and cross sections of the channel made by sonic depth finders. These and other materials were used to determine the geological structure and morphology of the channel, some elements of the hydrological régime of the river, dynamics of changes of some channel mezzofoms under the influence of running waters, and changes and development tendencies of the Vistula river channel treated as a macroform.

Owing to the construction of the water dam in the Vistula channel there occurred changes in the development of fluvial processes which tended towards increased lateral erosion of islands, fixed side bars and channel banks as well as towards increased downcutting.

The main reason for the increased lateral erosion was the artificial shift of the streamline from the right bank to the left one. Owing to this change the regulated and previously fixed channel had to adapt (by a shift of the meander zone of the streamline) to the new hydrodynamical conditions of the river. This shift had led to a new morphodynamic arrangement of the channel bottom in the relations: diagonal bars and to an increased pace of regression of rims of banks. The adaptation of the channel bottom to new hydrodynamical conditions also resulted in the destruction of some hydrotechnic structures. Therefore, it was necessary to introduce some changes in the location of hydrotechnical structures in order to avoid excessive destruction of islands and channel banks. The process of intensive lateral erosion marked a section of eleven kilometres in length. Below the section the channel was fixed due to the adaptation of new hydrodynamical conditions to the situation of the channel which prevailed before the construction of the water dam.

The greatest changes of the channel resulting from the construction of the water dam in the Vistula river took the shape of the process of downcutting. What were, and still are, the direct reasons for the increased downcutting were large and temporary increases of the river energy connected with twenty-four hours' oscillations of water levels which reached three metres. As a result of sudden

water downfalls from the reservoir through weirs and turbines in the investigated section there occurs an increase in water table gradient which at times may reach values 2.4 times bigger (to 0.45‰) than the mean many-years' value from the period before the swelling. This testifies to an increase of both kinetic energy (velocity energy) and potential energy (mass energy). Thus, huge amounts of energy are being produced below the water dam, and waters employ this energy to gully and deepen the channel.

The process of downcutting below the dam was of greatest proportions in the initial period of the reservoir's activity and in its immediate vicinity when it was moving down stream as an "erosional wave". It has been stated that during the four-year period of the water reservoir's activity in Włocławek more than fifteen million m³ of material eroded from, and more than eleven million m³ accumulated in the zone of the channel bottom in the section from the dam to the tenth kilometre down stream. This means that the section had lost about four million m³ of alluvial sediments, which resulted in the lowering of the bottom zone of the channel by almost 0.43 m (Fig. 29). The greatest lowering of the bottom zone occurred in the immediate vicinity of the dam. In the distance of 670 m away from the dam it was lowered by about 2.5 m when compared with the situation before the swelling. From this place down stream the process of downcutting was decreasing asymptotically and in the distance of about ten kilometres away from the dam assumed the value equal to zero. Thanks to this irregularity of the process of deepening the bottom zone, the channel bottom gradient decreased by 0.08‰ during the four-year period.

Sandy-gravelly material that eroded from the bottom from the zone below the reservoir was deposited mainly in the distance of about ten kilometres away from the dam down stream. During the four-year period, starting from the time of the construction of the dam, the channel bottom rose by 21 cm (Fig. 29) in this eight-kilometre long section. Apart from this, some eroded material was deposited in the riparian zone between the hydrotechnic structures. Both this and the prevailing tendency of lowering the channel bottom contributed to (similarly as in case of carrying out regulation work but with a greater intensity of the process) the adding and strengthening of fixed side bars. Thus, a new flood plain was formed in the investigated area with its surface lowered by 0.5—1.0 m in relation to the previous flood plain terrace.

As a result of the deepening of the channel bottom below the dam sandy formations were washed out selectively and, simultaneously, older channel formations characterized by greater fractional differentiation and a bigger diameter of sand grains were denuded. The result was that in comparison with the data from the period preceding the formation of the reservoir the diameter of sand grains which constitute the channel bottom increased 10 times in the distance of 200 m away from the dam and only 1.5 times from the fourth kilometre down stream.

Translated by Aneta Dylewska

РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ВИСЛЫ НИЖЕ ВОДОУДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ПЛОТИНЫ ВО ВЛОЦЛАВКЕ

Резюме

Целью настоящей работы было определение изменений русла Вислы вследствие постройки перепада во Влоцлавке. Эту проблему старались разрешить путем отделения русловых процессов, происходящих в „натуральных” условиях от процессов, являющихся результатом хозяйственной деятельности человека, регуляции Вислы и постройки плотины.

Исследования русловых процессов Вислы ограничились исследованием двенадцатикилометрового отрезка с густой измерительной сетью, отмечающей изменения морфометрические и гидрологические явлений. В работе использовались главным образом картографические материалы, т. е. крупномасштабные гипсометрические и батиметрические карты, аэроснимки и поперечные сечения русла выполненные эхолотом. На основании этих и других материалов разработаны и геологическое строение и рельеф русла, а также некоторые элементы гидрологического режима реки, динамика изменений некоторых мезоформ русла под влиянием текущих вод, а также изменения и тенденции развития русла Вислы, рассматриваемого как макроформа.

В результате преграждения русла Вислы плотиной произошли изменения русловых процессов, выражающиеся в увеличении интенсивности боковой эрозии островов, береговых отмелей и берегов русла, а также и в увеличении глубинной эрозии.

Главной причиной увеличения боковой эрозии явилась искусственная переброска течения с правого берега на левый. В результате этой перемены русло, урегулированное и стабилизированное в предыдущий период было вынуждено переместить меандровую зону стрежня к новым гидродинамическим условиям реки. Это перемещение привело к новой морфодинамической структуре дна русла в отношении косые перекаты — плёс и к усилению темпа отступления берегов островов и русла. Применение дна русла к новым гидродинамическим условиям вызвало разрушение некоторых полузапрудных и боковых сооружений. Появилась необходимость произвести некоторые изменения в размещении гидротехнических сооружений чтобы избежать чрезмерного разрушения островов и берегов русла. Процесс интенсивной боковой эрозии проявился на отрезке длиной около 11-ти км. Ниже его замечена стабилизация русла, являющаяся результатом применения новых гидродинамических условий к ситуации русла перед постройкой плотины.

Самые большие изменения русла, являющиеся результатом преграждения Вислы плотиной, проявились в форме процесса глубинной эрозии. Непосредственной причиной увеличения глубинной эрозии были и продолжают быть большие и кратковременные приросты энергии реки, связанные с суточным колебанием уровня воды, доходящим до 3 м. В результате внезапных сбросов воды из водохранилища через водосливные плотины и турбины на исследуемом участке происходит усиленное понижение зеркала воды, величина которого минутама оказывается в 2—4 раза (до 0,45%) больше средней многолетней величины в период перед образованием барража. Этот факт свидетельствует об увеличении как кинетической (энергии скорости) так и потенциальной (энергии массы) энергии.

Таким образом ниже водного перепада создается мощная энергия, которую воды используют для размыва и углубления русла.

Процесс глубинной эрозии, проявляющийся ниже плотины, достиг самых больших размеров в начальный период деятельности водохранилища и в непосредственном с ним соседстве, перемещаясь вниз реки в виде „эрозионной волны”. Установлено, что за время четырёхлетнего существования водохранилища во Влоцлавке на расстоянии от плотины до 10-го км вниз реки с дна реки было вынесено более 15 милл. куб. м. материала, а отложилось более 11 милл. куб. м. Это значит, что на этом отрезке проявилась убыль донного материала в количестве около 4 милл. куб. м., что вызвало понижение донной зоны русла почти на 0,43 м (рис. 29). Наиболее понизилась донная зона русла в непосредственном соседстве с плотинной. На расстоянии 670 м от плотины она понизилась на около 2,5 м по отношению к положению в период перед образованием барража.

От этого места вниз реки процесс глубинной эрозии асимптотически уменьшается и величина его на расстоянии около 10 км от плотины сводится к нулю. Благодаря неравномерному ходу процесса углубления донной зоны в течение этих четырёх лет произошло уменьшение наклона дна русла на 0,08%.

Песчано-гравиевый материал эродированный со дна зоны ниже водохранилища отложился на расстоянии около 10 км от плотины. В течение этих четырёх лет с момента перекрытия русла плотиной, дно русла на этом отрезке, длиною в 8 км, поднялось на 21 см (рис. 29). Кроме того часть эродированного материала отложилась в прибрежной зоне между полузапрудными сооружениями. Этот факт вместе с постоянной тенденцией понижения дна русла способствовал (также как и в случае проведения работ по регуляции, но с большей интенсивностью процесса) росту поверхности и закреплению береговых отмелей. Таким образом на исследуемой территории сформировался новый пойменный уровень, поверхность которого понижена на 0,5 до 1,0 м. по отношению к прежней пойме.

В результате углубления дна русла ниже плотины происходил выборочный размыв песчаных образований с одновременным обнажением более древних русловых отложений с более ранообразной фракцией и большим диаметром зерен песка. Эффектом этого процесса является увеличение, по сравнению с данными периода, предшествовавшего возникновению водохранилища, диаметра зёрен песка, слагающего дно русла: на расстоянии 200 м от плотины в 10 раз, а на расстоянии 4 км вниз реки только в 1,5 раза.

Перевела Катажина Страшевска

**WYDAWNICTWO IG I PZ PAN
VARIA**

B. OLSZEWICZ — Dorobek polskiej historii geografii i kartografii w latach 1945—1969, 1973, zł 48,—

J. MISZAŁSKI — Współczesne procesy eoliczne na Pobrzeżu Słowińskim. Studium fotointerpretacyjne, 1973, s. 150 + nlb., zł 30,—

Z. CIĘTAK, S. PIETKIEWICZ — Słownik geograficzny angielsko-polski, 1974, s. 422, zł 120,—

CENTRALNY KATALOG ZBIORÓW KARTOGRAFICZNYCH W POLSCE

Zeszyt 1. **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800**, 1961, s. 247, zł 72,—

Zeszyt 2 (uzupełniający). **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800**, 1963, s. 112, zł 28,—

Zeszyt 3. **Katalog atlasów 1801—1919**, 1965, s. 342, zł 76,—

Zeszyt 4. **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1528—1945**, 1968, s. 160, zł 48,—

Zeszyt 5. **Wieloarkuszowe mapy topograficzne Polski 1576—1870** (w druku)

**Katalog dawnych map Rzeczypospolitej Polskiej w kolekcji Emeryka Hutten-Czap-
skiego i w innych zbiorach.** Oprac. W. Kret, 1978, s. 164, 37 map, zł 140,—

WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ
za ostatnie lata

1980

- 1 S. CHMIELEWSKI — Zmiany środowiska geograficznego w strefie oddziaływania wielkiego miasta (na przykładzie północno-wschodniej części warszawskiego zespołu miejskiego), s. 84 + nlb., zł 24,—
- 2 D. GOSPODAROWICZ — Osadnictwo rolnicze a gospodarka wielkoobszarowa na terenie woj. koszalińskiego w latach 1950—1977, s. 74, zł 24,—
- 3 PRACA ZBIOROWA — Metody opracowań topoklimatycznych, s. 113, zł 24,—
- 4 M. KŁAPA — Procesy morfogenetyczne i ich związek z sezonowymi zmianami pogody w otoczeniu Hali Gąsienicowej w Tatrach, s. 54 + nlb., zł 24,—
- 5 M. ZAMELSKA — Wpływ uprzemysłowienia na procesy urbanizacyjne województwa bydgoskiego, s. 97, zł 24,—
- 6 PRACA ZBIOROWA — Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich — 1978, s. 81, zł 24,—

1981

- 1 R. SOJA — Analiza odpływu z fliszowych zlewni Bystrzanki i ropy (Beskid Niski), s. 91, zł 24,—
- 2 PRACA ZBIOROWA — Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej, Cz. IV, s. 117, zł 24,—
- 3 PRACA ZBIOROWA — Warunki naturalne zlewni Homerki i jej otoczenia, s. 91, zł 24,—
- 4 J. GRZYBOWSKI — Rozwój wydm w południowo-wschodniej części Kotliny Biebrzańskiej, s. 99, zł 24,—
- 5 PRACA ZBIOROWA — Geografia a światowe problemy rozwoju (w druku)
- 6 PRACA ZBIOROWA — Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich — 1979

1982

- 1-2 Z. BABIŃSKI — Procesy korytowe Wisły poniżej zapory wodnej we Włocławku, s. 92, zł 24,—
- 3-4 J. TAMULEWICZ — Taksonomiczne podstawy typologii reżimu opadów atmosferycznych na przykładzie Pojezierza Pomorskiego i Niziny Wielkopolskiej (w druku)
- 5-6 A. POTRYKOWSKA — Współzależności między dojazdami do pracy a strukturą społeczną i demograficzną regionu miejskiego Warszawy w latach 1950—1973 (w druku)