

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

9

MIECZYŚLAW BANACH

DYNAMIKA BRZEGÓW
DOLNEJ WISŁY



**WYKAZ ZESZYTÓW INSTYTUTU GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA PAN**

z ostatnich lat

1995

29. P. EBERHARDT – Zagadnienia ludnościowe obszaru byłych Prus Wschodnich, 41 s., zł 4,-
30. Z. BABIŃSKI, M. GRZEŚ – Monografia hydrologiczna zbiornika stopnia wodnego Włocławek, 79 s., zł 4,-
31. J. GRZESZCZAK – Przestrzenne zróżnicowanie społeczno-gospodarcze „północ-południe” w krajach Unii Europejskiej. Wielka Brytania, Niemcy, Francja, 60 s., zł 4,-
32. A. GAWRYSZEWSKI – Rynek pracy Warszawy i województwa warszawskiego 1990–1993, 131 s., zł 4,-
33. T. KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA, B. KRAWCZYK, K. BŁAŻEJCZYK – Warunki biometeorologiczne Supraśla, 68 s., zł 4,-
34. P. KORCELLI – Regional patterns in Poland's transformation: the first five years, 62 s., zł 4,-
35. E. NOWOSIELSKA – Bezrobocie – przegląd aktualnych tendencji, problemów i wyników badań (w krajach rozwiniętych), 70 s., zł 4,-
36. R. SZCZĘSNY – Przemiany struktury przestrzennej rolnictwa Polski 1989–1992, 60 s., zł 4,-

1996

37. A. B. ADAMCZYK – Charakterystyka wiatrów silnych i bardzo silnych w Polsce; J. BARANOWSKI – Wielkość zachmurzenia w Warszawie w zależności od cyrkulacji atmosferycznej, 71 s., zł 4,-
38. H. POWĘSKA, T. KOMORNICKI – Przejścia graniczne: Kostrzyn, Słubice, Świecko, Gubin – podstawowe funkcje i strefa oddziaływania na terenie Polski i Niemiec; J. PAPIŚ, T. KOMORNICKI – Miasto Duszniki Zdrój jako gmina przygraniczna, 50 s., zł 4,-
39. L. KOLENDOWICZ – Burze na obszarze Polski północno-zachodniej w świetle częstości występowania różnych typów cyrkulacji atmosfery, 115 s., zł 4,-
40. R. SZCZĘSNY – Rolnictwo i gospodarka żywnościowa w okresie restrukturyzacji 1989–1994, 47 s., 31 il., zł 4,-
41. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: I, 72 s., zł 4,-
42. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: II, 98 s., zł 4,-

1997

43. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: III, 68 s., zł 5,-
44. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: IV, 127 s., zł 5,-
45. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: V, 44 s., zł 5,-
46. P. KORCELLI (red.) – Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: VI, 96 s., zł 5,-
47. P. EBERHARDT – Problematyka narodowościowa Estonii, 44 s., zł 5,-
48. W. ZGLIŃSKI – Przekształcenia państwowego rolnictwa w Polsce – skutki społeczne, ekonomiczne i przestrzenne, 64 s., zł 5,-
49. B. GRABIŃSKA – Geografia płazów Europy na tle świata. Regionalizacja zoogeograficzna kręgowców Europy. Powierzchnia jednostki a bogactwo taksonomiczne ssaków, 46 s., zł 5,-

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA 9

**DYNAMIKA BRZEGÓW
DOLNEJ WISŁY**

DYNAMICS OF THE LOWER VISTULA BANKS

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

9

MIECZYŚŁAW BANACH

DYNAMIKA BRZEGÓW
DOLNEJ WISŁY



WYDAWNICTWO
Continuo

1998
WROCLAW

<http://rcin.org.pl>

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor: Roman Szczęsny

Zastępca Redaktora: Jerzy Grzeszczak

**Członkowie: Zygmunt Babiński, Krzysztof Błażejczyk,
Piotr Eberhardt, Marek Jerczyński, Adam Kotarba, Władysława Stola
Sekretarz: Ewa Jankowska**

Opiniował do druku: prof. dr hab. Jan Szupryczyński

Adres Komitetu:

**Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
im. Stanisława Leszczyckiego
Polskiej Akademii Nauk
ul. Twarda 51/55
00-818 Warszawa**

**Pracę wykonano w ramach projektu badawczego KBN nr 6P20200307
pt.: „Hydrologiczne i geomorfologiczne konsekwencje
zabudowy hydrotechnicznej dolnej Wisły”,
kierowanego przez prof. dr. hab. Jana Szupryczyńskiego**

**Opracowanie redakcyjne: Ewa Jankowska
Redaktor Wydawnictwa: Jan Kuźma**

**© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
im. Stanisława Leszczyckiego PAN,
Warszawa 1997**

**PL ISSN 0012-5032
ISBN 83-86682-25-6**

**Łamanie wykonano w Pracowni Składu Komputerowego TYPO-GRAF
Wydrukowano we Wrocławskiej Drukarni Naukowej
Polskiej Akademii Nauk**

<http://rcin.org.pl>

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	7
1. Cel, zakres i metody badań	9
2. Zabudowa techniczna dolnej Wisły	13
3. Morfologia doliny, dna oraz koryta	16
4. Budowa geologiczna brzegów oraz dna doliny	21
5. Warunki hydrologiczne i lodowe w okresie badań na tle wielolecia	24
5.1. Stany wody i przepływy	24
5.2. Spadek zwierciadła rzeki i prędkość przepływu wód	29
5.3. Zjawiska lodowe	29
6. Ogólne prawidłowości procesu deformacji brzegów rzek	33
7. Współczesna dynamika brzegów rzeki na tle zabudowy technicznej	36
7.1. Odcinek a – uregulowany częściowo, degradowany (Modlin–Płock)	36
7.2. Odcinek b – spiętrzony (Płock–Włocławek)	49
7.3. Odcinek c – uregulowany częściowo, degradowany (Włocławek–Silno)	56
7.4. Odcinek d – uregulowany całkowicie w XIX w. (Silno–Tczew)	57
8. Prognoza rozwoju procesów geomorfologicznych na brzegach projektowanej kaskady dolnej Wisły (KDW)	64
Podsumowanie	71
Literatura	73
Dynamics of the Lower Vistula banks (summary)	75

COMITTEE AND CHAIRMAN

Chairman: Ronald Sneyd

Executive Committee: John Armstrong

Chairman of the Executive Committee: Kenneth Sneyd

Paul Chamberlain, Martin Jermoloffski, Brian Kuznetsov, Vladimir Levin, Sergei
Sokolovskiy, Boris Yurkovich

Co-ordinators of the work: (with the help of the Executive Committee)

COMMITTEE MEMBERS

1	Chairman	Ronald Sneyd
2	Executive Committee	John Armstrong
3	Executive Committee	Paul Chamberlain
4	Executive Committee	Martin Jermoloffski
5	Executive Committee	Brian Kuznetsov
6	Executive Committee	Vladimir Levin
7	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
8	Executive Committee	Boris Yurkovich
9	Executive Committee	Kenneth Sneyd
10	Executive Committee	John Armstrong
11	Executive Committee	Paul Chamberlain
12	Executive Committee	Martin Jermoloffski
13	Executive Committee	Brian Kuznetsov
14	Executive Committee	Vladimir Levin
15	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
16	Executive Committee	Boris Yurkovich
17	Executive Committee	Kenneth Sneyd
18	Executive Committee	John Armstrong
19	Executive Committee	Paul Chamberlain
20	Executive Committee	Martin Jermoloffski
21	Executive Committee	Brian Kuznetsov
22	Executive Committee	Vladimir Levin
23	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
24	Executive Committee	Boris Yurkovich
25	Executive Committee	Kenneth Sneyd
26	Executive Committee	John Armstrong
27	Executive Committee	Paul Chamberlain
28	Executive Committee	Martin Jermoloffski
29	Executive Committee	Brian Kuznetsov
30	Executive Committee	Vladimir Levin
31	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
32	Executive Committee	Boris Yurkovich
33	Executive Committee	Kenneth Sneyd
34	Executive Committee	John Armstrong
35	Executive Committee	Paul Chamberlain
36	Executive Committee	Martin Jermoloffski
37	Executive Committee	Brian Kuznetsov
38	Executive Committee	Vladimir Levin
39	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
40	Executive Committee	Boris Yurkovich
41	Executive Committee	Kenneth Sneyd
42	Executive Committee	John Armstrong
43	Executive Committee	Paul Chamberlain
44	Executive Committee	Martin Jermoloffski
45	Executive Committee	Brian Kuznetsov
46	Executive Committee	Vladimir Levin
47	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
48	Executive Committee	Boris Yurkovich
49	Executive Committee	Kenneth Sneyd
50	Executive Committee	John Armstrong
51	Executive Committee	Paul Chamberlain
52	Executive Committee	Martin Jermoloffski
53	Executive Committee	Brian Kuznetsov
54	Executive Committee	Vladimir Levin
55	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
56	Executive Committee	Boris Yurkovich
57	Executive Committee	Kenneth Sneyd
58	Executive Committee	John Armstrong
59	Executive Committee	Paul Chamberlain
60	Executive Committee	Martin Jermoloffski
61	Executive Committee	Brian Kuznetsov
62	Executive Committee	Vladimir Levin
63	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
64	Executive Committee	Boris Yurkovich
65	Executive Committee	Kenneth Sneyd
66	Executive Committee	John Armstrong
67	Executive Committee	Paul Chamberlain
68	Executive Committee	Martin Jermoloffski
69	Executive Committee	Brian Kuznetsov
70	Executive Committee	Vladimir Levin
71	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
72	Executive Committee	Boris Yurkovich
73	Executive Committee	Kenneth Sneyd
74	Executive Committee	John Armstrong
75	Executive Committee	Paul Chamberlain
76	Executive Committee	Martin Jermoloffski
77	Executive Committee	Brian Kuznetsov
78	Executive Committee	Vladimir Levin
79	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
80	Executive Committee	Boris Yurkovich
81	Executive Committee	Kenneth Sneyd
82	Executive Committee	John Armstrong
83	Executive Committee	Paul Chamberlain
84	Executive Committee	Martin Jermoloffski
85	Executive Committee	Brian Kuznetsov
86	Executive Committee	Vladimir Levin
87	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
88	Executive Committee	Boris Yurkovich
89	Executive Committee	Kenneth Sneyd
90	Executive Committee	John Armstrong
91	Executive Committee	Paul Chamberlain
92	Executive Committee	Martin Jermoloffski
93	Executive Committee	Brian Kuznetsov
94	Executive Committee	Vladimir Levin
95	Executive Committee	Sergei Sokolovskiy
96	Executive Committee	Boris Yurkovich
97	Executive Committee	Kenneth Sneyd
98	Executive Committee	John Armstrong
99	Executive Committee	Paul Chamberlain
100	Executive Committee	Martin Jermoloffski

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

Chairman: Kenneth Sneyd

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

Chairman: Kenneth Sneyd

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

Executive Committee members: (with the help of the Executive Committee)

WPROWADZENIE

Rozmyw brzegów przez rzeki jest znaczącym procesem niszczącym powierzchnię ziemi. W przypadku dużych, nizinnych rzek jest to często proces uciążliwy dla człowieka, a nawet groźny. Zniszczeniu mogą ulec osiedla, obiekty inżynierskie, komunikacyjne i inne, wzniesione w pobliżu rzek: ujęcia wód, zrzuty ścieków, przejścia mostowe, linie wysokiego napięcia, użytki rolne, leśne itp. Walka ze zjawiskiem erozji bocznej lub zapobieganie jej wymaga wysokich nakładów. Aby podjąć skuteczną walkę z tym zjawiskiem i zabezpieczyć brzegi przed rozmywem, należy poznać naturę procesu korytowego. W przeciwnym wypadku pojawiają się błędy w prognozowaniu i zabezpieczaniu brzegów przed rozmywem. W krańcowych przypadkach zachodzi konieczność przenoszenia osiedli, dróg i innych obiektów ze strefy brzegowej rzek (Čalov 1994).

W zależności od kierunku rozwoju deformacji korytowych można je podzielić na: h o r y z o n t a l n e i w e r t y k a l n e. Deformacje horyzontalne koryta to jego zmiany w planie i w zarysie linii brzegowych. Ich przejawem jest erozja brzegów w wyniku przemieszczania się form korytowych i towarzysząca temu przestrzenna zmienność w akumulacji osadów na dnie koryta. Doprowadza to z jednej strony do niszczenia obiektów inżynierskich i strat ziem uprawnych, z drugiej natomiast do zamulania (zapiaszczania) ujęć wód, basenów portowych, przystani, nabrzeży i innych obiektów. Podcięcia wysokich brzegów aktywizują rozwój ruchów masowych na stokach: osuwisk, obrywów i osypisk.

Wertykalne deformacje obejmują rozmyw dna (erozja wgłębna) i akumulację aluwów, co doprowadza do zmian rzędnych zwierciadła wody. Skutkiem przełębień dna są „przewieszki” przejść podwodnych (kabli, rurociągów), podmycie filarów itp. Dodatnim wertykalnym deformacjom dna towarzyszy intensywna erozja boczna (Čalov 1994).

Według czasu trwania deformacje korytowe mogą być: s t a ł e i o k r e s o w e. Dla rzek o szerokim aluwialnym dnie charakterystyczne są deformacje okresowe. Czas ich przejawu określa się czasem trwania formy korytowej, tj. od jej powstania do obumierania, lub od wejścia w dany odcinek koryta do przejścia przez niego. Przemieszczanie w korycie Wisły dużych akumulacyjnych form – łach śródkorytowych lub bocznych – sprzyja okresowej (kilkuletniej) aktywizacji, a potem wygasaniu procesu; erozja zastępowana jest akumulacją (namywem) i odwrotnie. Stałe, horyzontalne deformacje korytowe są widoczne na prawym brzegu Wisły od Modlina do Włocławka, gdzie rzeka stale eroduje macierzysty

brzeg. Proces jest jednokierunkowy, a jego natężenie niewielkie. Jest zauważalny w czasach historycznych i okresach geologicznych. Konieczność przenoszenia centrów miast średniowiecznych i niszczenie grodzisk (Czerwińsk, Wyszogród, Płock, Dobrzyń) jest dowodem na powolny, ale stały, jednokierunkowy proces erozji bocznej Wisły na tym odcinku.

Pod wpływem czynnika antropogenicznego deformacje jednokierunkowe mogą stać się znaczące, wyraźne w przeciągu jednego pokolenia. Erozja dna i brzegów poniżej stopni wodnych oraz akumulacja w zbiornikach zaporowych i abrazja jego brzegów są nie tylko zauważalne, ale również groźne dla pokolenia budowniczych. Tak stało się w przypadku wybudowania stopnia na dolnej Wiśle we Włocławku.

W rozważaniach paleogeograficznych dotyczących rozwoju sieci rzecznej dominują badania nad deformacjami wertykalnymi den dolin rzecznych, nad rekonstrukcją okresów ich pogłębiania i depozycji osadów (Mojski 1980; Laskowski 1986; Andrzejewski 1994; Wiśniewski 1997). Tak jest również w przypadku fundamentalnej, kontynuowanej od 1982 r. pracy pod redakcją L. Starkla „Evolution of the Vistula river valley during the last 15000 years” wydawanej w serii specjalnej „Prac Geograficznych” Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN. Szczegółowe opracowania dotyczące wybranych fragmentów współczesnych deformacji koryta dolnej Wisły traktują proces deformacji horyzontalnych (erozji bocznej) marginalnie (Babiński 1982, 1992). W literaturze rosyjskojęzycznej nie pomija się deformacji horyzontalnych koryt w rozważaniach nad ewolucją sieci rzecznej i przy omawianiu procesów korytowych. Pojawiło się ostatnio szereg prac dotyczących metodyki badań i teorii erozji brzegów (Raščutin 1991; Čalov 1994, 1995), jak również aspektów praktycznych tej części geomorfologii fluwialnej (Ikonnikov 1981; Ibragimov 1987; Ivanov, Čalov 1991; Berkovič i in. 1996). W dalszych szczegółowych rozważaniach oparto się głównie na powyższej rosyjskojęzycznej literaturze.

W pracach terenowych pomocą służył mi mgr J.' Kordowski, a w pracach kameralnych (stany wody) – mgr H. Grobelska.

1. CEL, ZAKRES I METODY BADAŃ

Celem opracowania jest przedstawienie współczesnego stanu dynamiki brzegów dolnej Wisły w powiązaniu z warunkami fizycznogeograficznymi tego obszaru wraz z aktualnie istniejącą zabudową hydrotechniczną koryta i doliny. Opracowanie dotyczy horyzontalnych deformacji koryta, zmian okresowych, stałych i wiekowych. Za najważniejsze z warunków fizycznogeograficznych uznano budowę geologiczną, litologię i morfologię brzegów. Są one pasywne i dość stabilne w czasie. Odgrywają rolę regulatora procesu deformacji brzegów, wpływając na jego intensywność i formę przejawu.

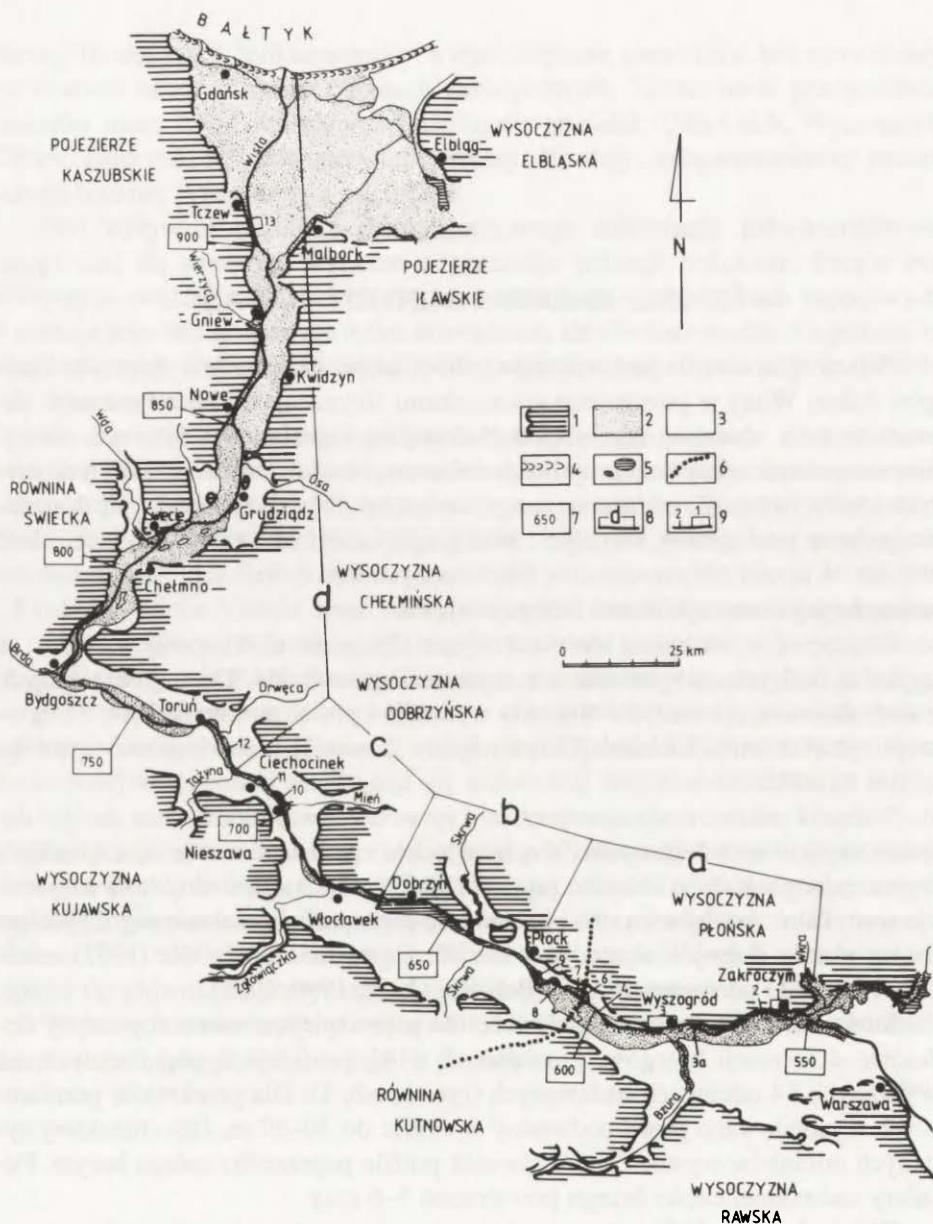
Przyczyną wywołującą i uruchamiającą proces przekształcania brzegów są czynniki, których rola zmienia się w czasie i przestrzeni. Do najważniejszych z nich zaliczam: 1) erozję strumienia wodnego i prądy nim wywołane, 2) egzrację spowodowaną ruchami pokrywy lodowej oraz 3) ruchy masowe (grawitacyjne) na stokach.

Wahania stanów wody są czynnikiem sprawczym wahań natężenia erozji i destabilizacji klifów brzegowych. Zabudowa techniczna brzegów staje się czynnikiem wymuszającym zmianę kierunku procesu z deformacji horyzontalnych na deformacje wertykalne: pogłębienia dna i budowę nowego poziomu zalewowego. Problem ten na odcinku dolnej Wisły podjął w literaturze geograficznej L. Koc (1972), a szeroko rozwinął i udokumentował Z. Babiński (1982, 1990, 1992).

Stosowano różne metody badawcze. Za najważniejszą uważam pomiary ilościowe deformacji brzegów, prowadzone w 42 przekrojach poprzecznych, na wybranych 14 odcinkach badawczych (ryc. 1, tab. 1). Dla przekrojów pomiarowych wysondowano profil podwodny w strefie do 30–50 m. Dla charakterystycznych odcinków wysondowano również profile poprzeczne całego koryta. Pomiary nadwodnej części brzegu powtórzono 5–6 razy.

W latach 1995–1996 przeprowadzono kartowanie terenowe brzegów na mapie 1:10 000. Objęło ono: rejestrację budowy geologicznej, litologię, morfologię oraz typ dynamiczny brzegu. Ten ostatni parametr określano również z łodzi motorowej na trudno dostępnych odcinkach brzegów. W sumie skartowano brzegi na odcinku Modlin–Płock (76 km) oraz Włocławek–Solec Kujawski (86 km). Dalej w dół rzeki, do Tczewa, skartowano wybrane fragmenty brzegów.

Powyższe dwie metody bezpośrednich badań terenowych były uciążliwe, ale dostarczyły konkretnych, wiarygodnych wartości, danych o aktualnej dynamice brzegów dolnej Wisły.



Ryc. 1. Szkic sytuacyjny badanych odcinków na tle geomorfologii doliny dolnej Wisły (wg E. Wiśniewski 1990, patrz L. Andrzejewski 1994; zmodyfikowany)

1 – wysoczyzna morenowa z krawędzią doliny, 2 – dno doliny (równina zalewowa), 3 – poziomy terasowe i sandrowe, 4 – mierzeja Wiślana, 5 – zbiorniki i jeziora, 6 – maksymalny zasięg ostatniego (północnopolskiego) zlodowacenia, 7 – kilometrąz biegu rzeki, 8 – odcinki Wisły o zróżnicowanej (odmiennej) zabudowie hydrotechnicznej, 9 – dłuższe odcinki szczegółowych badań (1) oraz odcinki o kilku tylko przekrojach pomiarowych (2)

Site sketch of studied segments against the background of the lower Vistula river geomorphology (after E. Wiśniewski 1990, see L. Andrzejewski 1994; modified)

1 – morainic plateau with the valley's edge, 2 – bottom of the valley (flood plain), 3 – levels of terraces and sandbars, 4 – Vistula Bar, 5 – reservoirs and lakes, 6 – maximal reach of the last glaciation, 7 – kilometeric scale of the river course, 8 – segments of Vistula river of different hydrotechnical structures, 9 – longer segments of detailed studies (1) and segments of only several measurement cross-sections (2)

Tabela 1

Badane odcinki brzegów dolnej Wisły
Studied segments of the lower Vistula banks

Lp.	Nazwa odcinka i jego długość	km	Kilometraż rzeki	Typ dynamiczny brzegu	Rodzaj skał
1.	Grochale – L, P	2,5	556,0–558,5	erozyjny	gлина, piaski – P, aluwia – L
2.	Smoszewo – P	0,2	563,0–563,2	erozyjny	gлина, piaski, koluwia
3.	Wyszogród – L, P	6,4	586,6–593,0	erozyjny, akum.	gлина, piaski – P, aluwia – L
3a.	Czerwińsk – P	0,3	580,2–580,5	erozyjny	gлина, piaski, aluwia
4.	Rakowo – P	0,7	599,5–600,2	erozyjny	aluwia: mułki, piaski
5.	Suchodół – L	1,2	602,7–603,9	erozyjny, umocniony	aluwia: mułki
6.	Kępa Polska – P	0,6	607,9–608,5	erozyjny	aluwia: mułki, piaski
7.	Białobrzegi – P	0,5	610,0–610,5	erozyjny	aluwia: mułki, piaski
8.	Troszyn Nowy – L	0,2	618,0–618,2	erozyjny	aluwia: mułki
9.	Bielino – P	0,3	624,8–625,1	erozyjny, abrazyjny	aluwia, nasypany
10.	Siarzewo – L	0,2	707,0–707,2	neutralny	aluwia: piaski, mułki
11.	Ciechocinek – L	0,3	712,9–713,2	erozyjny	aluwia: piaski, mułki
12.	Brzoza Toruńska – L, P	0,4	721,9–722,3	erozyjny – L, akum. – P	aluwia: piaski, mułki
13.	Mątowy Mały – P	1,4	896,1–897,5	erozyjny	aluwia: piaski, mułki

Pomiary na brzegu: L – lewym, P – prawym; akum. – akumulacyjny.

Measurements of the banks: L – left, P – right; akum. – accumulative.

Porównanie map topograficznych oraz zdjęć lotniczych z różnych okresów pozwoliło ustalić, również dość wiarygodnie, zmiany linii brzegowej Wisły i kęp śródkorytowych za ostatnie 100 lat w okolicy Zakroczymia i Wyszogrodu.

Na podstawie istniejącej dokumentacji w Zakładzie Geologii Inżynierskiej PIG w Warszawie oraz w Urzędach Wojewódzkich w Płocku i Bydgoszczy dokonano rejestracji osuwisk w dolinie dolnej Wisły na mapie 1:50 000. Skorygowano stan zarejestrowany w latach sześćdziesiątych ze stanem aktualnym w czasie kartowania terenowego. W wielu miejscach stwierdzono rozbieżności w lokalizacji rzeźby osuwiskowej.

Przeanalizowano kilkadziesiąt projektów technicznych, budowli zawierających geodezyjne domiary do linii brzegowej Wisły, sprzed kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu lat (wały przeciwpowodziowe, stopnie wodne, linie energetyczne, pompownie), w celu ustalenia zaistniałych zmian do czasu obecnych pomiarów. Jest to bogate źródło informacji, ale metoda jest czasochłonna, nie pozbawiona „wpadek”.

Zebrano i przeanalizowano karty inwentaryzacyjne budowli regulacyjnych Wisły na odcinku Modlin–Włocławek w celu ustalenia czasu i rodzaju ingerencji człowieka w przebieg procesów korytowych. Najstarsze karty dotyczą zabudowy z lat siedemdziesiątych.

Systematycznie, na bieżąco, kompletowano dane o stanach wody Wisły w Wyszogrodzie, Kępie Polskiej, Włocławku (zapora) oraz Toruniu – jako głównym czynnikiem erozji brzegów. Ilościowe zmiany brzegu (przyrost lub ubytek) analizowano każdorazowo w czasie pomiarów z sytuacją hydrologiczną rzeki, z sezonową, roczną i wieloletnią cyklicznością jej stanów.

Każdorazowo w czasie pobytu w terenie dokumentowano fotograficznie badane odcinki brzegów Wisły. Wszystkie odbitki opisano. Jest to obecnie ważne źródło informacji do oceny nie tylko jakościowej (typu dynamicznego), ale również ilościowej deformacji brzegów za okres badawczy.

Przeprowadzono szereg wywiadów z pracownikami Inspektoratów Wodnych ODGW we Włocławku i Toruniu na temat aktualnego stanu brzegów Wisły oraz, w miarę istniejących środków, sposobów zapobiegania ich rozmywowi. Dynamikę brzegów na spiętrzonej odcinku Wisły (zbiornik Włocławek) badano na istniejącej jeszcze sieci pomiarowej, założonej przed 20 laty (Banach 1994).

2. ZABUDOWA TECHNICZNA DOLNEJ WISŁY

Cała dolna Wisła jest w różnym stopniu zabudowana. Brak obecnie dłuższych odcinków rzeki swobodnie rozwijającej się w poziomie zalewowym. Poza odcinkami zwężeń dna doliny, koryto wielkiej wody jest ograniczone wałami przeciwpowodziowymi, ochraniającymi od zalania zagospodarowane i zasiedlone od wieków rozległe obszary holocenijskiego poziomu zalewowego.

Na podstawie stopnia ingerencji w procesy korytowe Z. Babiński (1990) podzielił dolną Wisłę na cztery odcinki: a – nieuregulowany, powyżej zbiornika Włocławek; b – zbiornik wodny Włocławek; c – w stadium regulacji, od stopnia piętrzącego we Włocławku do ujścia Tążyny (km 718); d – uregulowany, poniżej ujścia Tążyny (ryc. 1).

Do czasu ingerencji człowieka w procesy fluwialne Wisła była, pod względem morfodynamicznym, „rzeką roztokową, o szerokości koryta 400–1800 m (przeciętnie 600–800 m), z dużą ilością łach centralnych i bocznych oraz kęp” (Babiński 1990, s. 98). Obecnie Wisła nie jest już taką rzeką, nawet na odcinku powyżej cofki zbiornika Włocławek, uznawanym w ogólnej opinii przyrodników za naturalny, dziki fragment rzeki, rzadki w Europie.

O d c i n e k a (Modlin–Płock) jest częściowo uregulowany. Rzeka ma nową, wymuszoną geometrię koryta. Na wklęsłych łukach nowej kinety (nurtu) zabudowano brzegi ostrogami i tamami równoległymi – opaskami faszynowo-kamiennymi. Wypukłe części łuków kinety oraz proste odcinki przejść pomiędzy łukami pozostawiono przeważnie bez zabudowy technicznej. Wszystkie ramiona boczne przegrodzono zaporami poprzecznymi (fot. 8). W niewralgicznych odcinkach (dawne szerokie ramiona boczne), w trosce o bezpieczeństwo wałów przeciwpowodziowych (Grochale, Liszyno), usypano wały sterujące nurt wody pozakorytowej ku osi kinety. Negatywne formy w tych miejscach zarefulewano (namyto) aluwiami do poziomu równiny zalewowej. Brzegi, ciągnące się wzdłuż wałów przeciwpowodziowych bliżej niż 50 m, zabudowano opaskami lub ostrogami, niezależnie od ukształtowania brzegu. Zgodnie z planem generalnym zagospodarowania Wisły koryto uregulowane jest, przy średnich stanach, na szerokość 300 m.

Brzegi tego odcinka Wisły są obecnie w stadium intensywnego przekształcania. Według oceny administratora rzeki wykonana zabudowa jest obecnie, z braku środków na jej systematyczną renowację, degradowana. To może doprowadzić do nie uzyskania w pełni zamierzonego celu, tj. zapewnienia bezpieczeń-

stwa mieszkańcom na zawału oraz nie pogłębienia koryta w nurcie nowej kinety. Przykładem może służyć odcinek w Rakowie, gdzie przegrodzone ramię boczne staje się od kilku lat ważnym kanałem ulgi nawet przy stanach średnich, co grozi podmyciem wału i jego przerwaniem w czasie wysokiego stanu.

O d c i n e k b (Płock–Włocławek) to odcinek przegrodzony od 1968 r. zaporą. Jego brzegi, na długości ponad 30 km, kształtują się na rzędnych powyżej dawnego zasięgu najwyższych stanów rzeki. Erozję boczną, wynikającą ze spadku zwierciadła wody, zastąpiła abrazja falowania wiatrowego zwiększonej powierzchni wodnej. Czynniki ten oddziałuje na brzegi okresowo. Brzegi sztuczne stanowią 27%. Są to tamy boczne, chroniące obszary depresyjne od zalania. Brzegi umocniono na prawie 20% ich całkowitej długości. Po powodzi zatorowej w styczniu 1982 r. wybagrowano w cofce zbiornika nową geometrię nurtu, likwidując płytko zalane kępy śródkorytowe oraz powstała już deltę. Stanowiły one przeszkodę dla spływającego lodu. Bagrowane aluwia wykorzystano na podwyższenie i poszerzenie tam bocznych oraz „podparcie” wysokich, abrazyjnych brzegów. Do końca lat osiemdziesiątych refulat stanowił 15% długości brzegów zbiornika. Jest to powszechnie stosowana metoda ochrony brzegów przed postępującą tu jeszcze, szczególnie na lewym, niskim brzegu, abrazją.

O d c i n e k c (Włocławek – ujście Tażyny) jest również, podobnie jak odcinek a – częściowo uregulowany na szerokość koryta 300 m przy średniej wodzie, z postępującą obecnie degradacją zabudowy. Prace regulacyjne zakończono w latach sześćdziesiątych i dlatego dalej zaawansowany jest tu proces kształtowania się brzegów w nowych warunkach, aniżeli w odcinku górnym, powyżej zbiornika. Znacznie mniej jest tu brzegów erozyjnych, a więcej neutralnych. Degradacja zabudowy technicznej brzegów ma tu, oprócz czasu, dodatkowy czynnik – wzmożoną erozję wgłębną, poniżej zapory – powodowaną cyklicznością wahań wód w następstwie pracy elektrowni i odciążenia wody z rumowiska. Na znacznym już fragmencie tego odcinka zabudowa brzegu przestaje spełniać swą rolę, wystając ponad zwierciadło średnich stanów rzeki, i zaczyna być erodowana od dołu. Proces ten jest studiowany od lat (Babiński 1982, 1992) i jest przedmiotem oddzielnego opracowania w ramach projektu.

O d c i n e k d (Silno–Tczew) jest uregulowany systematycznie i konsekwentnie według projektu założonego przed ponad 100 laty. W odcinku tym, podobnie jak i wyżej, już w średniowieczu wykonywano lokalnie, punktowo budowlę regulacyjną dla zabezpieczenia osiedli, lokalnych obwałowań i ochrony pól przed postępującą erozją brzegów. Były to prace doraźne, wykonywane przez właścicieli gruntów zagrożonych (Ingarden 1921). Od lat trzydziestych XIX w. rozpoczęto regulację tego odcinka na koszt państwa pruskiego. Do 1879 r. nie prowadzono jej systematycznie i regularnie. Prace objęły 134 km brzegów. Poprawę warunków wyraźnie odczuło rolnictwo, żegluga natomiast w stopniu minimalnym. Drugi etap regulacji (1879–1900) przeprowadzono głównie pod naciskiem żeglugi. Trasę regulacyjną poprowadzono w łagodnych zakolach, zabudowując je ostrogami (tamami poprzecznymi do nurtu) po obu brzegach. Szerokość

trasy regulacyjnej (pomiędzy główkami ostróg) wynosiła: 300 m – od Silna do ujścia Drwęcy; 375 m – w dół do Nogatu; 250 m – w dół do ujścia – dla Wisły i 125 m – dla Nogatu. Skrócono bieg Wisły o 12,4 km przekopem w Świbnie. W latach 1900–1915 zamknięto odgałęzienie Nogatu i skanalizowano go (Ingarden 1921). Obecnie jest to rzeka o morfodynamicznym typie koryta prostoliniowego, z naprzemianległym układem łach skośnych i plos, których przegłębienia mogą dochodzić do 15 m w stosunku do powierzchni równiny zalewowej (Babiński 1985). Na wielu fragmentach tego odcinka ostrogi są zniszczone i postępuje erozja brzegów. Hydromorfologicznymi konsekwencjami regulacji tego odcinka zajmowali się L. Koc (1972) i Z. Babiński (1985, 1990, 1992).

3. MORFOLOGIA DOLINY, DNA ORAZ KORYTA

Dolina dolnej Wisły ciągnie się na długości około 380 km. Początkowo wcina się w wysoczyzny morenowe zlodowacenia środkowopolskiego, a dalej, poniżej Płocka, przecina obszar najmłodszego zlodowacenia północnopolskiego. Charakterystyczną cechą doliny na tym odcinku jest istnienie rozszerzeń i zwężeń. Rozszerzenia, zwane kotlinami lub basenami, są różnej wielkości i wieku. Z biegiem rzeki są to: Kotlina Warszawska, Płocka i Toruńska oraz Basen Unisławski, Chełmiński i Grudziądzki (ryc. 1). Szerokość rozszerzeń dochodzi do 25 km, a w zwężeniach dolina ma szerokość 3–8 km (Wiśniewski, Banach 1994).

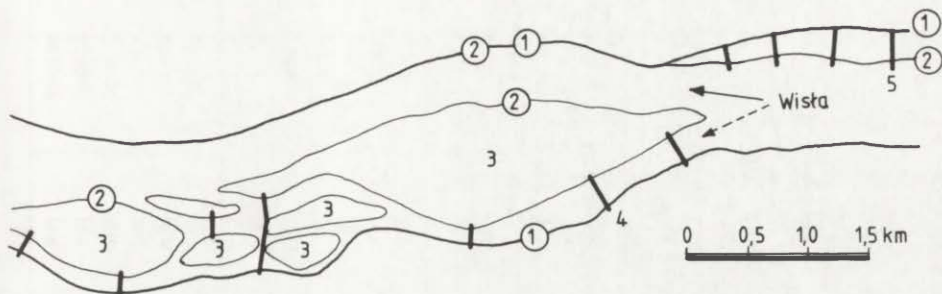
Zmiany kształtu doliny Wisły wynikają z genetycznego zróżnicowania poszczególnych odcinków (Mojski 1980). Przewężenia są rynnami lodowcowymi, zaadaptowanymi później przez rzekę. Rozszerzenia są „...rozległymi obniżeniami wytopiskowymi, przemodelowanymi przez późniejszą erozję boczną, przy nieznacznym stosunkowo udziale erozji wgłębnej” (Mojski 1980, s. 333).

Prawie na całym odcinku od ujścia Bugu do Włocławka koryto Wisły leży asymetrycznie w stosunku do całej doliny, niezależnie od rozszerzeń i zwężeń. Biegnie ono wzdłuż prawego obrzeża doliny, w wyniku czego rzeka podcinała i podcina prawy brzeg. Przyczyną tego zjawiska jest względne podnoszenie Wału Środkowopolskiego, przebiegającego na południowym-zachodzie, i przemieszczenie koryta rzeki ku północnemu-wschodowi (Banach 1977; Mojski 1980).

Podstawowym elementem morfometrycznym doliny Wisły jest jej dno, holoceńska równina zalewowa, której szerokość waha się od kilkuset metrów do 4 km, najczęściej około 2 km. Szerokość poziomu zalewowego nie wykazuje związku z szerokością doliny; najwęższe jego odcinki występują w obrębie kotlin, we Włocławku i w Toruniu. Spadek podłużny powierzchni równiny zalewowej nawiązuje generalnie do spadku zwierciadła wody w rzece i waha się w granicach 0,17–0,20‰ (Babiński 1990).

W równinę zalewową wcięte jest na głębokość 2–4 m koryto średniej wody; głębiej wcięte na rzece uregulowanej przed ponad 100 laty – w dół od Silna (km 719). Proces wcinania się koryta w dno równiny zalewowej powyżej Silna, z wyłączeniem zbiornika Włocławek, zachodzi obecnie, po zakończeniu jego częściowej regulacji z końcem lat osiemdziesiątych. Dodatkowy, wzmożony od 29 lat rozryw dna zachodzi poniżej stopnia piętrzącego we Włocławku.

Znaczącymi, wyróżniającymi się formami pozytywnymi w krajobrazie równiny zalewowej są wały przeciwpowodziowe po obu brzegach koryta. Wyzna-



Ryc. 2. Szkic przebiegu brzegów koryta Wisły przed (1) i po (2) zabudowie technicznej
3 – kępy śródkorytowe, 4 – przetamowania ramion bocznych, 5 – ostrogi

Sketch of the Vistula river channel banks before (1) and after (2) building of the technical structures

3 – interchannel holms, 4 – damming up of lateral arms, 5 – groynes

czają one koryto wysokiej, powodziowej wody. Poza odcinkami zwężeń dna doliny ciągną się one wzdłuż całej dolnej Wisły, ochraniając od zalania, w czasie wysokich stanów, zagospodarowane i zasiedlone od wieków dno doliny.

Inną pozytywną, mniej zauważalną formą w rzeźbie równiny zalewowej są wały przykorytowe, ciągnące się niegdyś prawie nieprzerwanie wzdłuż głównego koryta i jego odgałęzień. W wyniku prac regulacyjnych ciągłość ta została „poprzerywana” na skutek wyprostowania nowego szlaku nurtu oraz przetamowań ramion bocznych. Najwyższe brzegi aluwialne pokrywają się z przebiegiem tych form i są wyższe od brzegów wzdłuż płaskich równin o 0,5–1,5 m. Poznać je łatwo również po większej średnicy ziarn aluwiiów na powierzchni. Niezależnie od rzędnej brzegów obecnego koryta tworzą się nowe wały przykorytowe; na niższych rzędnych przyrastają szybciej. Inne formy dna doliny tego odcinka Wisły, opisane szeroko przez Z. Babińskiego (1990), nie mają wpływu na dynamikę brzegów obecnego, uregulowanego i obwałowanego koryta.

Koryto Wisły, jako największa negatywna forma w dnie doliny, miało i ma nadal zróżnicowaną szerokość i głębokość. Układ naprzemianległych rozszerzeń i przewężeń doliny i jej dna, omówiony wyżej, występował również w korycie przed jego regulacją (Babiński 1990). Według badań tego autora, polegających na określeniu średniej szerokości koryta dla odcinków o długości 5 km, „co około 35 km biegu rzeki można stwierdzić wyraźne, cykliczne przewężenia koryta o szerokości 450–600 m, oddzielające rozszerzenia o szerokości 1200–1300 m” (Babiński 1990, s. 98, ryc. 3). Cykliczność wiąże z „erozyjno-akumulacyjnym charakterem transportu rumowiska wleczonego”. Po regulacji, cykliczność ta stopniowo zanika, amplitudy różnic w szerokości koryta maleją. Maksymalne szerokości przewyższały minimalne (przed regulacją) o prawie 190%, podczas gdy obecnie: 88% – na odcinku a, 49% – na odcinku c oraz 43% – na odcinku d (do Nogatu) i o 36% – poniżej Nogatu (tab. 2).

Tabela 2

Szerokość koryta dolnej Wisły przy stanie średnim i wysokim (powodziowym)

Width of the lower Vistula channel with the mean and high water (flood) level

Miejscowość	Kilometr rzeki	Szerokość koryta (m) przy stanie wody					
		średnim	charakter brzegu		wysokim	charakter brzegu	
			lewy	prawy		lewy	prawy
Wisła powyżej zbiornika Włocławek (82 km)							
Modlin	551,5	360	opaska	opaska	460	wał	zbcze
Zakroczym	556,0	500	akumulacja	erozja	1600	wał	zbcze
Smoszewo	564,0	600	erozja	neutralny	1000	wał	zbcze
Wychódź	570,0	370	erozja	opaska	720	wał	wał
Zdziarka	576,5	420	erozja	neutralny	1380	wał	zbcze
Czerwińsk	578,5	490	erozja	neutralny	1180	wał	zbcze
Wyszogród	586,7	400	erozja	erozja	1180	wał	zbcze
Drwały	592,5	320	erozja	tama	1700	wał	wał
Rakowo	594,5	630	erozja	erozja	1100	wał	wał
Kępa Polska	606,5	680	erozja	akumulacja	1350	wał	wał
Wykowo	617,0	510	erozja	erozja	1150	wał	wał
Dobrzyków	622–624	480–520	opaska	akumulacja	880–1000	wał	wał
zbiornik Włocławek (43 km)							
Płock	632,2	620	opaska	opaska	650	wał	zbcze
Maszewo	637,5	570	opaska	abrazja	700	wał	zbcze
Murzynowo	645,5	830	opaska	abrazja	830	stok	stok
Dobrzyń	661,0	1900	abrazja	abrazja	1900	stok	zbcze
Wistka Szlachecka	664,5	2400	opaska	abrazja	2400	wał	zbcze
Zarzewo	673,0	1350	opaska	abrazja	1350	wał	zbcze

Wisła poniżej zbiornika Włocławek (43 km)

Włocławek – most	679,5	370	opaska	akumulacja	630	bulwar	wał
Korabniki	687,1	450	erozja	akumulacja	1000	wał	zbczce
Kucierz	692,0	400	erozja	akumulacja	1600	zbczce	zbczce
Bobrowniki	695,7	500	erozja	erozja	1050	zbczce	zbczce
Nieszawa	702,9	450	opaska	erozja	1100	opaska	zbczce
Siarzewo	709,0	550	neutralny	erozja	2100	wał	zbczce
Ciechocinek	713,0	500	erozja	erozja	2000	wał	wał
Słońsk	717,9	550	neutralny	neutralny	900	wał	zbczce

Wisła uregulowana w II połowie XIX w. (193 km)

Silno	719,0	350	neutralny	neutralny	1250	zbczce	zbczce
Złotoria	728,0	340	erozja	neutralny	1300	zbczce	zbczce
Toruń – bulwary	734,7	380	erozja	bulwar	820	wał	bulwar
Wymysłowo	748,3	410	neutralny	neutralny	820	zbczce	wał
Przyłubie	756,0	430	erozja	neutralny	2100	zbczce	wał
Solec Kujawski	762,0	400	erozja	neutralny	1330	zbczce	wał
Bydgoszcz – Łęgnowo	769,8	420	neutralny	neutralny	920	zbczce	wał
Chełmno – most	807,6	420	neutralny	erozja	1100	wał	wał
Wiąg k/Świecia	815,5	400	erozja	neutralny	900	zbczce	wał
Grudziądz – centrum	835,5	350	neutralny	bulwar	750	wał	bulwar
Nowe	853,0	360	neutralny	neutralny	780	zbczce	wał
Korzeniewo	867,0	300	opaska	opaska	1150	wał	wał
Piekło	889,0	360	neutralny	neutralny	1070	wał	wał
Międzyłęż	891,0	260	neutralny	neutralny	1050	wał	wał
Mątowy Małe	897,0	320–340	neutralny	erozja	970	zbczce	wał
Tczew	907–911	250–300	opaska	neutralny	1000	zbczce	wał

Szerokość obecnego koryta przy wybranych stanach wody, na zróżnicowanych zabudową hydrotechniczną odcinkach, mierzono w przekrojach charakterystycznych: bezpośrednio w terenie (geodezyjnie i taśmą), ze zdjęć lotniczych i z map topograficznych 1:10 000. Po zabudowie technicznej, brzegami rzeki stały się brzegi dowolnych kęp śródkorytowych oraz nowy, niższy poziom zalewowy, powstały lub tworzący się jeszcze pomiędzy ostrogami (ryc. 2). Szerokość koryta wielkiej wody określano z map topograficznych.

Nieregularność koryta wielkiej wody jest większa od nieregularności koryta średniej wody, ale maleje również w dół rzeki. Maksymalne jego szerokości przewyższają minimalne o: 270% – na odcinku a, 230% – na odcinku c i 73% – na odcinku d. Tylko w rejonie Przyłubia (przed Solcem Kujawskim) wynosi 180% (tab. 2).

Duża nieregularność koryta zarówno średniej jak i wysokiej wody powoduje dyferencjację energii rzeki; na odcinkach przewężeń siła transportowa i erozyjna rośnie. Nieregularność szerokości koryta dolnej Wisły jest w dalszym ciągu faktem wynikającym z niedoskonałości poczynąń inżynierskich, których celem jest przecież eliminowanie nieregularności przekroju koryta średniej i wysokiej wody oraz ukierunkowania transportu rumowiska.

Średnia szerokość koryta Wisły w wyniku prac regulacyjnych zmieniła się: 1) z 785 do 410 m na odcinku od Silna do Świecia (km 719–814); 2) z 685 do 589 m na odcinku od Silna do zapory (km 675–719); 3) powyżej Włocławka wynosiła przed spiętrzeniem 734 m (Babiński 1992, ryc. 18).

4. BUDOWA GEOLOGICZNA BRZEGÓW ORAZ DNA DOLINY

Ponad bazą erozyjno-denudacyjną rzeki zalegają utwory neogeńskie i czwartorzędowe. Obie formacje odznaczają się dużą zmiennością w profilu poziomym i pionowym. Wszystkie utwory są rozmywalne przez strumień rzeki, z wyłączeniem głazów polodowcowych. Dominują brzegi zbudowane z holocenijskich aluwów. Budują one cały profil brzegu lewego w 84,5% jego rozciągłości oraz w 77,3% – brzeg prawy (tab. 3). Wisła na większości swego biegu rozwija swe koryto we własnych aluwiach, których miąższość jest zmienna i wynosi na ogół od kilku do kilkunastu metrów. Jedynie w delcie Wisły przekracza 20 m. Dane powyższe zebrał z wielu źródeł L. Andrzejewski (1994). W rejonie Czerwińska, Wyszogrodu i Brwilna Górnego, wzdłuż prawego brzegu, miąższość aluwów jest śladowa. Koryto wysłane jest tam brukiem morenowym, zalegającym na glinie morenowej lub łałach plioceńskich. Na odcinku uregulowanym w XIX w. stwierdzono 14 odcinków dużego nagromadzenia głazów polodowcowych, tzw. raf, utrudniających regulację rzeki (według hydrotechnika pruskiego K. Kellera – Ingarden 1921). Odporne na erozję wgłębną odcinki stwierdza się również poniżej Włocławka (Babiński 1992). Mogą to być resztki moren czołowych jeziorów lodowcowych w dolinie (Falkowski 1980). Na odcinkach tych miąższość aluwów spada, a swobodny rozwój koryta był utrudniony. Odcinki te stwarzały największe trudności w żegludze, dlatego usuwano głazy z koryta, z różnym natężeniem w różnych okresach. W rejonie Wyszogrodu czyniono to jeszcze w początkach lat siedemdziesiątych, wykorzystując kamień przy pracach regulacyjnych.

Brzegi rzeki budują przeważnie osady serii powodziowej, silnie zróżnicowanych w pionie oraz nieco mniej w poziomie (Myślińska 1980). Autorka ta wyróżnia dwie podstawowe serie aluwów, różniące się zmiennym wykształceniem litologicznym w układzie pionowym. Seria I – odpowiadająca holocenijskim aluwiom (madom) gliniastym, o miąższości średniej 1,0–2,5 m. Leży ona na piaskach drobnoziarnistych serii korytowej. Są to osady facji powodziowej – drobnoziarniste, spoiste (fot. 1). Seria II – to współczesne mady pylasto-piaszczyste, o średniej miąższości 0,5–2,0 m. Występują na serii I lub są od niej oddzielone warstwą piasku lub gleby kopalnej. Granulometrycznie są mało spoiste. To osad rzeki dzikiej, roztokowej o szybkim przepływie wód. Litologicznie są grubsze od serii I i bardziej zróżnicowane, co jest wynikiem warunków ich sedymentacji, charakteryzujących się znaczną zmiennością przepływów oraz przeciążeniem rzeki transportowanym rumowiskiem.

Tabela 3

Brzegi nie aluwialne dolnej Wisły (km)
Non-alluvial banks of the lower Vistula

Odcinek	Km	Brzeg lewy				Brzeg prawy			
		koryto	utwory	WW	utwory	koryto	utwory	WW	utwory
Modlin–Wyszogród	37	–	–	0,9	Q	20,3	Q	32,4	Q
Wyszogród–Płock	45	0,5	Q	0,6	Q	9,0	Q, PL, A	9,1	Q, PL
Płock–Włocławek	43	30,6	Q, PL, A	30,6	Q, PL, A	37,6	Q, PL, M, A	37,6	Q, PL, M, A
Włocławek–Silno	43	9,5	Q, PL, A	27,4	Q, PL, A	5,8	Q, A	40,1	Q, A
Silno–Toruń	17	–	–	15,5	Q, A	3,2	Q, A	17,8	Q, A
Toruń–Grudziądz	101	6,2	Q, A	39,2	Q, A	5,6	Q, A	31,7	Q, A
Grudziądz–Tczew	75	8,8	Q, A	35,4	Q, A	0,9	Q, A	3,2	Q, A
Modlin–Tczew	361	55,6	Q, A, PL	149,6	A, Q, PL	82,4	A, Q, PL, M	171,9	A, Q, PL, M
Ogólnie brzegów			361			361			
Brzegi nie aluwialne korytowe			56			82			
Brzegi nie aluwialne powodziowe			150			172			
Brzegi aluwialne korytowe			305			279			
Wały (zapory) – brzegi powodziowe			211 (351)*			189 (291)*			

Wiek i rodzaj utworów: Q – czwartorzędowe: gliny, piaski, mułki; PL – pliocenijskie: ility, pyły; M – miocenijskie: piaski, pyły, ility; A – antropogeniczne: wały, bulwary, ostrogi, opaski. WW – koryto wysokiej wody (powodziowe).

* Rozciągłość wałów powodziowych dolnej Wisły (do Nogatu) wg M. Rusak (1982).

Age and kind of formation: Q – quaternary: tills, sands, silts; PL – pliocene: clays, silts; M – miocene: sands, silts, clays; A – anthropogene: flood embankments, boulevards, groynes, parallel bands; WW – high water channel (flood).

* Flood embankments stretch of the lower Vistula river (on the Nogat) under M. Rusak (1982).

Granulometrycznie są to: w serii I – pyły o zawartości frakcji ilastej 15–40% i piasku 5–55%; w serii II – piaski gliniaste i pyły piaszczyste o 5–10% iłu i 30–70% piasku. Ilość substancji organicznej w obu seriach waha się od 0,2 do 11%. Kąt tarcia wewnętrznego 4–24° (seria I) i 13–27° (seria II). Wyższe kąty tarcia wewnętrznego serii II wynikają z grubszego ziarna i mniejszej wilgotności (Myślińska 1980).

Brzegi koryta w osadach aluwialnych mają przeważnie wysokość 1,0–3,5 m; rzadko przekraczają wysokość 4 m przy stanach średnich. Brzegi erozyjne, aktualnie czynne są nachylone 40–80°; im brzeg niższy, tym bardziej stromy. Duży udział osadów zwięzłych z przewagą pyłów w profilach brzegu gwarantuje większą jego stromość, niezależnie od jego wysokości.

Brzegów nie aluwialnych jest 5,5 raza mniej aniżeli aluwialnych na lewym brzegu rzeki i 3,4 raza mniej na prawym brzegu (tab. 3). W porównaniu z aluwialnymi są one przeważnie wyższe i bardziej odporne na rozmyw. Budują je przeważnie utwory plejstoceniowe (piaski i gliny morenowe), przy niewielkim udziale neogeńskich iłów, pyłów i piasków. Na długości 45,5 km zbiornika Włocławek są to w 52,7% – utwory czwartorzędowe; 33,2% – utwory czwartorzędowe i plioceniowe i w 4,8% – utwory neogeńskie i czwartorzędowe (Banach 1994). Poza zbiornikiem Włocławek jest bardzo mało czynnych wysokich kłifów.

Brzegi nie aluwialne, macierzyste są strefą wzajemnego oddziaływania procesów brzegowych i stokowych. Ich wysokość i nachylenie są silnie zróżnicowane: od 0,5 do 40 m przy nachyleniu od kilku do 45°. Aktualnie czynne kłify w glinach zwałowych są najbardziej strome. Brzegi w koluwjach są nachylone średnio o kilkanaście stopni, licząc od linii brzegowej do krawędzi nisz osuwiskowych.

Granulometryczne zróżnicowanie brzegów macierzystych jest większe niż brzegów aluwialnych; od iłów do gładów. Parametry wytrzymałościowe na ścianie są wyższe niż w aluwjach. Podatność tych brzegów na odkształcenie, przemieszczenia linii brzegowej wynikają głównie z uszczelnienia, spękań w strefie przykrawędziowej zboczy oraz z jednokierunkowego, stałego rozmywania ich podstawy. Najwięcej tych brzegów jest na odcinku: Płock–Włocławek, Modlin–Wyszogród oraz Włocławek–Silno (tab. 3). Prace regulacyjne zmierzają m.in. do odsunięcia strefy erozji od podnóża brzegów macierzystych. Koryto WW (wysokiej wody) na rzece uregulowanej opiera się przeważnie o wały przeciwpowodziowe.

5. WARUNKI HYDROLOGICZNE I LODOWE W OKRESIE BADAŃ NA TLE WIELOLECIA

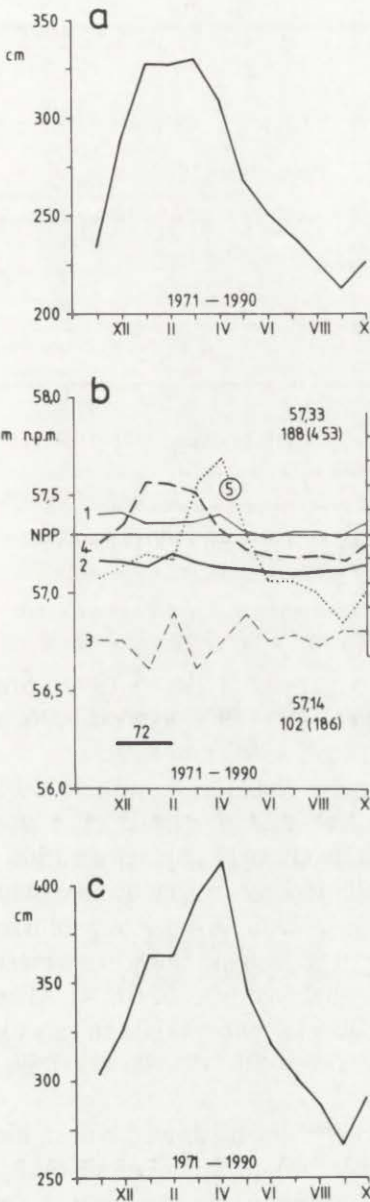
5.1. STANY WODY I PRZEPIŁYWY

Stany wody prawie każdej rzeki są kształtowane jej przepływami, sporadycznie jednak na dolnej Wiśle modyfikowane są zjawiskami lodowymi. W przypadku występowania zatorów lodowych stany wody nie są funkcją przepływu. Wysokie stany wody związane są z wczesnowiosennym spływem wód roztopowych, potęgowanym często spływem lodu. W górnej części dolnej Wisły występują na ogół w lutym–marcu, podczas gdy w odcinku dolnym, uregulowanym – w kwietniu (ryc. 3a, c). Wysokie stany letnie, powodowane opadami rozlewnymi, nie zaznaczają się w wartościach z wielolecia. Fale wezbraniowe, zalewające równinę zalewową w ciągu ostatnich 30 lat trwały przeciętnie 5–7 dni w roku; maksymalnie nawet 15 dni (1979 r.) i to z podziałem na powódź wiosenną i letnią (Babiński 1992). Przeciętne roczne wahania stanów wody między Toruniem a odgałęzieniem Nogatu mieszczą się w przedziale 4,5–5,5 m, a w ujściu Nogatu i Tczewie osiągają prawie 6 m. Dalej w dół rzeki spadają, osiągając 1,5 m w ujściu (Świbno). Maksymalne amplitudy przekraczają 7 m, a w zwężeniach koryta, poniżej odgałęzienia Nogatu i w Tczewie, dochodzą do 10,5 m (Cyberski 1982). Wzrost amplitud stanów wody wynika tu ze zwężenia koryta Wisły w trakcie regulacji i przegrodzenia Nogatu.

Nieregularność stanów i przepływów powoduje zróżnicowanie deformacji brzegów, z nasileniem wiosną i wygasaniem jesienią (wrzesień). Amplitudy średnich miesięcznych stanów wody z lat 1971–1990 są największe na odcinku uregulowanym – 146 cm w Toruniu, 117 cm w Wyszogrodzie (częściowo uregulowanym), 61 cm w cofce zbiornika (Płock) oraz 46 cm na stopniu piętrzącym, gdzie stany wody reguluje człowiek (ryc. 3, tab. 4).

W cofce zbiornika najwyższe średnie miesięczne stany z wielolecia występują zimą, z maksimum w styczniu. Spowodowane jest to głównie nadpiętrzeniami zatorowymi przy zamarzaniu (stawaniu) rzeki, a nie zwiększonymi dopływami. Najniższe stany występują latem, ale minimum przypada na wrzesień. W dolnej części zbiornika (stopień) wahania są wielokrotnie mniejsze, choć obraz jest podobny; maksimum zimą, a minimum latem.

Analiza przepływów Wisły w Toruniu za okres 90 lat (1900–1990) pozwoliła



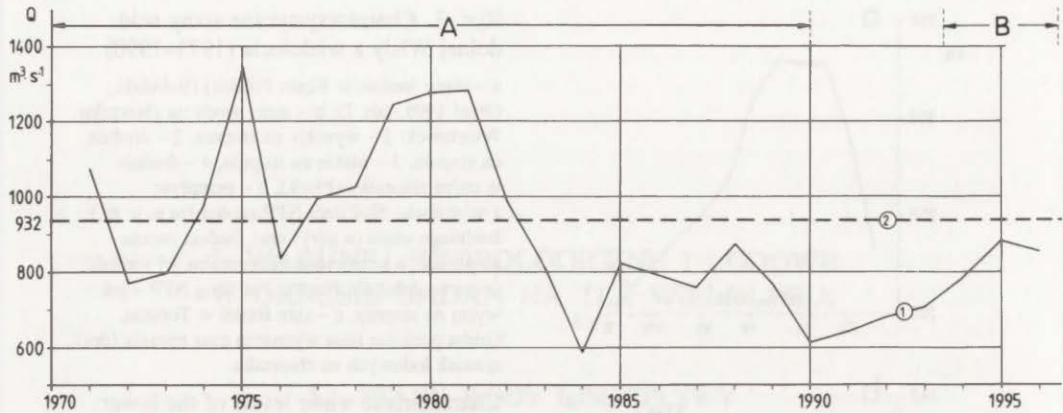
Ryc. 3. Charakterystyczne stany wód dolnej Wisły z wielolecia (1971–1990)

a – stany średnie w Kępie Polskiej (Babiński, Grześ 1995, tab. 7); b – stany wody na zbiorniku Włocławek: 1 – wysokie na stopniu, 2 – średnie na stopniu, 3 – niskie na stopniu, 4 – średnie w cofce zbiornika (Płock), 5 – przepływ z wielolecia. Nad linią NPP rzędna (m n. p. m.) średniego stanu (u góry) oraz średnia roczna amplituda, a w nawiasie ekstremalna jej wartość, w cm (u dołu) dla Płocka. Pod linią NPP – jak wyżej na stopniu; c – stan średni w Toruniu. Gruba pozioma linia wyznacza czas trwania (dni) zjawisk lodowych na zbiorniku

Characteristic water levels of the lower Vistula river from the many years period (1971–1990)

a – mean water levels in Kępa Polska (Babiński, Grześ 1995, table 7); b – water levels in the Włocławek reservoir: 1 – high on the dam, 2 – mean on the dam, 3 – low on the dam, 4 – mean in the reservoir's water back (Płock), 5 – discharge from the many years period. Over the NPP line (m a. s. l.) ordinate of the medium water level (at the top) and the mean yearly amplitude and in brackets – its extremal value in cm (for Płock). Under the line NPP – as higher on the dam; c – mean water level in Toruń. Thick horizontal line determines duration of the ice phenomena in the reservoir

wyróżnić cykle krótko- i długookresowe. J. Cyberski (1982) wyróżnił dla Torunia cykle w okresach: 3,5; 5,5; 6,5; 13,5; 25 i 57 lat. Można w tym czasie mówić o trzech okresach wilgotnych, zaznaczonych uśrednionymi kulminacjami w latach 1915, 1980, 1990, przedzielonych niżówkami w latach 1910, 1930, 1952 i 1985 (Babiński, Grześ 1995, ryc. 7). Okresom wilgotnym odpowiadały średnie roczne przepływy w Toruniu w granicach $1300\text{--}1960\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, natomiast okre-



Ryc. 4. Średnie roczne dopływy do zbiornika Włocławek za okres 1971–1996 (1) oraz średni z wielolecia (2)

Okresy badań dynamiki brzegów: A – zbiornika Włocławek, B – dolnej Wisły

Mean yearly inflows to the Włocławek reservoir for the period 1971–1996 (1) and mean inflow from the many years period (2)

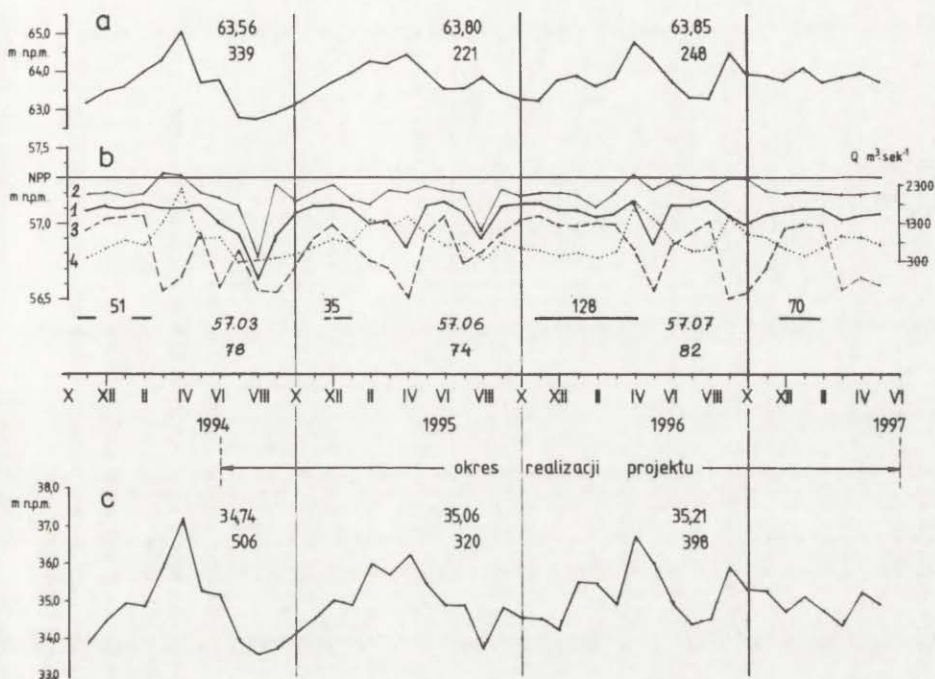
Periods of the banks' dynamics studies: A – of the Włocławek reservoir, B – of the lower Vistula

som suchym – przepływy rzędu $600\text{--}700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (np. lata 1984 i 1990). Średni roczny przepływ Wisły w Toruniu z wielolecia (1971–1990) wynosił 1036, a na stopniu we Włocławku $932\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (Babiński, Grześ 1995, tab. 8, 9).

Okres realizacji badań nad dynamiką brzegów charakteryzował się wielkościami przepływów poniżej średnich rocznych z wielolecia, z tendencją wzrostową (ryc. 4). Roczne amplitudy wahań stanów wody były największe (506 cm w Toruniu) w roku hydrologicznym 1994. Największe zróżnicowanie stanów wystąpiło w 1996 r., charakteryzujące się trzema pikami, przedzielonymi trzema niżówkami. Był to rok z nietypowym, wyraźnym wzrostem stanów we wrześniu, który to w wieloleciu jest okresem stanów minimalnych (ryc. 5, tab. 4). Miesiąc ten wyróżnił się największymi amplitudami wahań na dolnej Wiśle za cały okres badań. Wyraźna trzykrotna przemienność stanów wody w 1996 r. odbiła się wyraźnie na deformacji brzegów.

Wahania stanów wody na odcinku spiętrzonym stopniem wodnym są nieregularne i nie zależą od wielkości dopływów (ryc. 5b). Są wielokrotnie mniejsze niż na odcinkach nie spiętrzonych i na ogół nie przekraczają 1 m rocznie. Stany wody na stopniu regulowane są jęgo potrzebami i bezpieczeństwem.

Hydroelektrownia jako główny dystrybutor wody na stopniu została zaprojektowana jako elektrownia szczytowa. Ze względu na brak obiektów towarzyszących – innych stopni kaskady – pracuje podszczytowo i przepływowo w systemie interwencyjnym. Stąd też brak wyrazistości zbieżności przebiegu stanów wody z przebiegiem zapotrzebowania na energię elektryczną. Do analizy wzięto notowania godzinne z dwóch miesięcy o zróżnicowanych dopływach (sierpień 1994 i kwiecień 1996 r.). Podczas dopływów mniejszych od średnich rocznych



Ryc. 5. Rzędne średnich miesięcznych stanów wody dolnej Wisły w okresie 1994–1997

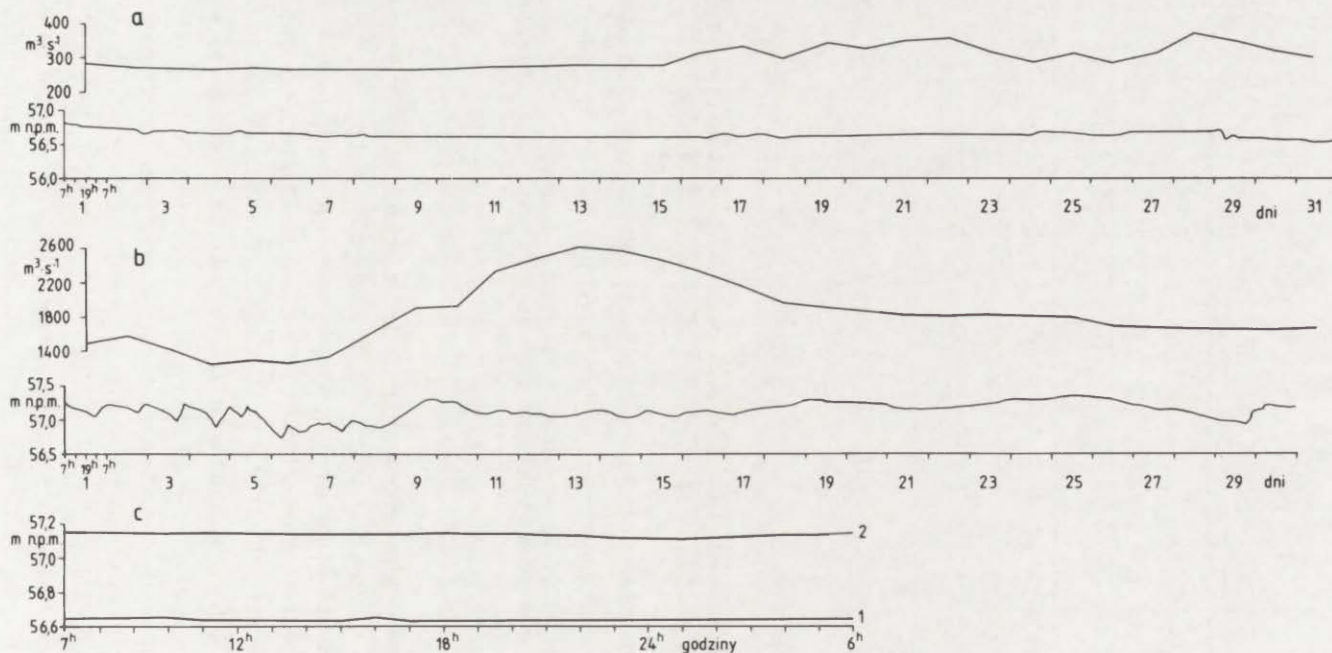
a – Wyszogród; b – Włocławek (zapora): 1 – średnia woda, 2 – wysoka woda, 3 – niska woda, 4 – średni miesięczny dopływ do zbiornika; c – Toruń; dla każdego roku hydrologicznego podano średni roczny stan (u góry) oraz roczną amplitudę (u dołu). Gruba pozioma linia wyznacza czas trwania (dni) zjawisk lodowych

Ordinates of the mean monthly water levels of the lower Vistula at the period 1994–1997

a – Wyszogród; b – Włocławek (dam): 1 – mean water, 2 – high water, 3 – low water, 4 – mean monthly inflow to the reservoir; c – Toruń; for each hydrological year the mean yearly water level is given (at the top) and the yearly amplitude (at the foot). Thick horizontal line determines duration (days) of ice phenomena

brak jest zbieżności w cyklu dobowym (ryc. 6a), natomiast gdy dopływy są większe od średnich rocznych – zbieżność ta występuje, ale nie jest ciągła (ryc. 6b). Wykres średnich godzinnych stanów za powyższe miesiące wykazuje znikomą zbieżność spadku stanów z cyklem wzmożonego zapotrzebowania na energię (ryc. 6c). Niekiedy zbieżności te są bardziej wyraziste (Banach 1994, ryc. 9). Dobowe amplitudy wahań zwierciadła wody mieszczą się w granicach od kilku do 50 cm; oscylując, niezależnie od pory roku, około średniej wartości 19 cm. Większe amplitudy towarzyszą dużym przepływom przez zbiornik. W okresie badań amplitudy dobowe oscylowały wokół wartości 0–51 cm, przy średnich rocznych 10–15 cm.

Największe dobowe wahania zwierciadła dolnej wody na stopniu (poniżej zapory) występują w okresach trwania przepływów średnich. Maksymalnie mogą dochodzić do 3 m, najczęściej 2,0–2,5 m (Babiński 1982, 1992). Podczas nagłych zrzutów wody następują chwilowe przyrosty przepływów i spadków



Ryc. 6. Godzinne stany wód zbiornika Włocławek na zaporze oraz średnie dobowe dopływy

a - sierpień 1994 r.; $Q = 265-358 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; b - kwiecień 1996 r., $Q = 1266-2611 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; c - średnie godzinne stany wód zbiornika przy zróżnicowanych dopływach ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$): 1 - 265-358 (sierpień 1994), 2 - 1266-2611 (kwiecień 1996)

Hourly water levels of the Włocławek reservoir on the dam and mean daily inflows

a - August 1994; $Q = 265 - 358 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; b - April 1996; $Q = 1266-2611 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; c - mean hourly water levels of the reservoir with differentiated inflows ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$): 1 - 265-358 (August 1994), 2 - 1266-2611 (April 1996)

zwierciadła, co doprowadza do pulsacyjnych przyrostów i spadków energii, powodujących wzmożony proces rozmywu brzegów i dna (Ikonnikov 1981). Dobowe wahania stanów wody związane z pracą stopnia wodnego, bez względu na ich wielkość i przebieg w czasie, mają wpływ na reżim hydrologiczny Wisły, na odległości prawie 130 km (do Chełmna). Wahania te ulegają redukcji podczas niżówek oraz w okresach trwania wezbrań (Babiński, Grześ 1995).

5.2. SPADEK ZWIERCIADŁA RZEKI I PRĘDKOŚĆ PRZEPIYU WÓD

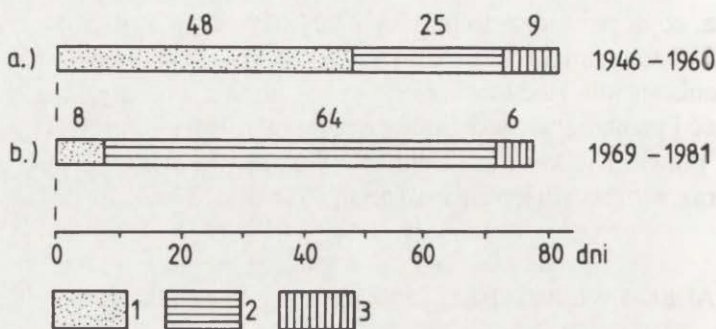
Średni spadek zwierciadła dolnej Wisły wynosi 0,18% (18 cm na 1 km biegu rzeki). Z analizy morfologicznej koryta wynika, że nie może być on równomierny, chociażby tylko ze względu na przemienność szerokości i głębokości koryta. Obecność raf w dnie doliny oraz różny stopień zabudowy technicznej różnicuje spadki i przepływy. Powyższe parametry zmieniają się również ze zróżnicowaniem natężenia przepływu w czasie.

W warunkach normalnych spadki zwierciadła kształtują się w przedziale od 0,033 do 0,351‰ (Babiński 1992, ryc. 14). Prędkości przepływu wahają się od 0,2 do 0,6 m·s⁻¹ przy przepływach średnich, a przekraczają 1,0 już przy przepływach przekraczających 3500 m³ (Cyberski 1982). Na odcinku około 20 km w górę od stopnia wodnego Włocławek zwierciadło wody zalega prawie horyzontalnie, a na dalszych 10 km podnosi się łagodnie. Prędkości przepływu na trzydziestokilometrowym odcinku wahają się od 0,07 m·s⁻¹ – przy dopływie średnim do 0,3 m·s⁻¹ – przy dopływie 3680 m³. Powyżej km 640, podczas średniego dopływu, następuje gwałtowny wzrost prędkości przepływu (Banach 1994).

5.3. ZJAWISKA LODOWE

W ustroju lodowym rzek można wydzielić trzy podstawowe fazy: 1) zamarzania – kształtowania pokrywy lodowej; 2) trwałej pokrywy lodowej; 3) rozpadu pokrywy lodowej. Charakter i czas trwania poszczególnych faz zależy od warunków klimatycznych, lokalnych i ingerencji człowieka.

Czas trwania poszczególnych faz w rejonie Płocka przed i po spiętrzeniu rzeki zilustrowano na rycinie 7. Najdłuższa była faza formowania pokrywy lodowej, trwająca prawie dwukrotnie dłużej od czasu zalegania zwartej pokrywy lodowej. Średnia długość trwania zjawisk lodowych w okresie 1946–1960 wyniosła 82 dni w roku. Na odcinku spiętrzonej rzeki wyniosła średnio rocznie, za okres 20 lat (1971–1990) 72 dni, wahając się od 7 do 118 dni w roku (Banach 1994, tab. 7). Obecnie na tym odcinku rzeki czas trwania pokrywy lodowej stanowi 82% okresu zjawisk lodowych (Grześ 1991). Czas formowania się pokrywy lodowej skrócił się tu sześciokrotnie. Zjawiska lodowe w środkowym



Ryc. 7. Fazy zlodzenia Wisły w rejonie Płocka przed (a) i po spiętrzeniu (b), według M. Grzesia (1991)

1 – formowanie pokrywy lodowej, 2 – trwała pokrywa lodowa, 3 – rozpad pokrywy lodowej

Phases of Vistula covering with ice in the region of Plock before (a) and after damming (b), after M. Grześ (1991)

1 – forming of the ice cover, 2 – permanent ice cover, 3 – ice cover decay

i dolnym odcinku zbiornika trwają dłużej o 2–28% niż w rejonie Płocka, co należy tłumaczyć mniejszymi prędkościami przepływu wód oraz mniejszymi wahaniami zwierciadła wód w tym czasie.

Morfotwórczo, degradująco na brzegi oddziałuje zwarta pokrywa lodowa oraz spływające kry i pola lodowe. Ruch lodu może być spowodowany zmianami jego temperatury, ruchem wody i oddziaływaniem wiatru. Powszechnie znane jest niszczące oddziaływanie kry na wypukłych brzegach w okresie spływu lodu. Głównym czynnikiem decydującym o skali procesu jest prędkość i grubość pokrywy lodowej; im grubsze kry i większy przepływ, tym większe natężenie niszczenia brzegów. Dodatkowym czynnikiem zwiększającym ten proces jest wiatr, który w przypadku rozszerzeń akwenów może mieć decydującą rolę w procesie parcia pokrywy lodowej na brzegi. Prawie corocznie, ale ze zróżnicowanym natężeniem, stwierdza się na dolnej Wiśle niszczenie brzegów przez lód.

Przy spokojnym zamarzaniu rzeki lód brzegowy wyznacza linię nurtu, którym spływa lód prądowy – placki lodowe. W przypadkach dużej produkcji śryżu lód brzegowy łamie się i mechanicznie oddziałuje na brzegi, ścinając ich krawędzie i spychając całe pakiety mineralne „na ląd”, miejscami na kilka metrów powyżej linii wodnej. Procesowi temu towarzyszy wzrost stanu wody. Wypadkowa siła napierających jest skierowana na ogół ukośnie do linii brzegowej. Po zamarznięciu rzeki poziom wody spada i proces niszczenia brzegu przez lód prawie zanika. Ponownie nasila się w okresie spływu lodu, po rozpadzie pokrywy lodowej, z nastaniem roztopów wiosennych i przybojem wody. Natężenie procesu niszczenia brzegów przez lód jest większe, intensywniejsze niż w okresie stawiania rzeki, ponieważ objętość wód jest na ogół znacznie większa.

Na odcinku spiętrzonej rzeki – na zbiorniku Włocławek – pokrywa lodowa nie zalega spokojnie, nie „drzemie”. Przy wyżowej pogodzie, przy znacznych

Amplitudy stanów wody (cm) dolnej Wisły

Amplitudes of water level (cm) of the lower Vistula river

Rok	Stacja	XI	XI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Rok	Średnia mies. 1971–1990
1994	Wyszogród	90	71	39	128	144	182	66	165	44	18	30	49	339	117
	Włocławek – zbiornik	23	18	14	14	76	67	27	66	31	21	72	44	78	46
	Toruń	73	132	63	158	236	262	106	258	145	49	35	83	506	146
1995	Wyszogród	56	126	141	41	57	66	80	44	165	37	98	43	221	
	Włocławek – zbiornik	30	26	29	37	52	68	32	18	47	14	29	16	74	
	Toruń	82	180	133	64	108	118	145	81	118	42	156	91	320	
1996	Wyszogród	43	103	67	24	75	135	51	124	41	89	243	117	248	
	Włocławek – zbiornik	17	22	20	9	22	49	67	43	26	21	79	75	82	
	Toruń	86	68	299	73	176	197	125	214	77	116	340	153	398	
1997	Wyszogród	39	82	32	86	113	89	52							
	Włocławek – zbiornik	47	22	21	22	62	53	64							
	Toruń	84	161	85	150	172	165	110							

Tabela 5

Czas trwania (dni) zjawisk lodowych na zbiorniku Włocławek w rejonie Dobiegniewa (km 661), według danych Stacji Terenowej IGiPZ PAN

Duration (days) of the ice phenomena in the Włocławek reservoir in the region of Dobiegniewo (km 661), after the data of the Research Station of IGiPZ PAN

Rok hydrologiczny, okres	Miesiąc						Ogółem		Maksymalna grubość lodu
	XI	XII	I	II	III	IV	z lodem	bez lodu	
1993/94	14	11	–	17	9	–	51	314	23
1994/95	–	7	28	–	–	–	35	330	20
1995/96	2	31	31	29	31	4	128	238	77
1996/97	–	13	31	26	–	–	70	295	47
1971–1990*	3	15	22	20	13	–	72	294	–

* Wg M. Banach (1994).

After M. Banach (1994).

różnicach temperatury w przeciągu doby, pokrywa lodowa – rozszerzając się i kurcząc – prze na brzegi u ich podstawy. W wyniku parcia lodu na przemarznęte od powierzchni brzegi tworzy się wał egzaracyjny o wysokości kilkudziesięciu centymetrów i szerokości do 1,5 m, otulony darnią (Banach 1994, ryc. 22). Proces ten, zachodzący powoli, prawie niezauważalnie, oddziałuje na wszystkie brzegi, ale morfologiczny efekt jego oddziaływania jest wyraźny i dość trwały wzdłuż brzegów abrazyjnych niskich (do 1 m wysokości), niezależnie od ich ukształtowania. W procesie tym podlegają niszczeniu również krzewy i drzewa – na skutek „podcięcia” ich systemów korzeniowych (fot. 2). Niszczona jest również zabudowa techniczna brzegów. Maksymalne przesunięcia linii brzegowej sięgają 0,8 m w jednym sezonie zimowym i towarzyszą klifom do wysokości 0,5 m, piaszczystym, zadarnionym. Jest to jednak proces epizodyczny, nie powtarzający się w takiej skali corocznie. Lokalnie napór pokrywy lodowej ścina płyty powierzchniowej, przemarznętej warstwy odsypów piaszczystych, przesuwając je ku podstawie klifów. Deformacje te zabliźniają się jednak szybko.

W przeciągu ostatnich 27 lat najbardziej „ucierpiały” brzegi od zjawisk lodowych w styczniu 1982 r., szczególnie w obrębie i powyżej zbiornika Włocławek (Grześ, Banach 1983). Na skutek sprzyjających warunków hydrologiczno-meteorologicznych utworzył się olbrzymi korek lodowy, o różnym stopniu szczelności, który spowodował wzrost stanów wody, przerwanie wałów i powódź w rejonie Płocka. Brzegi macierzyste (nie aluwialne) oraz wały przeciwpowodziowe były niszczone przez lód. W okresie ostatnich czterech lat brzegi były degradowane silnie przez lód w roku 1996, głównie w czasie zamarzania rzeki. Zjawiska lodowe trwały nieprzerwanie przez 128 dni na spiętrzonej odcinku rzeki, tj. o 56% dłużej niż w roku przeciętnym (tab. 5). Powstały wtedy liczne, ciągnące się nieprzerwanie, setkami metrów, świeże wały egzaracyjne. Odmłodzone zostały także, nierozmyte jeszcze, istniejące stare wały. Najkrócej, tylko przez 35 dni, był na Wiśle dolnej lód w 1995 roku hydrologicznym. Nie stwierdzono jego wyraźnego, niszczącego wpływu na brzegi.

Niszczące oddziaływanie lodu na brzegi, wynikające z jego rozszerzalności termicznej w okresie zalegania zwartej pokrywy lodowej, jest typowe dla odcinka b – spiętrzonego od 29 lat (fot. 2). Oddziaływanie mechaniczne lodu, powodowane przepływem wody w korycie, jest typowe dla rzeki nie spiętrzonej; większy efekt niszczenia brzegów jest na odcinkach częściowo uregulowanych (a i c). Brzegi rzeki uregulowanej przed ponad wiekiem niszczone są przez lód w najmniejszym stopniu; niszczeniu podlega tu głównie zabudowa techniczna koryta.

6. OGÓLNE PRAWIDŁOWOŚCI PROCESU DEFORMACJI BRZEGÓW RZEK

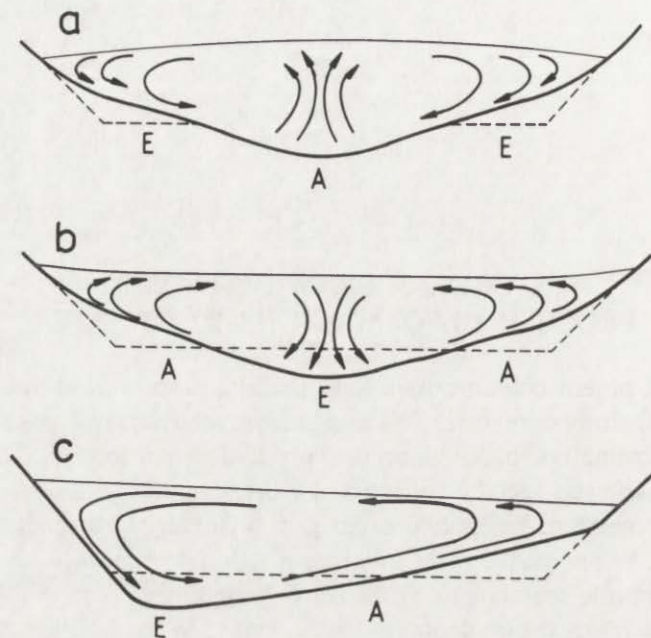
Brzeg jest pasem pogranicznym lądu i wody, szerszym od linii brzegowej, a węższym od strefy brzegowej. Wzdłuż erozyjnych odcinków pas ten jest szerszy aniżeli wzdłuż odcinków akumulacyjnych. Jest on domeną oddziaływania procesów stokowych (geodynamicznych) i brzegowych (hydrodynamicznych). Głównym czynnikiem brzegotwórczym jest, wynikający ze spadku, ruch strumienia wody. W przypadku rzeki spiętrzonej są to fale wiatrowe i potok przyboju. Dodatkową rolę spełniają na Wiśle zjawiska lodowe.

Wisła jest rzeką o turbulentnym ruchu wody. W ruchu tym cząstki wody wykonują jednocześnie ruch postępowy, zaburzony wirami poziomymi i pionowymi, oraz ruch obrotowy, przejawiający się krążeniem cząstek wody w kierunku poprzecznym. Nakładanie się ruchu obrotowego na ruch postępowy doprowadza do spiralnego, śrubowego, helikoidalnego ruchu wody w korycie rzeczonym (Rehbock 1927 patrz Klimaszewski 1981).

W czasie przyrostu stanów wody zwierciadło rzeki uzyskuje profil wypukły, gdyż najszybciej woda napływa w linii nurtu. Cząstki wody płyną powierzchniowo od wypukłego nurtu ruchem rozbieżnym na boki, ku brzegom. Wzdłuż brzegów powstają prądy zstępujące, rozmywające brzegi, po czym kierują się ku środkowi koryta, transportując osady. Połączone wody, po zdeponowaniu osadów, podpływają ku górze, w kierunku nurtu, jako prąd wstępujący (ryc. 8a).

W czasie opadania stanów wody jej zwierciadło ma profil wklęsły, powodowany najszybszym odpływem w nurcie rzeki. Cząstki wody spływają ruchem zbieżnym w kierunku nurtu, skąd masy wodne ulegają kompensacyjnemu przemieszczaniu w głąb. Powstaje prąd zstępujący, który przy dnie rozdziela się i żłobi dno. Wody odpływają na obie strony ku brzegom koryta, gdzie po zdeponowaniu transportowanego osadu podpływają ku powierzchni jako prądy wstępujące (ryc. 8b). W ten sposób w rzekach o przebiegu prostym powstają dwa systemy kręgów przemieszczających się śrubowo w dół rzeki. W rzekach o dużej szerokości, jak dolna Wisła, przyjmuje się większą ilość kręgów o średnicy równej miąższości warstwy wody (Kaszowski, Kotarba 1970). Dość częste zmiany stanów wody powodują rytmiczne następstwa akumulacji i erozji na tych samych odcinkach brzegów i dna.

Na rzekach o przebiegu krętym istnieje tylko jeden system kręgów. W takich rzekach zarówno w czasie wzrostu jak i spadku stanów wody nurt znajduje się



Ryc. 8. Schemat prądów helikoidalnych w czasie przyboru (a) i spadku stanów (b) na rzece prostolinijnej oraz na krętej (c) wg T. Rehbocka (1927) za M. Klimaszewski (1981)

A – strefa akumulacji, E – strefa erozji

Scheme of the helicoidal currents during the increase (a) and decrease (b) of water levels on the straight and meandering river (c) after T. Rehbock (1927), Klimaszewski (1981)

A – accumulation zone, E – erosion zone

zawsze przy brzegu wklęsłym, dokąd to spychane są siłą odśrodkową powierzchniowe cząstki wody. Prądem zstępującym woda przemieszcza się do dna przy brzegu wklęsłym, powodując stały rozmyw brzegu. Stamtąd, jako prąd przydeny, podpływa do wypukłego brzegu przeciwnego, akumulując po drodze niesione osady (ryc. 8c).

Oprócz omówionej wyżej nadrzędnej zasady przemienności procesu erozji i akumulacji brzegów w czasie wahań stanów wody, zachodzi również przemienność kierunku procesu powodowana przemieszczaniem się form korytowych w dół rzeki. W rejonie Wyszogrodu przemieszczały się one w okresie 1982–1989 ze średnią prędkością 0,83 m na dobę, tj. prawie 0,3 km w przeciągu roku (Babiński 1992, tab. 5). Poszczególne rodzaje łąch przemieszczają się z różną prędkością, zależną również od natężenia przepływu. W przypadku „około 30-procentowego wzrostu przepływu następuje ponad dwukrotny wzrost tempa przemieszczania się czoł łąch” (Babiński 1992, s. 93). W zwężeniach koryta łąchy przemieszczają się szybciej, a w rozszerzeniach – wolniej; na Wiśle uregulowanej o 22–33% szybciej aniżeli w Wyszogrodzie.

Wahania stanów wody powodują zmiany w geodynamice brzegów. Przy wzroście stanów wody brzeg staje się coraz bardziej stromy na skutek odtransportowywania aluwii z podwodnej części stoku brzegowego. Osady brzegu nasączają się stopniowo wodą, zwiększając swój ciężar. Spadają parametry wytrzymałościowe na ścinanie (odkształcenie z przesunięciem); spada spójność i kąt tarcia wewnętrznego. Wzrost ciśnienia sphywowego wód podziemnych przy spadkach zwierciadła wody zwiększa sufozję i nasila deformację, erozję brzegu. Proces powyższy przebiega z łatwością, w skali zauważalnej makroskopowo, ponieważ koryto rozwija się w podatnych na erozję aluwiiach. Wisła jest rzeką o szerokim poziomie zalewowym, przewyższającym 2–3 razy szerokość koryta. Tylko na niewielu przewężeniach jest rzeką adoptowaną, o poziomie zalewowym szerszym od koryta, ale węższym od 2–3 jego szerokości (Čalov 1994). Na większości swego biegu Wisła bez przeszkód mogła rozmywać brzegi swego koryta z natężeniem kilku, a nawet więcej metrów rocznie.

Sąsiedztwo wysokiego, nawet na kilkadziesiąt metrów, prawego brzegu od Modlina do Włocławka wpływało tu w znacznym stopniu na częściową „kontrolę” rozwoju koryta poprzez brzeg macierzysty. Z rozpoczęciem technicznej zabudowy brzegów Wisła stawała się rzeką skrępowaną przez system ostróg i opasek brzegowych – z trudnościami poddających się deformacjom. Energia rzeki wydatkowana jest na erozję wgłębną i akumulację osadów w obrębie zabudowy technicznej brzegów oraz na ich transport tranzytowy.

7. WSPÓŁCZESNA DYNAMIKA BRZEGÓW RZEKI NA TLE ZABUDOWY TECHNICZNEJ

7.1. ODCINEK A – UREGULOWANY CZĘŚCIOWO, DEGRADOWANY (MODLIN–PŁOCK)

W początkowym etapie realizacji badań uważałem górny odcinek dolnej Wisły – powyżej zbiornika Włocławek – za swobodny, wolny od ingerencji człowieka w procesy korytowe. Taka panuje powszechnie opinia społeczna. Początkowo sformułowano temat pt. „Dynamika brzegów rzeki swobodnej i zabudowanej hydrotechnicznie na przykładzie dolnej Wisły”. Dlatego też zaplanowano tu najgęstszą sieć pomiarową współczesnej zmienności brzegów. Miał to być, w zamyśle, klucz do zrozumienia odmienności morfodynamicznej innych odcinków. Poznanie tempa współczesnych deformacji brzegów miało stać się podstawą do transponowania wyników na czas miniony. Oswajanie się z terenem gasiło stopniowo ten optymizm. Jest to również rzeka zabudowana technicznie, ale nieregularnie i niekonsekwentnie.

Jest to rzeka posiadająca w 82,7% brzegi niestabilne, których zarys w planie zmienia się. Odcinki erozyjne stanowią w sumie 63,6%, a akumulacyjne 19,1%. Brzegów neutralnych, bez wyraźnych przesłanek erozji lub akumulacji, jest 7,8%, a umocnionych, aktualnie stabilnych – 9,5% (tab. 6). Jest to najbardziej labilny odcinek dolnej Wisły.

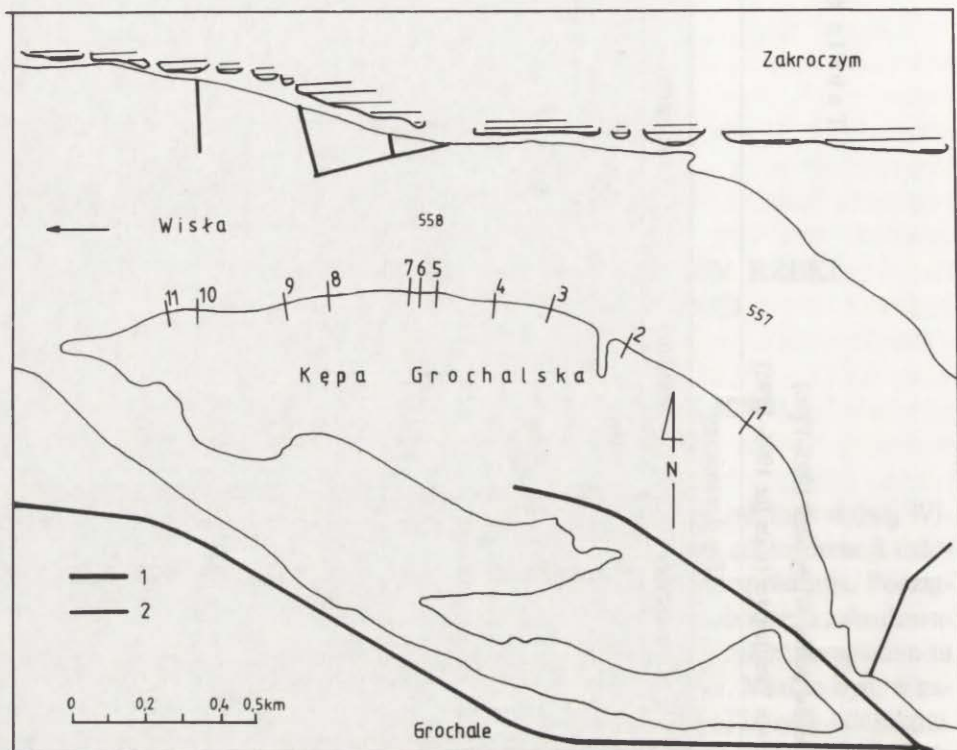
Pierwszy od góry odcinek pomiarowy (ryc. 9) obejmuje wypukły fragment łuku, wykonanej w latach osiemdziesiątych nowej geometrii koryta. Rozpoczyna się około 5 km poniżej uregulowanego od dawna fragmentu w sąsiedztwie Twierdzy Modlin. Wklęsłą część łuku zabudowano ostrogami i opaską, zwężając nurt do 327 m. Erozja rozpoczęła się przed 10 laty po podjęciu prac regulacyjnych i przegrodzeniu wałem sterującym szerokiego ramienia na lewym brzegu. Wtedy to brzeg kępy w Grochalach, powstałej w około 70% w przeciągu ostatnich 100 lat, stał się lewym brzegiem rzeki.

Przekroje poprzeczne koryta, wykonane przy przepływach i stanach poniżej wartości średnich, ilustrują dwa odmienne hydrodynamicznie jego fragmenty. Pierwszy przekrój (ryc. 10a) pokazuje końcowy fragment odcinka przejściowego koryta pomiędzy łukami, nie zabudowany technicznie, a drugi – koryto o nurcie ukierunkowanym zabudową techniczną na prawym brzegu (ryc. 10b).

Tabela 6

Rozciągłość dynamicznych typów brzegów dolnej Wisły (stan 1995–1996)
 Extent of dynamic types banks of the lower Vistula river (state for 1995–1996)

Nazwa odcinka	Długość odcinka Kilometraż rzeki	Typ dynamiczny							
		erozyjny (abrazyjny)		akumulacyjny		neutralny		umocniony	
		km	%	km	%	km	%	km	%
Modlin–Wyszogród (Drwały)	40								
	550–590	51,2	64,0	13,4	16,8	6,9	8,6	8,5	10,6
Wyszogród (Drwały)–Płock	40								
	590–630	50,6	63,2	17,2	21,6	5,5	6,9	6,7	8,3
Modlin–Płock	80								
	550–630	101,8	63,6	30,6	19,1	12,4	7,8	15,2	9,5
Płock–Włocławek (zbiornik Włocławek)	45								
	630–675	61,9	68,8	3,7	4,1	2,2	2,4	22,2	24,7
Włocławek (zapora)–Silno	43								
	675–718	21,1	24,5	19,4	22,6	30,7	35,7	14,8	17,2
Silno–Solec Kujawski	43								
	718–761	19,7	22,9	0,9	1,0	60,7	70,6	4,7	5,5
Modlin–Solec Kujawski	211								
	550–761	204,5	48,5	54,6	12,9	106,0	25,1	56,9	13,5



Ryc. 9. Szkic sieci pomiarowej w Grochalach na tle sytuacji morfodynamicznej w korycie pod Zakroczymiem

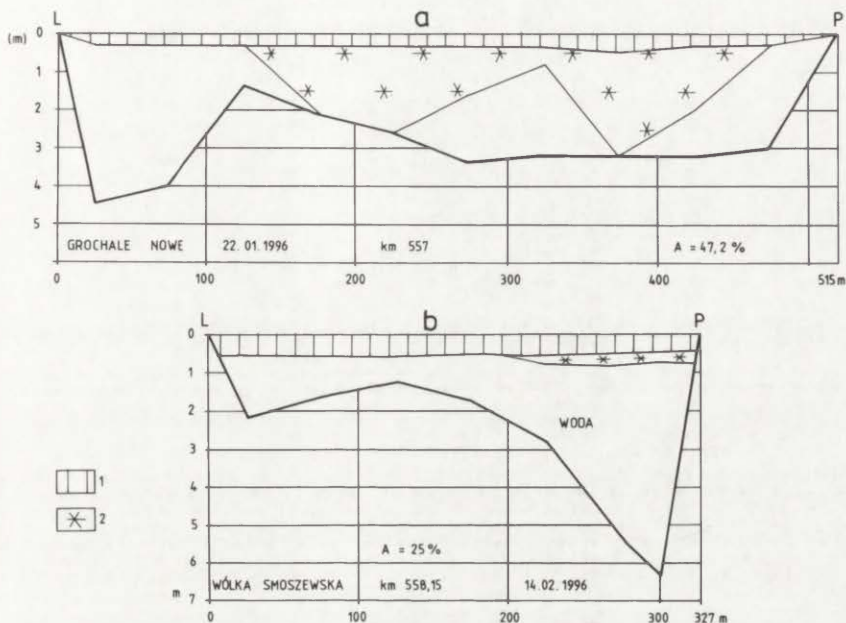
1 – zabudowa techniczna, 2 – brzegi naturalne

Scheme of the measurement net in Grochale against the background of morphodynamic situation in the channel near Zakroczym

1 – hydrotechnical structure, 2 – natural banks

Średnia roczna wielkość strefy rozmywu lewego brzegu o wysokości 2,4 m na odcinku 1,8 km wyniosła 1,5 m, wahając się od 0,7 do 2,0 m całego okresu pomiarowego, tj. 1,6 lat (tab. 7, fot. 3–4). Zwiększenie tempa rozmywu wystąpiło w roku hydrologicznym 1996 i wynikało z wielokrotnych, znacznych wahań lustra wody oraz z egzaracji lodowej. Z 1 m bieżącego brzegu ubyło średnio rocznie $5,8 \text{ m}^3$, a z całego odcinka pomiarowego – rocznie $17,3 \text{ tys. m}^3$. Jest to suma rozmywu nadwodnej i podwodnej części brzegu.

Drugi odcinek pomiarowy zlokalizowano w Wyszogrodzie, głównie na Kępie Wyszogrodzkiej i Kamińskiej, które stały się lewym brzegiem Wisły po ich przegrodzeniu tamą w latach siedemdziesiątych. Oba brzegi są naturalne, nie umocnione; nie licząc przyczółka mostu (drewnianego) i nabrzeża w Wyszogrodzie. Prawy brzeg stanowi zbocze Wysoczyzny Płońskiej, o wysokości do 35 m, kształtowane przez procesy ruchów masowych. Lewy brzeg jest aluwialny o wysokości do trzech metrów (ryc. 11, fot. 5).



Ryc. 10. Koryto w górnym odcinku dolnej Wisły koło Zakroczymia

- a – brak zabudowy technicznej brzegów w odcinku przejściowym pomiędzy łukami, wg M. Grześ i in. (1996), b – ukierunkowanie nurtu opaską na prawym brzegu. 1 – pokrywa lodowa, 2 – śryż, A – procentowy udział lodu w powierzchni przekroju koryta

River channel in the upper segment of Vistula near Zakroczym

- a – lack of technical structures of banks in the transitional segment between arcs, after M. Grześ and others (1996), b – orientation of the streamline by a band on the right bank. 1 – ice cover, 2 – frazil ice, A – per cent part of ice in the channel cross-section surface

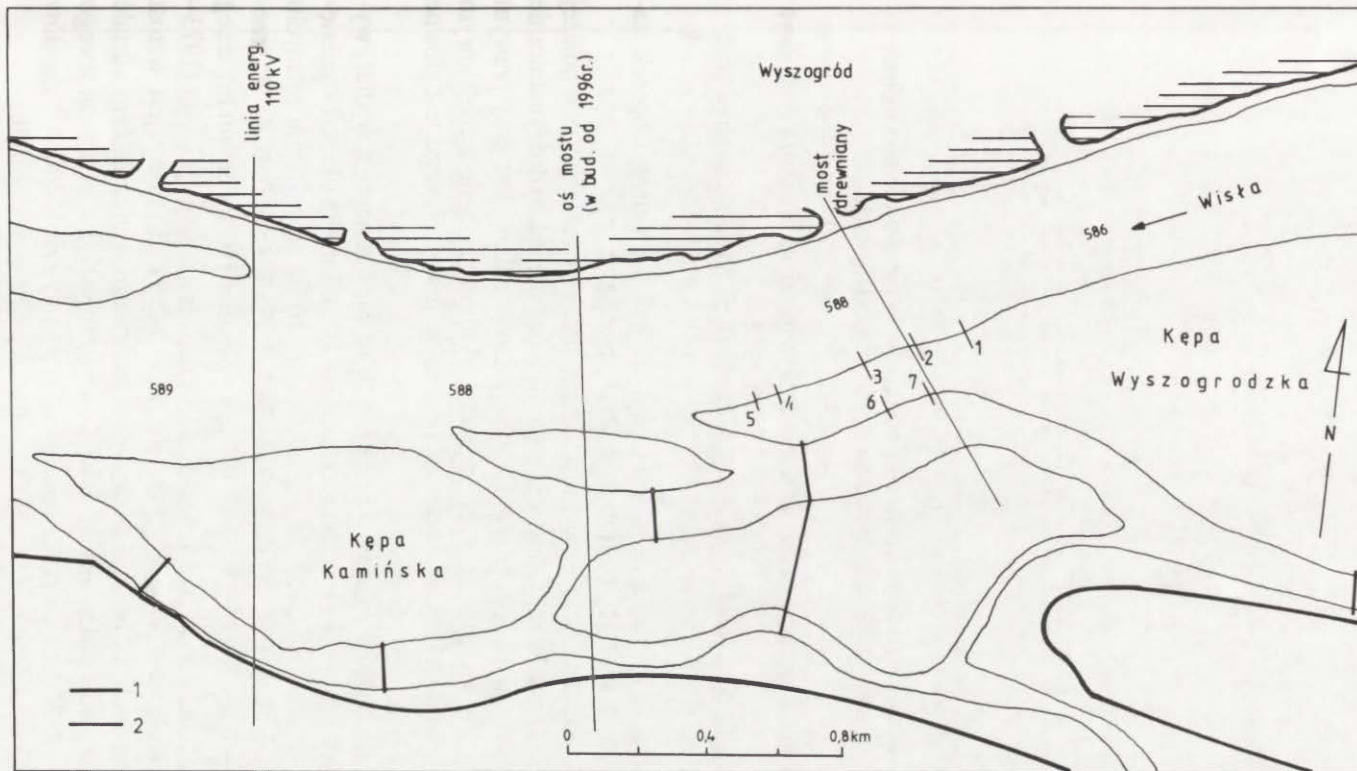
Prawy brzeg podlega od wieków powolnej, permanentnej erozji, o czym świadczy pozostała do teraz resztką grodziska (fot. 6), na którym to w początku XIV w. wybudowano zamek, a w końcu wieku lokowano miasto (1398 r.). Na południowej pierzei dawnego centrum miasta – rynku, brak obecnie budynków, a odległość do krawędzi zbrocza wynosi 30 m. Należy sądzić że przed sześciu wiekami odległość ta wynosiła minimum 90–100 m. Natężenie erozji mogło wynosić 10–12 m na stulecie. Na skutek kurczenia się przestrzeni pomiędzy rynkiem a urwiskiem brzegu Wisły przeniesiono centrum miasta. W 1406 r. ulokowano w Wyszogrodzie klasztor franciszkanów (fot. 5), którego południowa ściana kościoła jest obecnie oddalona o 37 m od krawędzi niszy osuwiskowej. Pomiar i obserwacje strefy przykrawędziowej wysoczyzny nie wykazały znaczących zmian i odkształceń. Jedyne na wysokości czoła osuwiska, odmłodzonego w kwietniu 1994 r. (ul. Klasztorna 15), linia brzegowa cofnęła się w ciągu 20 miesięcy o 2,9 m.

Latem 1996 r. rozpoczęto regulację tego odcinka rzeki w związku z budową mostu drogowego na kilometrze 587,6, na zachodnim obrzeżu miasta. Prace

Tabela 7

Rozmyw (erozja) brzegu (m) lewego Wisły w Grochalach (km 656,7–658,5). Lokalizacja przekrojów na ryc. 9
 Wash-out (erosion) of the left Vistula bank (m) in Grochale (km 656,7–658,5). Location of cross-sections in fig. 9

Data pomiaru	Numer przekroju brzegu i jego wysokość (m)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	3,0	2,8	3,3	3,1	2,8	2,6	2,7	2,3	1,7	0,9	0,8
19.09.1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.02.1996	0,6	0,9	1,1	1,2	1,1	1,0	1,2	1,3	0,2	0,7	–
13.05.1997	2,1	2,2	3,2	3,1	2,9	2,7	2,8	2,7	1,9	1,2	1,1
Średnia roczna za 1,6 lat	1,3	1,4	2,0	1,9	1,8	1,7	1,8	1,7	1,2	0,8	0,7

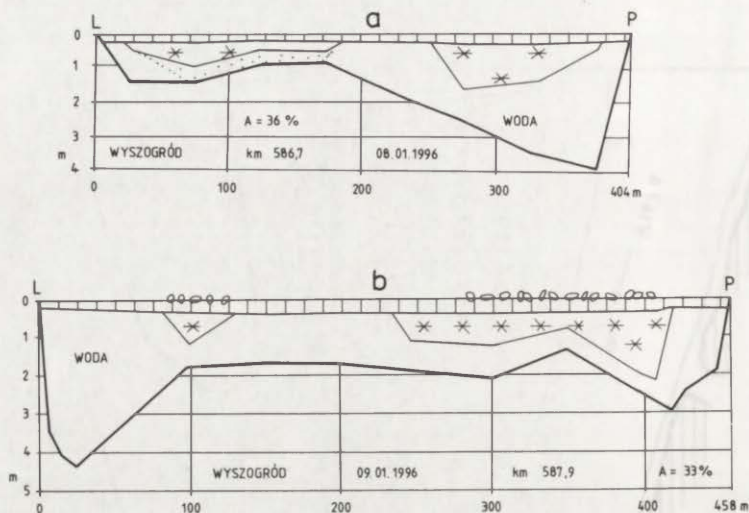


Ryc. 11. Szkic sieci pomiarowej w Wyszogrodzie

1 – zabudowa techniczna, 2 – brzegi naturalne

Scheme of the measurement net in Wyszogród

1 – hydrotechnical structure, 2 – natural banks



Ryc. 12. Koryto bez zabudowy technicznej brzegów w Wyszogrodzie przylegające prawym brzegiem do zbocza wysoczyzny morenowej

a – głównie ramię rzeki przed mostem, b – koryto poniżej Kępy Wyszogrodzkiej z rozwidlonym nurtem
 Channel without the technical structures of banks in Wyszogród, its right bank lying close to the morainic plateau slope

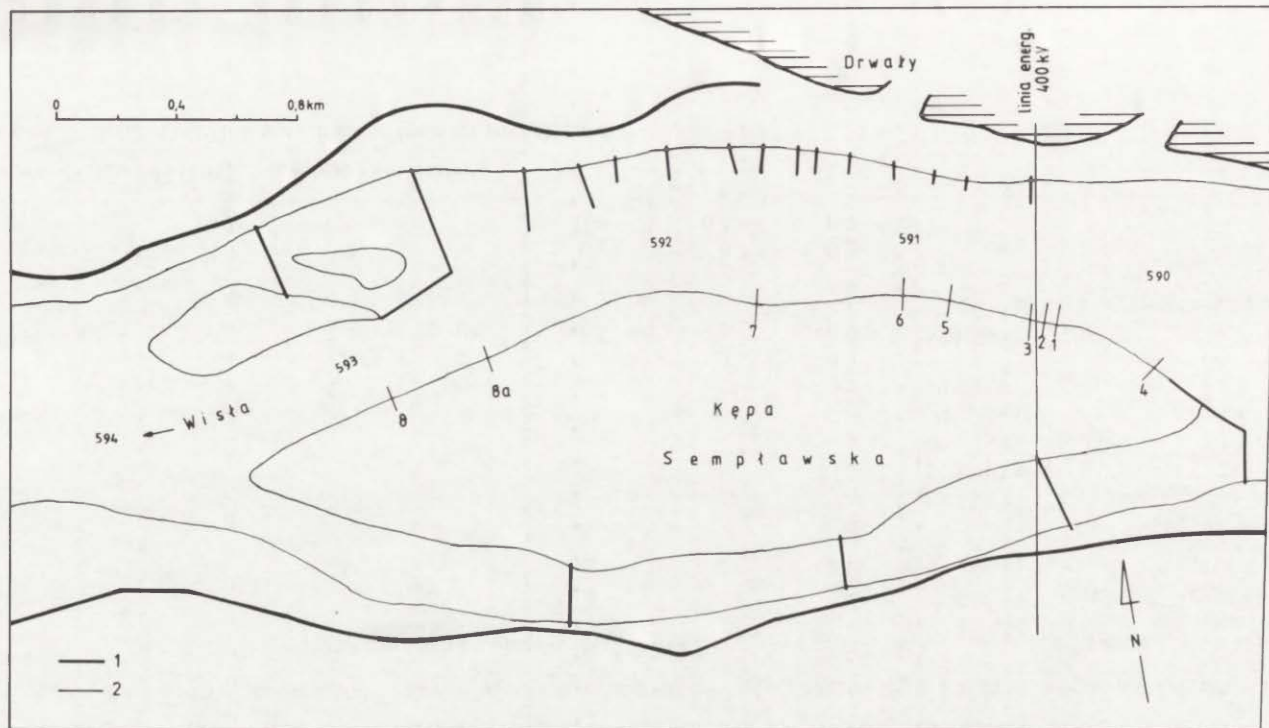
a – main river arm before the bridge, b – the channel downstream Kępa Wyszogrodzka with a forked streamline

regulacyjne polegają na zwężeniu koryta poprzez budowę ostróg i opasek, zarówno na prawym, jak i na lewym brzegu. Prace trwają.

Przekroje poprzeczne koryta, wykonane przy przepływach i stanach poniżej wartości średnich z wielolecia, ilustrują jego nieco odmienne hydrodynamiczne fragmenty. Na początku odcinka pomiarowego nurt skupiony jest przy prawym brzegu (ryc. 12a). W końcowej części odcinka koryto poszerza się z częściowym podziałem nurtu na dwa koryta; odgałęzienie wzdłuż lewego brzegu jest głębsze (ryc. 12b).

Średnia roczna wartość rozmywu brzegu lewego, aluwialnego, o średniej wysokości 2,5 m wyniosła 1,7 m, wahając się od 0,8 do 4,3 m (za okres 14 miesięcy). Na wysokości drewnianego mostu za ostatnie 10 lat erozyjnemu rozmyciu uległa strefa o szerokości 29 m, a więc średnio o 2,9 m w roku (tab. 8). W przekroju linii energetycznej 110 kV przez Wisłę za ostatnie 107 lat aluwialny brzeg cofnął się o 215 m, a więc o 2 m rocznie. W przeciągu ostatnich 24 lat (1973–1997) tempo rozmywu wynosi 2,8 m rocznie (fot. 7). Wyraźny jest wzrost rozmywu brzegu lewego, po przerzuceniu się tam nurtu – przy dużym udziale człowieka przed ponad pół wiekiem. Średni roczny ubytek z 1 m brzegu lewego wynosi 7,7 m³. Z 300 m długości mierzonej kępy ubywało 6200 m³ aluwii rocznie. Obecnie brzeg ten jest w trakcie zabudowy ostrogami i opaską.

Trzeci odcinek pomiarowy zlokalizowano na Kępie Semplawskiej (ryc. 13), która w okresie 1890–1973 przyrosła powierzchniowo o około 50%. Erozi pod-



Ryc. 13. Szkic sieci pomiarowej na Kępie Semplawskiej

1 – zabudowa techniczna, 2 – brzegi naturalne

Scheme of the measurement net on Kępa Semplawska

1 – hydrotechnical structure, 2 – natural banks

<http://rcin.org.pl>

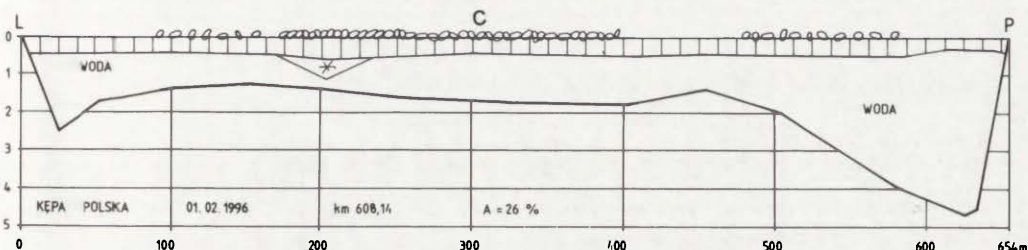
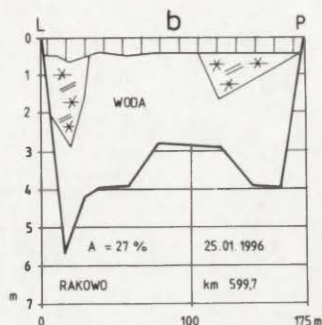
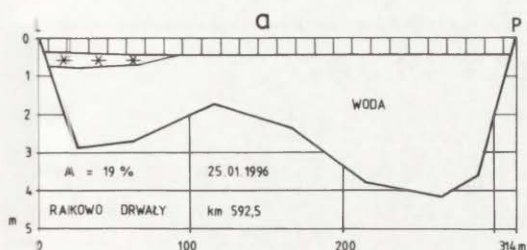
T a b e l a 8

Rozmyw (erozja) brzegu (m) Kępy Wyszogrodzkiej i Kamińskiej (km 586,5–589,0). Lokalizacja przekrojów na ryc. 11
 Wash-out (erosion) of the bank (m) in Kępa Wyszogrodzka and Kamińska (km 586,5–589,0). Location of cross-sections in fig.11

Data	Numer przekroju brzegu i jego wysokość (m)							Linia energetyczna 110 kV (km 588,7)			
	1	2	3	4	5	6	7	okres	lat	wielkość erozji (m)	
	2,1	2,1	1,0	3,1	3,0	3,1	2,9			suma	średnia roczna
1987.02	–	0*	–	–	–	–	–	1890–1973	83	147,0	1,8
1996.02	0	25,0	–	–	–	–	–	1973–1995	22	63,3	2,5
1996.05	0,5	27,4	0	0	0	0	0	1995–1996	1	3,4	4,2
1996.10	um	29,2	1,1	1,4	1,2	1,2	0,5	1996–1997	1	1,3	1,4
1997.03	um	29,3	1,1	um	1,8	1,2	0,9	1890–1997	107	215,0	2,0
1997.04	um	29,3	1,1	um	1,8	1,2	0,9				
średnia roczna	–	2,9	0,9	–	1,5	1,0	0,8			2,0	
za lat	–	10,2	0,9	–	0,9	0,9	0,9			107,0	

*Wg M. Grześ, Z. Babiński (1987), um – brzeg umocniono.

After M. Grześ, Z. Babiński (1987), um – bank of the river strengthened.



14. Koryto w aluwialach poniżej Wyszogrodu

a – ukierunkowanie nurtu opaską na prawym brzegu, b – przegłębienie boczne ramię zabudowane nie skutecznie, c – koryto bez zabudowy technicznej brzegów

Channel in alluvial sediments downstream Wyszogród

a – orientation of the streamline by a band on the right bank, b – over-deepened lateral arm, built-up ineffectively, c – channel without technical structures of banks

legała w tym czasie jej część doprądowa, jak również w przekroju linii energetycznej 400 kV. W początku lat siedemdziesiątych przegrodzono tamami ramię oddzielające Kępę od lewego brzegu (fot. 8). Zakończono w tym czasie zabudowę brzegu prawego w Drwałach. Od 22 lat Wisła na tym odcinku kształtuje swe koryto w nowych warunkach hydraulicznych. Lewy brzeg jest aluwialny, bez zabudowy technicznej. Prawy w 90% długości jest zabudowany ostrogami, przetamowaniami i opaską, resztę stanowi podnóże stromego zbocza wysoczyzny morenowej, geodynamicznie neutralne. Charakterystyczny przekrój poprzeczny koryta, wykonany w linii pomiarowej 8a przedstawia rycina 14a i fotografia 9.

Średnia roczna wartość rozmywu w latach 1890–1997, w przekroju linii energetycznej wyniosła 0,8 m (tab. 9, fot. 10). W ostatnich dwóch latach nie stwierdzono rozmywu nadwodnej części brzegu w przekrojach 1–3 i 5, z powodu przemieszczenia się form korytowych poza fragment przekrojów oraz wejście strefy erozji w gruzowiska dawnych siedlisk. Jest to tylko okresowe zahamowanie procesu rozmywu. W centralnej części odcinka erozja brzegów postępuje najintensywniej: 2,4 m rocznie za ostatnie 24 lata (fot. 11). W okresie od 1890 do 1973 r. Kępa w tej części zwiększyła swą szerokość o 110 m i wysokość o 0,6–2,8 m ponad średni stan wody. Tempo przyrostu wyniosło więc średnio 1,3 m rocznie, a w pionie – przyrost miąższości od 0,7 do 3,3 cm rocznie.

Tabela 9

Rozmyw (erozja) brzegu (m) Kępy Semplawskiej (km 690–693). Lokalizacja przekrojów na ryc. 13
 Wash-out (erosion) of banks (m) in Kępa Semplawska (km 690–693). Location of cross-sections in fig. 13

Data	Numer przekroju brzegu i jego wysokość (m)									Linia energetyczna 400 kV (km 590,5)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	8a	okres	erozja (m)	
	3,5	3,5	3,5	3,7	3,5	2,8	1,5	3,4	2,1		suma	średnia roczna
1973	–	–	–	–	–	–	–	–	0	1890–1973	70	0,8
1995.11	0	0	0	0	0	0	0	0	54,0	1973–1985	5	0,6
1996.05	0	0	0	0,4	0	1,4	1,8	0	55,9	1985–1995	7	0,7
1996.10	0	0	0	1,2	0	1,9	2,7	–	56,8	1995–1997	0	0,0
1997.04	0	0	0	1,8	0	2,2	3,2	0,7	58,2	1890–1997	82	0,8
średnia roczna za lat	0	0	0	1,1 1,6	0	1,4 1,6	2,0 1,6	0,4 1,6	2,4 24,0	1890–1997	82	0,8 107,0

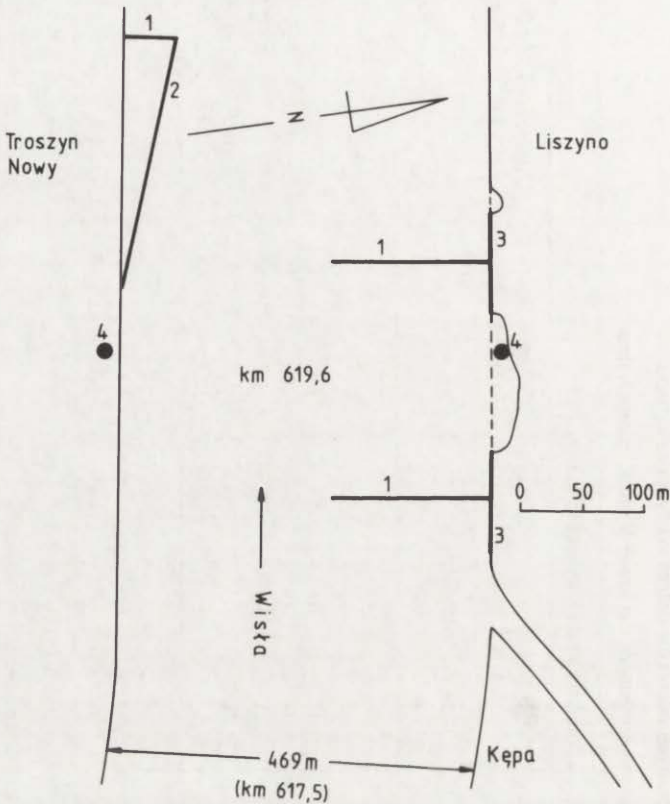
Tabela 10

Rozmyw (erozja) brzegów (m) wybranych odcinków dolnej Wisły, poza kępami
 Wash-out (erosion) of banks (m) in chosen segments of the lower Vistula, except holms

Data	Nazwa (numer) przekroju, kilometraż rzeki i wysokość brzegu (m)												
	Rakowo 599,7–P 1,5	Suchodół 602,8–L 1,6	Kępa Karolińska 603,83–L 2,3	Kępa Polska			Białobrzegi		Troszyn Nowy 618,1–L 1,2	Bielino 624,0–P 0,5	Siarzewo 707,0–L 3,6	Ciechocinek 713,1–L 3,7	Brzoza Toruńska 722,15–L 4,0
				1 608,2–P 1,5	2 608,4–P 1,5	3 608,0–P 2,3	1 610,0–P 1,4	2 610,5–P 0,6					
1972	–	0	0	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–
1990	–	–	–	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–
1995.09	0	68,4	15,2	8,0	4,5	0	0	0	84,0	0	0	0	0
1996.02	0	68,7	17,5	8,0	4,5	0	0	0	–	0	0	0	0,4
1996.05	0	68,7	17,5	10,9	4,5	0	0	1,1	86,3	0,5	0	0,7	1,5
1996.10	0	70,2	18,2	10,9	6,2	0,0	0	4,5	88,6	0,7	0	0,0	4,3
1997.04	0 um	71,2	18,3	11,0	7,8	2,5	1,5	4,5	92,0	0,7	0	0,9	4,9 um
średnia roczna za lat	0 1,6	2,8 25,0	0,7 25,0	1,7 6,6	1,2 6,5	0,4 6,5	0,9 1,6	2,4 1,6	3,7 25,0	0,4 1,6	0 1,6	0,6 1,6	3,1 1,6

Pomiar na brzegu: L – lewym, P – prawym; um – brzeg umocniono opaską faszynowo-kamienną.

Measurements of the banks: L – left, P – right; um – bank of the river strengthened fascine-stone bands.



Ryc. 15. Szkic zabudowy technicznej w przekroju przegrody śrężowej Liszyno–Troszyn Nowy (km 619,6) i jej wpływ na wzrost erozji brzegu

1 – ostrogi (tamy poprzeczne), 2 – tama równoległa, 3 – materac faszynowy z narzutem kamiennym, 4 – zaczepy przegrody śrężowej. Podziałka tylko dla brzegu prawego

Scheme of the technical structures in the cross section of frazil-ice bar Liszyno–Troszyn Nowy (km 619,6) and its influence upon the bank erosion increase

1 – groynes (lateral dams), 2 – parallel dam, 3 – fascine mattress with stone coating, 4 – catch of frazil ice bar. Scale only for the right bank

Średni roczny ubytek z 1 m brzegu wyniósł $7,4 \text{ m}^3$, a z całej długości Kępy Semplawskiej (3 km) – około 22 tys. m^3 . Są to wielkości zbliżone natężeniem procesu do odcinka w Wyszogrodzie.

Poniżej Kępy Semplawskiej prowadzono jeszcze pomiary nad zachowaniem się brzegów w 5 pojedynczych i 2 grupowych przekrojach (tab. 10, fot. 12, 13). Nie są to „młode” brzegi wymuszone przez zabudowę techniczną. Są to, poza przekrojem Białobrzegi 1, brzegi „stare”, wzdłuż których rzeka prowadzi swe wody od dawna. Szerokość koryta jest tu zróżnicowana, podobnie stopień jego zabudowy. Są nawet fragmenty koryta o szerokości przewyższającej dwukrotnie zakładaną szerokość regulacyjną (ryc. 14c). W Rakowie natomiast po „zablokowaniu” od lat formami korytowymi głównego nurtu rzeka znajduje kanał ulgi

w przętamowanym od prawie 30 lat ramieniu bocznym (ryc. 14b). W trosce o bezpieczeństwo wału umocniono opaską faszynowo-kamienną w 1996 r. kilkusetmetrowy odcinek prawego brzegu tego ramienia. Wyraźnie wzmogła się tu erozja po wypełnieniu w 27% powierzchni przekroju poprzecznego lodem. Przekrój pomiarowy do śledzenia rozmywu brzegu wybrano tu (w Rakowie) nietrafnie.

Średnie roczne tempo cofania się brzegów na 9 przekrojach wynosiło 1,6 m. Średni roczny ubytek z 1 m bieżącego brzegu wyniósł 7,2 m³.

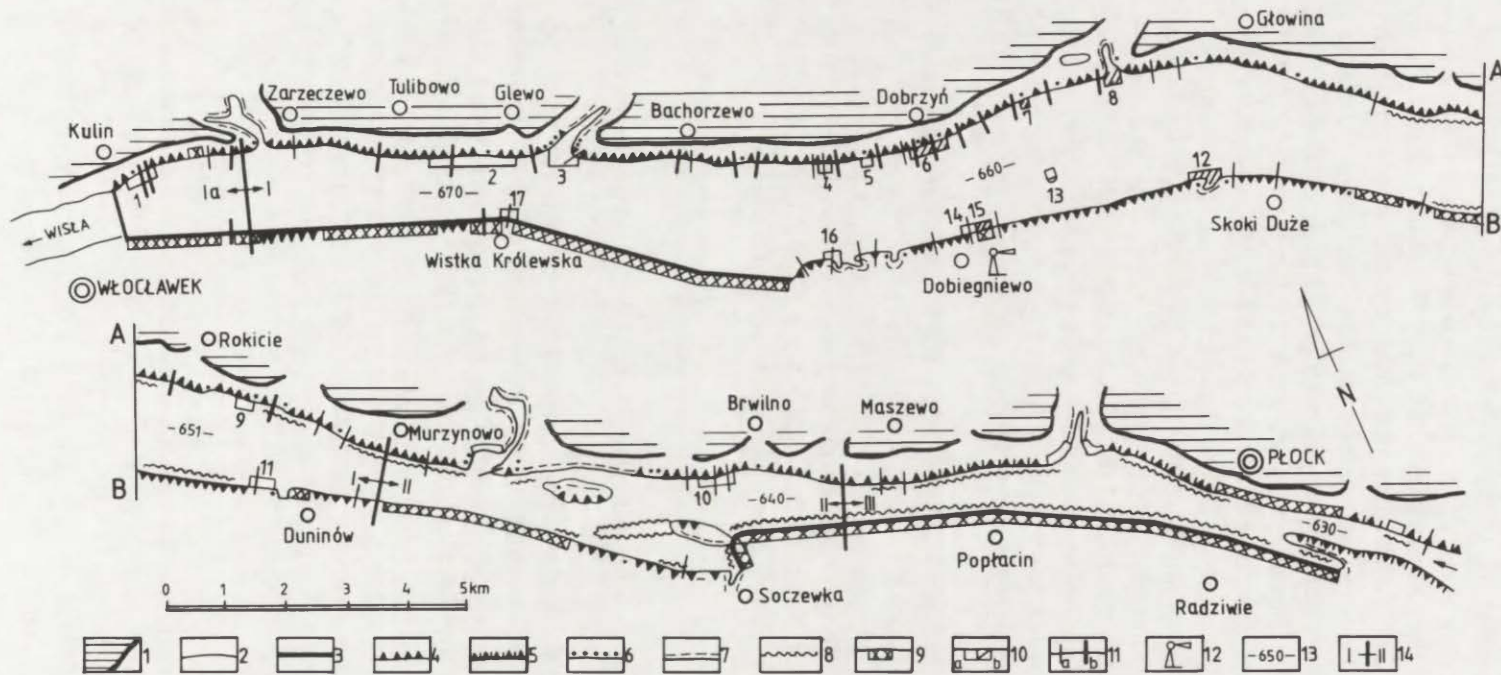
Ekstremalnie wysokie, punktowe zmiany stwierdzono na prawym brzegu w Liszynie, w przekroju przegrody śryżowej (km 619,6). W 1995 r. zakończono zabudowę brzegu i przygotowania do montażu przegrody. Na prawym brzegu wykorzystano dwie ostrogi, o długości 130 m, w odstępnie 200 m, zabetonowane na powierzchni. Brzeg na styku z ostrogami osłonięto materacem faszynowym z narzutem kamiennym, na całej jego wysokości i na długości 80 m przy każdej ostrodze. Pomiędzy ostrogami pozostawiono 120 m brzegu nie osłoniętego materacem. Na lewym brzegu zwiężono koryto tzw. tamą równoległą, opartą o główkę ostrogi (ryc. 15).

W okresie częściowego funkcjonowania przegrody śryżowej oraz wahań lustra wody, w 1996 r., na odcinku brzegu nie osłoniętego materacem powstała nisza erozyjna pomiędzy ostrogami. Do listopada 1996 r. maksymalna jej szerokość wyniosła 14 m, a długość – 120 m. Do kwietnia 1997 r. szerokość niszy wzrosła o dalsze 0,5–3,0 m. Materace osłaniające brzeg podlegają na obu swych końcach podmywowi. Na lewym brzegu nie zaszły znaczące zmiany w zarysie linii brzegowej.

7.2. ODCINEK B – SPIĘTRZONY (PŁOCK–WŁOCŁAWEK)

Do momentu spiętrzenia Wisły stopniem wodnym we Włocławku brzegi jej były częściowo zabudowane systemem ostróg. Dynamika procesów brzegowych była zmienna przestrzennie i czasowo, podobnie jak jest to obecnie na wyżej omówionym odcinku. O dynamice brzegów zbiornika Włocławek nic nadzwyczajnego powiedzieć nie jestem w stanie, po tym co już wypowiedziałem (Banach 1994). Powtórzenie szeregu twierdzeń, prawdziwości w przebiegu procesu nie jest w podsumowaniu realizacji projektu ani zbyteczne ani niemądre, zważywszy na prawie że egzotyczność tej tematyki w polskiej literaturze geograficznej.

Zmiana bazy erozyjno-denudacyjnej Wisły w wyniku jej spiętrzenia zapoczątkowała nowy, tzw. z b i o r n i k o w y e t a p rozwoju brzegów na podniesionych rzędnych nad poziom morza. Charakteryzuje się on nagłym wzrostem degradacji brzegów, a później stopniowym spadkiem procesu. Jest to drobny, ale znaczący epizod w rozwoju rzeźby doliny Wisły na tym odcinku. Odmienność budowy geologicznej i morfologii brzegów zbiornika wyraźnie różnicuje proces przekształcania jego strefy brzegowej. Mobilność prawego brzegu Wisły na tym odcinku jest procesem naturalnym, niezależnym od człowieka. Degradacja zbo-

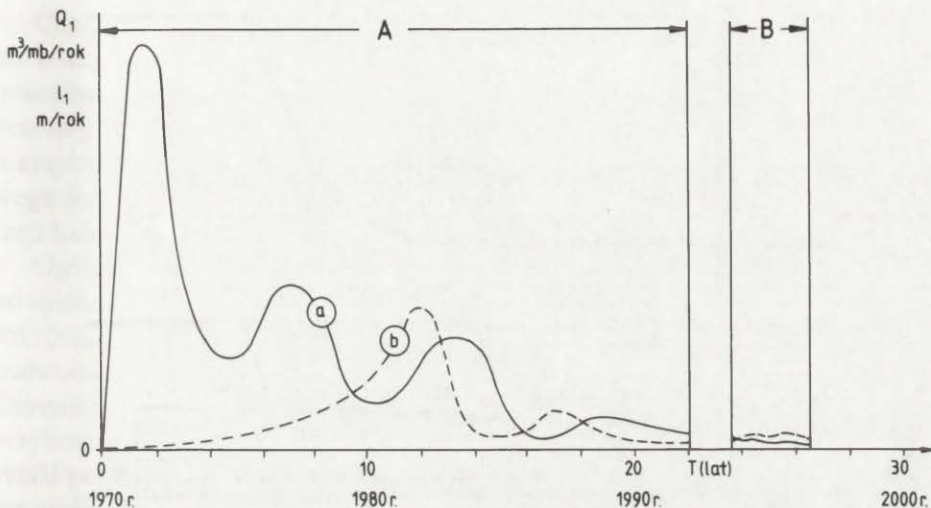


Ryc. 16. Badane odcinki brzegów zbiornika Włocławek na tle ich typologii

- 1 – krawędź wysoczyzny morenowej (teras); typ brzegu: 2 – naturalny, 3 – sztuczny (wały ziemne), 4 – abrazyjny, 5 – abrazyjno-erozyjny, 6 – akumulacyjny, 7 – neutralny, 8 – narefulowany, 9 – umocniony, 10 – odcinki badań szczegółowych (a) i odcinki udokumentowane w opracowaniu (b) – M. Banach (1994), 11 – przekroje poprzeczne strefy brzegowej o okresie pomiarów: a – 12-letnim, b – 20-letnim, 12 – stacja terenowa IGiPZ PAN w Dobiegniewie, 13 – km biegu Wisły, 14 – granice stref hydrodynamicznych

Studied segments of the Włocławek reservoir banks against the background of their typology

- 1 – edge of the morainic plateau (terraces), type of bank: 2 – natural, 3 – artificial (earth dikes), 4 – abrasive, 5 – abrasive-erosive, 6 – accumulative, 7 – neutral, 8 – dredged, 9 – fixed, 10 – segments of detailed studies (a) and segments described in the paper (b) – M. Banach (1994), 11 – cross-sections of the coastal zone of the measurement period: a – 12 years, b – 20 years, 12 – research station of IGiPZ PAN in Dobiegniewo, 13 – km of Vistula course, 14 – boundaries of hydrodynamic zones



Ryc. 17. Schemat natężenia abrazji brzegów wysokich (a) i niskich (b) zbiornika Włocławek

Okresy badań dynamiki brzegów: A – szczegółowych, systematycznych, B – przeglądowych.

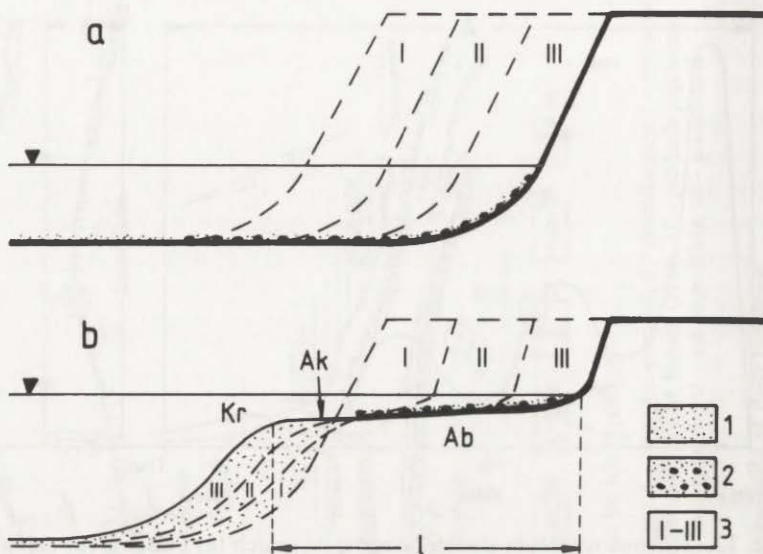
Scheme of abrasion intensity of high banks (a) and low banks (b) of the Włocławek reservoir

Periods of the banks' dynamics studies: A – detailed, systematic, B – review

cza wpisana jest w naturę szeroko pojętej budowy geologicznej tego obszaru, który leży w strefie brzeżnej Wału Środkowopolskiego. Jednokierunkowa „agresywność” rzeki udokumentowana jest w Płocku, Dobrzyniu i Glewie oraz w Wyszogrodzie (fot. 6 i 14). Człowiek jest jedynie w stanie wzmocnić okresowo lub opóźnić jego przebieg (Banach 1973, 1977, 1985).

Rozwój strefy brzegowej zbiornika Włocławek zachodzi w warunkach naturalnych (budowa geologiczna, morfologia i roślinność) oraz technogennych (gospodarka wodna na stopniu, bagrowanie dna, umacnianie brzegów) pod wpływem odziedziczonych procesów stokowych, erozji w cofce oraz nabytych (abrazji, falowego wyrównywania dna oraz wzrostu aktywności procesów odziedziczonych – głównie osuwisk). Po przegrodzeniu rzeki zaporą nastąpiła zmiana głównego procesu brzegowego – erozja Wisły zastąpiona została abrazją falowania wiatrowego zwiększonych powierzchni wodnych. Czynniki falowy okazał się wielokrotnie silniejszy, szczególnie w pierwszych kilku latach po spiętrzeniu rzeki.

Intensywniejsza abrazja objęła brzeg prawy, przygłębiowy, zróżnicowany litologicznie, o średniej wysokości 3,4 m (fot. 15). W ciągu 22 lat (1970–1992) cofnął się on średnio o 22 m, wahając się od 3 do 57 m. Ilość rozmytych utworów z 1 m bieżącego brzegu wyniosła 121 m³, przy wahaniami od 3 do 685 m³. Średnio corocznie ubywało 1 m brzegu o objętości 5,5 m³ z 1 m bieżącego (Banach 1994, tab. 11). Lewy brzeg, przyplączynowy, prawie jednorodny litologicz-



Ryc. 18. Schemat profilu stoku brzegu erozyjnego (a) i abrazyjnego (b)

Aluwia przybrzeżne: 1 – drobnoziarniste, 2 – gruboziarniste (rezyduum), 3 – etapy cofania się brzegu:
 części platformy (płycizny) przybrzeżnej: Ak – akumulacyjna, Ab – abrazyjna, Kr – krawędź

Scheme of an erosive bank slope profile: a – erosive, b – abrasive

Near-bank alluvia: 1 – fine-grained, 2 – coarse-grained (residuum), 3 – stages of the bank recession: parts of
 the coastal platform: Ak – accumulative, Ab – abrasive, Kr – edge

nie, o średniej wysokości 0,9 m cofnął się o 16 m, wahając się od 11 do 40 m. Ilość rozmytych utworów z 1 m brzegu wyniosła tutaj 16 m^3 i wahała się od 3 do 85 m^3 . Wyższym brzegom odpowiadają wyższe kubatury rozmytych utworów, a współczynnik korelacji jest zadowalający i wynosi 0,76 – dla prawego brzegu i 0,99 – dla lewego brzegu (Banach 1994, ryc. 26).

Natężenie abrazyji jest zróżnicowane przestrzennie i czasowo. Największa abrazyja dotknęła brzegi w środkowym odcinku zbiornika i maleje stopniowo ku górze oraz nieznacznie przy zaporze. Zjawisko powyższe wynika ze zróżnicowania hydrodynamicznego – sumarycznej energii falowania powyższych odcinków. Zróżnicowanie procesu abrazyji w obrębie wyróżnionych części (ryc. 16) zależy z kolei od litologii i ukształtowania linii brzegowej; im grubsze ziarno osadów, tym mniejszy efekt oddziaływania fal. Najbardziej abradowane są nawietrzne cypłe zatok (Banach 1994, ryc. 27). Roślinność opóźnia proces degradacji brzegów, szczególnie niskich. Natężenie procesu abrazyji w czasie nie jest równomierne; po intensywnym rozwoju w początkowym okresie po spiętrzeniu następuje wygasanie procesu (ryc. 17). Na brzegach niskich, przyplyciznowych, stadium intensywnego niszczenia jest łagodniejsze i występuje z opóźnieniem. Obecnie abrazyja dotyka jeszcze około 68% brzegów, nie licząc zatok (tab. 6, ryc. 16). Po spiętrzeniu prawy brzeg był w 95% abradowany, a obecnie w 82%.

Charakterystycznym zjawiskiem jest większe obecnie natężenie abrazji brzegu lewego, niskiego. Fakt powyższy należy tłumaczyć odmiennością rodzajów utworów budujących oba brzegi. Powierzchnię abrazyjnej części platformy przybrzeżnej pokrywa, prawie zwartym płaszczem, rezydium kamienne pozostałe po rozmyciu utworów glacialnych. Na lewym, niskim brzegu udział bruku morenowego jest znacznie mniejszy. Brzeg ten podlega dodatkowo, sporadycznie, egzacji lodowej, zaznaczonej ostatnio w jego morfologii w 1996 r.

Ogólny charakter rozwoju brzegu, w jego p r o f i l u p o p r z e c z n y m po spiętrzeniu rzeki, sprowadza się do podcinania stoku i jego cofania się, a często również i wzrostu jego wysokości. Równocześnie postępuje spływanie części podwodnej brzegu – tworzenie się platformy (płycizny) przybrzeżnej (fot. 16). Czynnikiem niszczącym brzeg jest przybój fali, a transportującym osady – prądy przybrzeżne, powodowane falowaniem wiatrowym. Jest to proces okresowy. Profil poprzeczny brzegu erozyjnego jest zawsze wklęsły, a kąt jego nachylenia nie zmienia się. Profil brzegu abrazyjnego natomiast jest zawsze wklęsło-wypukły, i z czasem kąt jego nachylenia spada na skutek przyrostu szerokości platformy przybrzeżnej, co gwarantuje spadek natężenia procesu (ryc. 18).

Szerokość platform przybrzeżnych, jako form abrazyjno-akumulacyjnych, waha się od kilkunastu do 100, a nawet więcej metrów. Najszersze są platformy w środkowej, najdłuższej strefie hydrodynamicznej zbiornika; szersze na lewym, niskim brzegu. Średnie wartości dla 14 przekrojów na odcinku 3,4 km w Dobrzyńniu wynoszą: 24,5 m szerokość i nachylenie 3,5°, podczas gdy na przeciwnym, niskim brzegu w Dobiegniewie (16 przekrojów na odcinku 1,9 km) wielkości te równają się 54 m i 1,2°. W odcinku cofkowym i przyzaporowym platformy są węższe i bardziej strome. Średnia głębokość nad krawędzią platformy zależy na ogół od jej szerokości i wynosi na prawym brzegu 1,6 m, wahając się od 1,5 do 2,0 m, a na lewym 0,9 m. Wzdłuż brzegów przygłębiowych krawędź platformy jest wyraźna. Górna, abrazyjna część platformy jest na ogół wklęsła i bardziej stroma od łagodniejszej, a nawet wypukłej części akumulacyjnej. Granica między nimi nie jest stała. Brak jest na platformie form wałopodobnych, równoległych do linii brzegowej. Stwierdzone formy to mobilne ławice, powstające z „rozładowywania” potoków osadów towarzyszących prądom rozrywającym (Banach 1994).

Pod względem charakteru platform i osadów zbiornik Włocławek można podzielić na 3 odcinki, zbieżne ze zmiennością warunków hydrodynamicznych: dolny, górny i przejściowy (I, II i III na ryc. 16). Odcinek dolny, najdłuższy, ciągnie się około 30 km od zapory w górę rzeki (do km 645); średnia średnica ziaren oraz wysortowanie osadu maleją w miarę oddalania się od linii brzegowej, a platformy przybrzeżne są mniej strome i wystarczająco szerokie, aby „pomieścić” wzdłużbrzegowy strumień osadów. W odcinku górnym, ciągnącym się około 10 km w rejonie Płocka (km 640–630), średnia średnica ziaren oraz wysortowanie osadu rośnie z oddalaniem się od linii brzegowej, a platformy przybrzeżne są wąskie i strome. Najkrótszy jest odcinek przejściowy (km 645–640),

ciągnący się w górę od ujścia Skrwy, gdzie cechy osadów i parametry platform są pośrednie pomiędzy wyżej omówionymi. Granulometria i morfologia przybrzeża Wisły powyżej Płocka (km 630) ma już cechy fluwialne. Podane wyżej zasięgi wydzielonych odcinków mają charakter orientacyjny, a przejścia są płynne.

Platforma przybrzeżna i płaszcz pokrywających ją, okresowo uruchamianych, osadów są naturalnym quasi-falochronem, na którym fale wytracają swą energię. Tylko nałożenie się wzmożonego falowania z wysokimi stanami wody powoduje obecnie silną abrazję klifów i dostawę osadów w strefę przyboju.

Rozwój brzegu w p r o f i l u p o d ł u ż n y m, w planie, po spiętrzeniu rzeki, sprowadza się do początkowego urozmaicenia, a potem do stopniowego wyrównywania linii brzegowej. Urozmaicenie linii brzegowej wynika z warunków środowiska oraz procesów brzegowych. Makroelementy linii brzegowej, wynikające z warunków geologicznych, to wypukłości – cyple antyklin miocenijskich i wgłęcia synklin miocenijskich. Po spiętrzeniu elementy te nie uległy i nie ulegają zmianie. Jedynie w obrębie wkłębłości, gdzie rozwijają się rozległe, głębokie, stale czynne osuwiska, linia brzegowa przeszła swoistą inwersję; od wgłęcia po spiętrzeniu do wypukłości obecnie (fot. 18, 19). W obrębie powyższych makroelementów dalszy rozwój linii brzegowej wynikał z rozwoju procesów stokowych i brzegowych.

Na ogół każdej pozytywnej formie na brzegu i na nadbrzeżu towarzyszyła wypukłość, a negatywnej – wkłębłość linii brzegowej. Wypukłości były abradowane intensywniej od wkłębłości. Był to abrazyjny etap wyrównywania linii brzegowej. Brak wtedy jeszcze akumulacyjnych form brzegowych, gdyż osady z rozmywu brzegu były prawie w całości wynoszone przeciwwładami poprzecznie od brzegu i akumulowane w nierównościach stoku podwodnego. Dopiero po wstępnym „uporządkowaniu” rzeźby przybrzeża i jego spłyceciu stopniowo rozwijają się wzdłużbrzegowe migracje osadów i powstają elementarne, drobne akumulacyjne formy brzegowe. Wszelkie wypukłości brzegu są abradowane, a na zawietrznych ich stronach oraz w zatokach następuje depozycja osadów. Jest to akumulacyjno-abrazyjny etap wyrównywania linii brzegowej. Z czasem ilość akumulowanych osadów na brzegu rośnie kosztem spadku ich depozycji na stoku podwodnym – na platformie i jej skłonie. Wzrasta udział brzegów akumulacyjnych w ogólnej ich długości, a linia brzegowa dąży do stanu równowagi.

Proces wyrównywania linii brzegowej w sąsiedztwie form akumulacyjnych, omówiony wcześniej (Banach 1992, 1994), nie stracił na aktualności. Drobne zatoki uległy całkowitemu wypełnieniu osadami po kilku latach i wzdłużbrzegowy transport osadów odbywał się swobodnie wzdłuż coraz to dłuższych odcinków (fot. 17). Zatoki, w których „toną” wszystkie osady wędrujące wzdłuż brzegu, stanowią naturalne granice samoistnych, niezależnych litodynamicznie odcinków. Na prawym brzegu są obecnie 4 takie pułapki, a na lewym – 5, w tym 1 sztucznie utrzymywana (w Wistce Szlacheckiej). Stopniowy wzrost długości niezależnych odcinków litodynamicznych jest przyczyną zwiększania się tempa przyrostu powierzchni form akumulacyjnych w zatokach. W sumie akumulacyjne brzegi stanowią 4,1% (tab. 6).

W procesie rozwoju strefy brzegowej zbiorników można wydzielić 3 stadia: kształtowania brzegów, stabilizacji i obumierania (Širokov i in. 1992). Granice między nimi nie są ostre. Stadium kształtowania strefy brzegowej zbiornika Włocławek ma się ku końcowi. W połowie lat osiemdziesiątych rozpoczęło się stadium stabilizacji, co nie oznacza jednak zupełnej stabilności. Przemawiają za tym:

a) wyraźny spadek dostawy osadów z abrazyji brzegów, z 0,27 mln m³ rocznie w okresie 1976–1980 do 0,14 mln m³ w okresie 1981–1985 (Banach 1986), a obecnie około 0,04 mln m³;

b) spadek tempa cofania się klifów (ryc. 17);

c) spadek dynamiki koluwiów stale czynnych osuwisk (Banach 1989, ryc. 3);

d) nieznaczne zmiany parametrów platform przybrzeżnych w ostatnich latach;

e) ukształtowana jest cała możliwa gama akumulacyjnych form brzegowych, a zarys linii brzegowej niewiele się zmienia;

f) stopniowy wzrost ilości subakwalnych form akumulacyjnych na powierzchni platformy;

g) niezmiennosc litodynamicznego obrazu przybrzeża;

h) przyrost powierzchni wysp roślinności wodnej na platformie;

i) wkraczanie roślinności na powierzchnię klifów;

j) intensywny rozwój na skłonie platformy przybrzeżnej kolonii mięczaka-racicznicy (*Dreissena polymorpha*), która wymaga stabilnego podłoża.

Czas niezbędny do osiągnięcia poszczególnych stadiów zależy od parametrów akwenu i wahań stanów wody; im większy akwen i wyższe amplitudy wahań zwierciadła, tym dłużej trwają poszczególne stadia. Przebieg stanów wody odbija się nie tylko na tempie, ale i na charakterze przekształcenia brzegów. Przy dużych wahaniami platformy są niewyraźne. Kształtują się przeważnie w typie abrazyjnym, a osadów na ich powierzchni, poza rezydium i plażą, jest mało lub w ogóle brak. Analizowany zbiornik jest przykładem akwenu o niewielkich rocznych (≤ 1 m) i nieregularnych wahaniami stanów wody i dlatego w przeciągu 12–15 lat ukształtował się tu zasadniczy rys całej strefy brzegowej. Kolejne stadium będzie trwało około 3–5 razy dłużej. W tym czasie nastąpi prawie pełna stabilizacja brzegów i platform, a linia brzegowa osiągnie równowagę. Brzegowe procesy falowe staną się drugorzędym czynnikiem dalszej ewolucji strefy brzegowej. Brzeg stanie się domeną ruchów masowych, erozji i sflukiwania, a przybrzeże opanują procesy biogeniczne – wkroczy tu wyższa roślinność wodna. Delta włączonego rumowiska przemieści się około 7–10 km ku zaporze.

Naturalność procesu ewolucji strefy brzegowej zbiornika jest zakłócana działalnością człowieka. Wpływ ten rozpoczął się w kilka lat po powstaniu akwenu, z chwilą rozpoczęcia niezbędnych umocnień brzegów abrazyjnych, a nasilił się od 1982 r., kiedy podjęto intensywne bagrowanie delty i płytko zalanych kęp śródkorytowych. Zrefulowano (namyto) w strefę brzegową około 70% wybagrowanych 15 mln m³ piasków i żwirów. Narefulowane brzegi stanowią środowisko o potencjalnym nadmiarze dostawy osadów do subakwalnej części.

7.3. ODCINEK C – UREGULOWANY CZĘŚCIOWO, DEGRADOWANY (WŁOCLAWEK–SILNO)

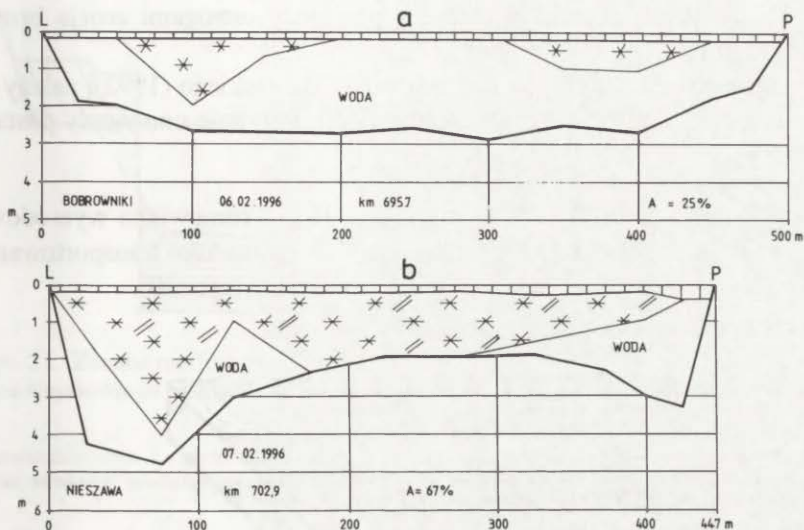
Nie będzie nietaktem, jeżeli wejdę z wątkiem dynamiki brzegów na działkę uprawianą od wielu lat przez kolegę Z. Babińskiego. Wyrażna ingerencja człowieka w przebieg procesów korytowych rozpoczęła się tu, dość regularnie i systematycznie, z początkiem XX wieku, od Nieszawy do ujścia Tażyny (Ingarden 1921). Głównym zadaniem zabudowy koryta, wymuszonej przez rząd pruski, było zmniejszenie dostawy rumowiska do już uregulowanego odcinka poniżej. W latach pięćdziesiątych dokończono regulację powyżej Nieszawy, lecz nie tak konsekwentnie i systematycznie jak na odcinku tzw. pruskim. Od końca 1968 r. ogromny wpływ na ten odcinek wywiera stopień wodny Włocławek (Babiński 1982, 1992, 1995).

Równocześnie z procesem erozji wgłębnej nasilała się erozja brzegów, powodowana: 1) „impulsywnym” dopływem–zrzutem wód ze stopnia, 2) zmienną prędkością i masą wody, 3) częstymi i znacznymi wahaniami stanów wody, 4) odciążeniem wód z rumowiska dennego (100%) i zawiesiny (poniżej 50%). Częste i znaczne wahania stanów wody sprzyjają szczególnie erozji brzegów, ponieważ: 1) zwiększają ciśnienie sphywowe wód podziemnych, 2) wywołują sufozję na brzegach, 3) zmniejszają spójność między cząsteczkami skał na skutek ich ciągłego rozmakania, pęcznienia i ponownego wysychania. Erozja brzegów dolnych stanowisk stopni wodnych jest zjawiskiem powszechnym, ale nie katastrofalnym. Nie stanowi ona niespodzianki w hydrotechnicznej praktyce inżynierskiej.

Najpierw silnemu przekształcaniu podlegały brzegi w odcinku przyzaporowym, potęgowanym zmianą strefy nurtu z brzegu prawego na lewy. Proces ten, „o przeciętnej prędkości niszczenia całej strefy brzegowej Kępy Włocławskiej, wynoszącej około 1,75 m w ciągu roku, już w odległości około 20 km od stopnia wodnego całkowicie wygasł” (Babiński 1992, s. 50). Proces erozji nasilił się tu ponownie w końcu lat osiemdziesiątych, w związku z rozbudową bulwaru nadrzecznego we Włocławku, powodującego przemieszczenie nurtu ku prawemu brzegowi.

Morfologicznym efektem erozji wgłębnej poniżej stopnia jest obniżanie się dna koryta, spadek jego nachylenia oraz wzrost wysokości brzegów – bliżej zapory, oraz sphywanie się rzeki i wzrost erozji brzegów – dalej od stopnia. Przekształcenie koryta objęło już odcinek ponad 25 km. Na odcinku 6 km dno obniżyło się ponad 3 m. W rejonie Ciechocinka podniosło się około 1 m (Babiński 1993). Proces wzmożonej erozji brzegów towarzyszy przemieszczającej się strefie akumulacji osadów, poprzedzającej czoło strefy erozyjnej powyżej. Strefie tej towarzyszą również zatory lodowe (Grześ 1991).

Z uwagi na wcześniejszą zabudowę techniczną tego odcinka rzeki, proces dostosowywania się brzegów do nowych warunków hydraulicznych jest dalej zaawansowany niż w górnym, powyżej zbiornika. Szerokość i głębokość koryta



Ryc. 19. Koryto Wisły poniżej zapory we Włocławku (25–27 km), wg M. Grześ i in. (1996)

a – oba brzegi zabudowane ostrogami, b – zabudowa techniczna lewego brzegu (bulwar w Nieszawie)

Vistula channel downstream the Włocławek dam (25–27 km), after Grześ and others (1996)

a – both of the banks built-up with groynes, b – technical structures of the left bank (boulevard in Nieszawa)

są tu mniej zróżnicowane, mimo że dalekie jeszcze od zakładanych w projekcie regulacyjnym wartości (tab. 2, ryc. 19). Erozyjne brzegi stanowią tylko 24,5%, natomiast neutralnych jest już prawie 36% (tab. 6). Natężenie procesu erozji jest tu również mniejsze. Stale erodowane odcinki są nieliczne (tab. 10, przekrój Siarzewo i Ciechocinek). Znaczniejszy rozmyw brzegów postępuje w miejscach renowacji zabudowy technicznej na jednym tylko brzegu, w miejscach zwiększonych prędkości przepływu, powodowanych obecnością tzw. raf na dnie, lub epizodycznie – zatorami lodowymi (ryc. 19b).

7.4. ODCINEK D – UREGULOWANY CAŁKOWICIE W XIX WIEKU (SILNO–TCZEW)

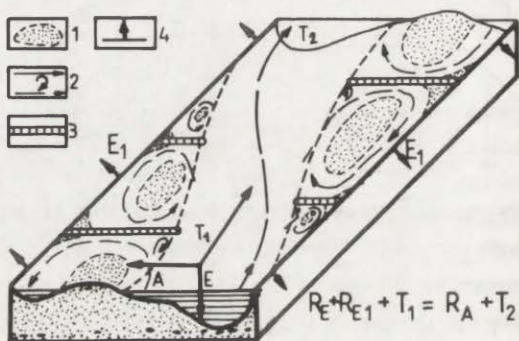
Po zabudowie technicznej brzegów systemem ostróg o długości od kilku do kilkuset metrów, prostopadle do brzegów koryta, zachodzą zmiany warunków hydrodynamicznych rzeki; następuje zmiana nurtu i prądów rzecznych (ryc. 20). Wzmaga się erozja wgłębna związana ze wzrostem prędkości przepływu wody, spowodowanym koncentracją nurtu. W strefie pomiędzy lewo- i prawobrzeżnymi ostrogami, pomiędzy ostrogami, po obu stronach nurtu, tworzy się system prądów rzecznych, załamujących się na główkach ostróg (Babiński 1993). Załamujące się prądy tracąc energię zostawiają transportowane rumowisko pomiędzy ostrogami oraz erodują brzeg – w początkowym etapie – co zilustrowano na

rycinie 15. W miarę akumulacji osadów pomiędzy ostrogami erozja brzegów stopniowo zanika.

Równanie procesu, zaproponowane przez Z. Babińskiego (1992), należy uzupełnić o dostawę osadów z erozji brzegów (R_{E1}). Przyjmie ono wtedy postać:

$$R_E + R_{E1} + T_1 = R_A + T_2,$$

gdzie: R_E – rumowisko wyerodowane z dna, R_{E1} – rumowisko wyerodowane z brzegów, R_A – rumowisko zakumulowane, T_1 – rumowisko transportowane na początku analizowanego odcinka i T_2 – na jego końcu (ryc. 20).



Ryc. 20. Schematyczny układ prądów rzecznych oraz przebieg procesów erozyjno-akumulacyjnych na uregulowanym odcinku Wisły (faza początkowa), wg Z. Babińskiego (1992), uzupełniony

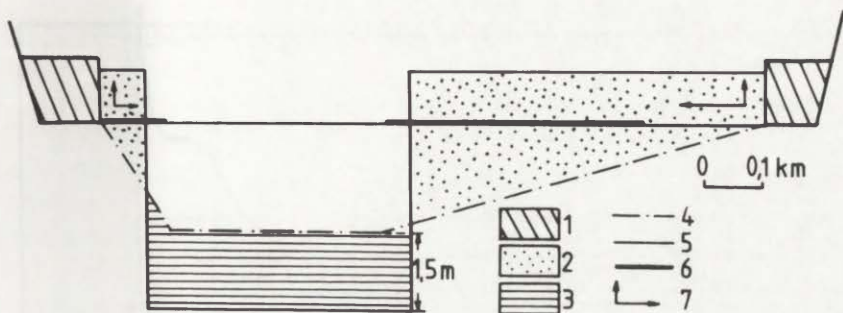
1 – strefa akumulacji, 2 – prądy rzeczne, 3 – ostrogi, 4 – strefa erozji brzegów: A – akumulacja, E – erozja wgłębna, E_1 – erozja brzegów, R – rumowisko; transport rumowiska: T_1 – do odcinka, T_2 – poza odcinek

Schematic lay-out of the river currents and course of the erosive-accumulative processes in the regulated segment of Vistula (initial stage), after Babiński (1992), completed

1 – accumulation zone, 2 – river currents, 3 – groynes, 4 – erosion zone of banks: A – accumulation, E – deep erosion, E_1 – banks erosion, R – bed load; bed-load transport: T_1 – to the segment, T_2 – out of the segment

W zależności od lokalnych warunków morfometrycznych i rodzaju zabudowy technicznej na niektórych odcinkach koryta może przeważać erozja nad akumulacją, a na innych – odwrotnie. Z powyższego wynika różne tempo erozji dna nowego koryta oraz przyrastania nowej równiny zalewowej (Babiński 1992).

W początkowym etapie po zabudowie technicznej rzeki zachodzi erozja brzegów pomiędzy ostrogami i lokalny wzrost szerokości koryta. W miarę postępującej akumulacji pomiędzy ostrogami erozja brzegów zanika i następuje długotrwały proces spadku szerokości koryta i pogłębianie jego nurtu. Zachodzi permanentna przebudowa brzegu, zarówno w jego ukształtowaniu w planie, jak i w pionie. Dawne brzegi erozyjne stają się martwymi klifami, krawędziami wyższego poziomu zalewowego. Kształtowanie niższego poziomu zalewowego – wypełnianie obniżen między ostrogami – trwa dziesiątki lat. Z czasem zaniknie



Ryc. 21. Zmiana morfometrii koryta Wisły i procesów w okresie 1849–1973 w okolicy Solca Kujawskiego (wartość uśredniona dla odcinka o długości 5 km), wg Z. Babińskiego (1990), uzupełniony

Równina zalewowa: 1 – przed regulacją, 2 – po regulacji w II połowie XIX w., 3 – strefa erozji wgłębnej koryta; uśrednione przekroje poprzeczne koryta: 4 – w połowie XIX w., 5 – w 1973 r., 6 – ostrogi rzeczne, 7 – kierunki akumulacji osadów po regulacji

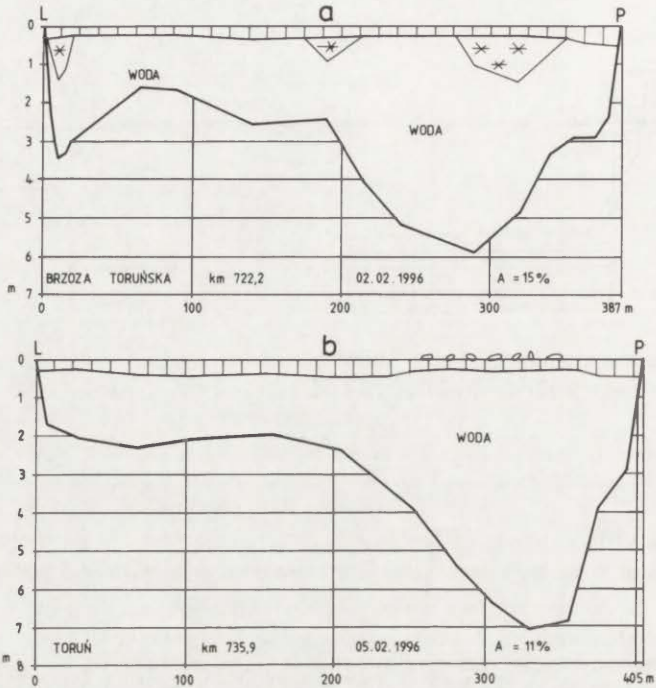
Change of the Vistula channel morphometry and processes at the period 1849–1973 in the surroundings of Solec Kujawski (averaging value for the segment of 5 km length), after Z. Babinski (1990), completed

Flood plain: 1 – before regulation, 2 – after regulation in the second part of XIXth century, 3 – zone of the channel deep erosion; averaging channel cross-sections: 4 – in the middle of XIXth century, 5 – in 1973, 6 – river groynes, 7 – direction of the sediments accumulation after regulation

zróznicowanie wysokościowe pomiędzy różnymi wiekowo poziomami i powstanie, prawie jednolita wysokościowo równina zalewowa. Proces ten jeszcze trwa (ryc. 21).

Nowe, nie zmieniające się znacząco w swym zarysie brzegi, ukształtowały się szybciej od nowej równiny zalewowej. Na podstawie analizy map topograficznych w dużych podziałkach, z różnych okresów, można twierdzić, że przyrost brzegów – w planie – zakończył się po 30–40 latach od zabudowy technicznej rzeki. Później nastął okres ich niezmienności, neutralności. Jak długo on trwał? Pytanie jest trudne, a odpowiedź nie jest precyzyjna. Jest faktem, że obecnie już nie wszystkie brzegi są neutralne; tylko 70,6% na odcinku do Solca Kujawskiego, a 22,9% podlega rozmywowi, erozji (tab. 6). Taki jest wynik kartowania terenowego typów dynamicznych brzegów.

Porównano w kilkudziesięciu przekrojach szerokość koryta i odległość pomiędzy główkami naprzeciwległych ostróg na mapach 1:25 000 z lat 1910–1912 oraz 1:10 000 z 1977 r. W 70% przypadków szerokość koryta zmniejszyła się, czyli po 1912 r. zachodziła jeszcze akumulacja, a w 30% – nie zaszły już żadne zmiany. Odległości pomiędzy główkami ostróg wzrosły do 1973 r. w około 25% przypadków, a w około 75% – pozostały bez zmian. Wskazuje to na postępujący już proces niszczenia zabudowy brzegów, również poprzez niszczenie główek ostróg. W czasie kartowania stwierdzano przerwania, rozmycia nie tylko pojedynczych ostróg, ale nawet szeregu sąsiednich. Wiele takich przypadków wystę-



Ryc. 22. Koryto o pełnej regulacji ostrogami przed ponad 100 laty

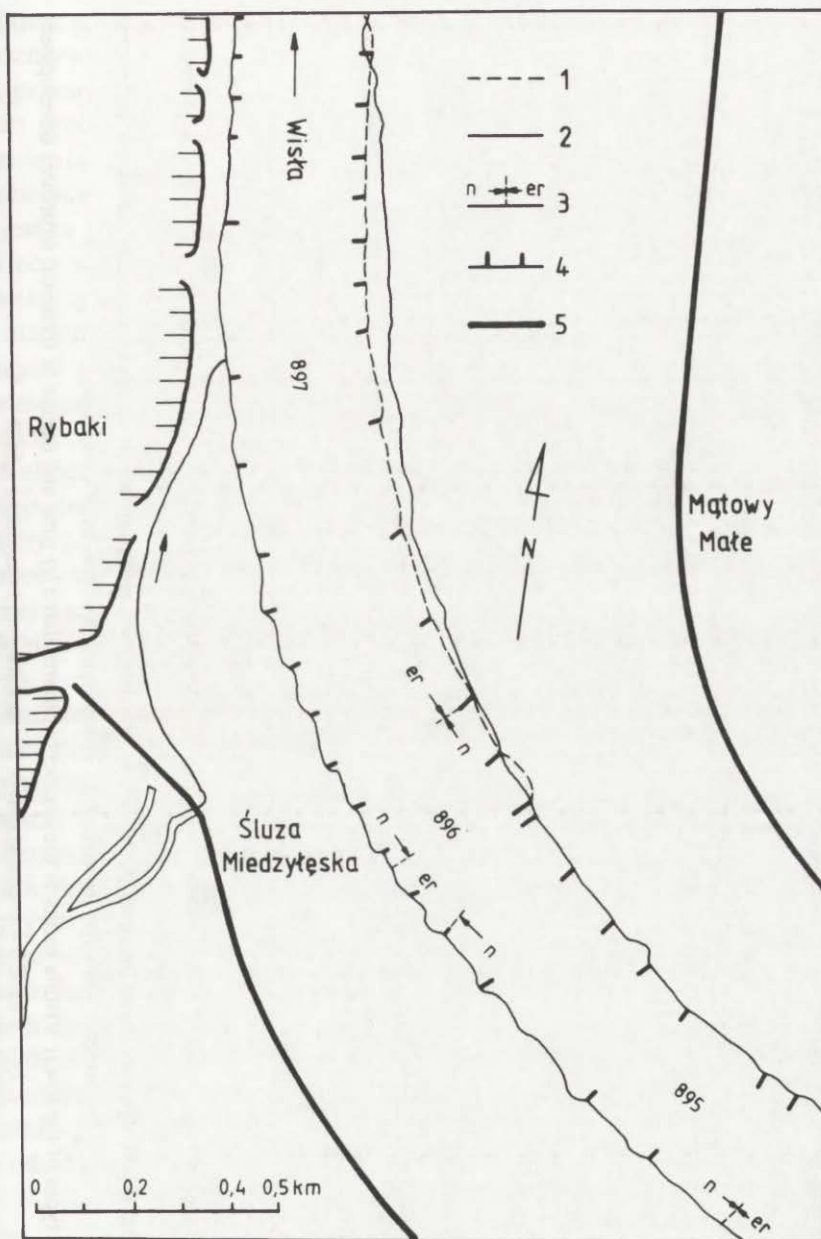
a – erozja lewego brzegu po renowacji ostróg na brzegu prawym, b – przegłębienie nurtu na brzegu prawym po jego umocnieniu bulwarem

River channel of full regulation by groynes before 100 years

a – erosion of the left bank after the groynes renovation on the right bank, b – overdeepening of the streamline on the right bank after its fixing by boulevard

puje na lewym brzegu pomiędzy Toruniem a Solcem Kujawskim. Często ostrogi rozmywane są przy brzegu. Renowacja zabudowy technicznej brzegów nie nadąża za postępującą jej degradacją, powodowaną głównie zjawiskami lodowymi.

Po odbudowie zniszczonych od dłuższego czasu ostróg zachodzi ponowna, lokalna przebudowa koryta, powodująca na ogół erozję brzegu przeciwnego. Tak stało się w Brzozie Toruńskiej, poniżej km 722, gdzie w latach dziewięćdziesiątych wzmożła się erozja na odcinku 0,6 km po odbudowie dwóch ostróg na brzegu przeciwnym w Silnie. W środkowej części natężenie erozji sięgało 3,1 m średnio rocznie (tab. 10, fot. 20). Objętość rozmywu brzegu aluwialnego o wysokości 4 m przewyższała 12 m³ z 1 m bieżącego rocznie – z nadwodnej tylko jego części. Maksymalne wcięcie niszy erozyjnej wyniosło 22–23 m. Latem 1996 r. rozpoczęto zabudowę brzegu erozyjnego dwoma ostrogami o długości 35 m. Klif osłonięto materacem faszynowym z narzutem kamiennym na długości 65 m przy styku każdej ostrogi z brzegiem (fot. 21). Nie osłonięte materacem fragmenty podlegają erozji w dalszym ciągu. Przekrój koryta sprzed podjęcia zabudowy tego brzegu ilustruje rycina 22a.

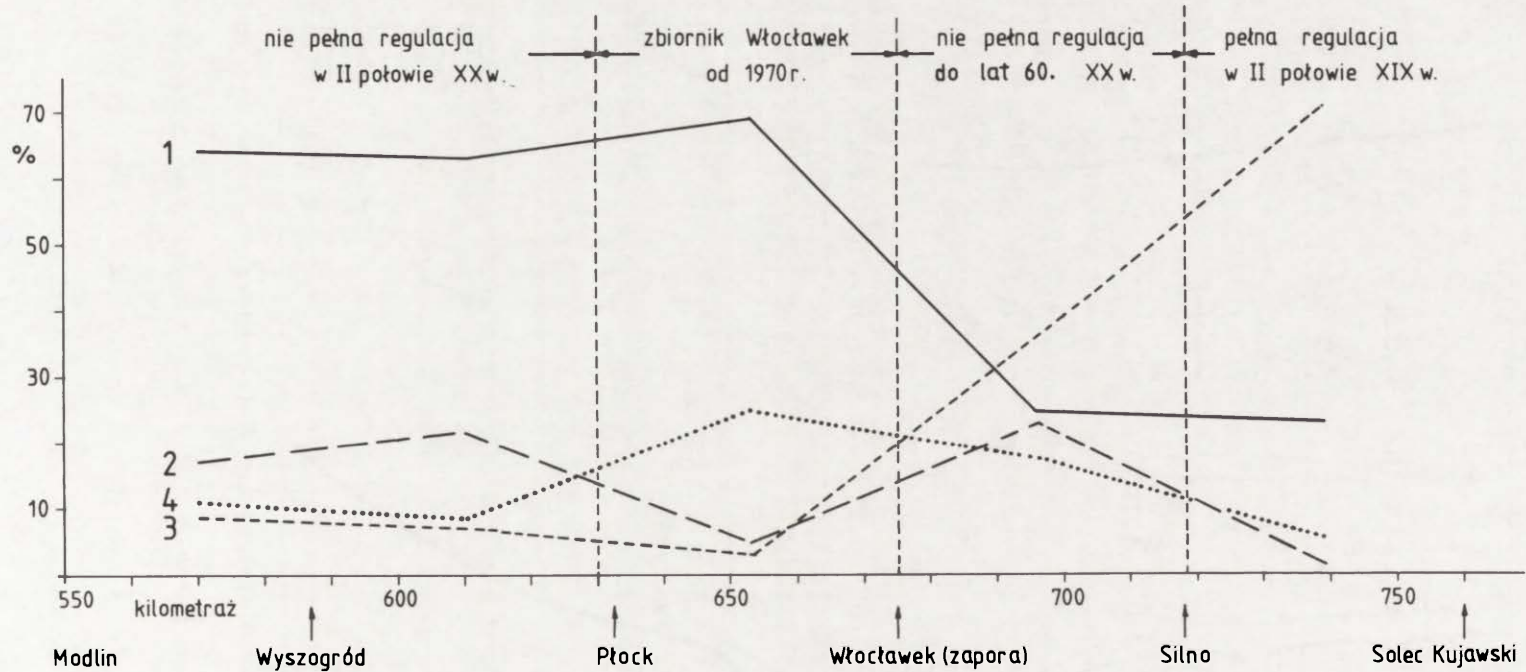


Ryc. 23. Erozyjny odcinek prawego brzegu Wisły uregulowanej w Małowych Małych koło Tczewa

Zarys linii brzegowej w roku: 1 – 1909, 2 – 1972, 3 – granica typów dynamicznych brzegu: n – neutralny, er – erozyjny; 4 – ostrogi, 5 – wały przeciwpowodziowe

Erosive segment of the Vistula right bank regulated in Małowy Małe near Tczew

Outline of the coastline in years: 1 – 1909, 2 – 1972, 3 – boundary of the bank's dynamic types: n – neutral, er – erosive; 4 – groyne; 5 – flood embankments



Ryc. 24. Procentowy udział typów dynamicznych brzegów dolnej Wisły na odcinkach zróżnicowanych czasem i stopniem zabudowy technicznej
 Typ brzegu: 1 – erozyjny (abrazyjny), 2 – akumulacyjny, 3 – neutralny, 4 – umocniony

Per cent part of dynamic types of the lower Vistula banks in the segments differentiated by time and degree of technical structures development

Type of bank: 1 – erosive (abrasive), 2 – accumulative, 3 – neutral, 4 – fixed

Najczęstszym przejawem erozji brzegów uregulowanego odcinka są punktowe rozmywy w formie nisz o długości 10–30 m i szerokości wcięcia kilku metrów, przeważnie w bliskim sąsiedztwie zniszczonych częściowo ostróg. Wskaźnikiem procesu, z braku świeżych podcięć i obrywu aluwii, są występujące korzenie starych drzew oraz pochylone ku wodzie drzewa i krzewy (fot. 22). Tak jest obecnie na całej prawie długości Kępy Bazarowej w Toruniu, pomimo że nurt jest tu przeważnie przy prawym, przeciwnym brzegu (ryc. 22b).

Nieco większe nisze występują na odcinkach wysokich, stromych brzegów macierzystych, zabudowanych krótkimi ostrogami, których „załadowanie” zaszło w małym stopniu. W sąsiedztwie rozmytych przy stoku ostróg występują nisze wcinające się w brzeg na głębokość nawet do kilkunastu metrów. Długość ich może sięgać 50 m. Podcięcie brzegów niszy powoduje rozwój ruchów masowych na stoku. Najczęściej są to drobne formy, rzędu kilku arów. Sporadycznie mogą objąć zbocze o powierzchni kilku hektarów. Tak zdarzyło się w marcu 1978 r. w miejscowości Wiąg k/Świecia, gdzie osuwisko wkroczyło do Wisły, tworząc wyraźny półwysep. Blizna w krajobrazie doliny była widoczna przez kilka lat. Podobnej skali zjawiska zachodziły w XX w. na stokach Kępy Strzemięcińskiej w Grudziądzu i Gór Łosiowych – poniżej ujścia Osy. Linia brzegowa, pomimo dwukierunkowych pulsacji, ma stałą, powolną tendencję przemieszczania się ku lądowi.

Dłuższe fragmenty erozyjne występują w dolnej części tego odcinka, poniżej Mątowskiego Cypla, tj. odgałęzienia Nogatu. Rozmyw brzegu jest tu powodowany nadmiernym zwężeniem koryta, największymi na całej dolnej Wiśle amplitudami wahań stanów wody, przekraczającymi 10,5 m (Cyberski 1982) oraz brakiem dostatecznej troski o stan zabudowy technicznej. Rzekę uregulowano na tym odcinku na 2/3 przepływu Wisły, tj. na szerokość 250 m, ponieważ 1/3 część przepływu planowano odprowadzać Nogatem do Zalewu Wiślanego. Od 1915 r. nie odpływa stale Nogatem woda i cały przepływ kierowany jest do morza Wisłą. To nadmiernie „obciąża” zabudowę brzegów głównego ramienia.

W Mątowach Małych, na prawym brzegu zachodzi erozja na odcinku 1,4 km. Od 1909 do 1972 r. brzeg cofnął się tam średnio o 32 m, wahając się od 2 do 50 m. Średnia roczna wielkość rozmywu za 68 lat wynosiła 0,5 m. Proces erozji aktualnie postępuje (ryc. 23, fot. 23) Procentowy udział typów dynamicznych tego odcinka na tle całej dolnej Wisły zilustrowano na rycinie 24.

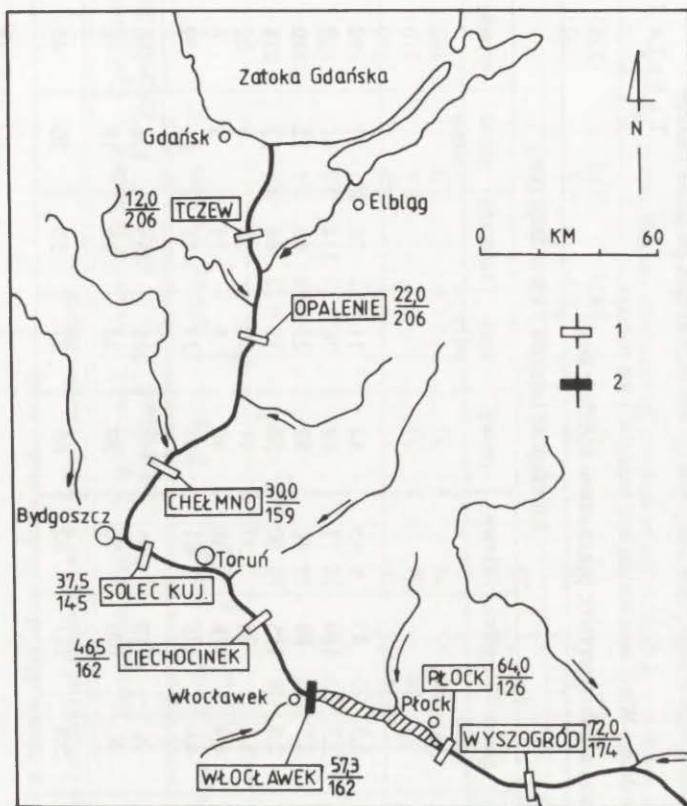
8. PROGNOZA ROZWOJU PROCESÓW GEOMORFOLOGICZNYCH NA BRZEGACH PROJEKTOWANEJ KASKADY DOLNEJ WISŁY (KDW)

W krajach o małych zasobach wód powierzchniowych oraz ich okresowym dużym zróżnicowaniu rozsądniej jest mieć w zapasie pewne rezerwy, które można uruchomić w miarę potrzeb. Tak czynili nasi sąsiedzi, którzy zarezerwowali kilkanaście procent średniego rocznego odpływu wód ze swych terytoriów. Polska, posiadająca najniższe w Europie, poza Belgią, zasoby wód na 1 mieszkańca (1545 m^3) jest w stanie przechwycić tylko niecałe 5% odpływu. Fakt ten w znacznym stopniu utrudnia w Polsce ochronę dolin rzecznych od powodzi oraz zaspokojenie potrzeb wodnych w okresach długotrwałego niedoboru opadów.

Pomysł skaskadowania dolnej Wisły zrodził się w latach trzydziestych, ale dopiero w latach pięćdziesiątych powstała koncepcja techniczna i ekonomiczna tej ogromnej inwestycji. Składała się na nią wówczas 7–9 stopni wodnych (dwa warianty). Pierwszy stopień powstał we Włocławku w latach 1962–1970. Zaniechano dalszej budowy, co już przyniosło i przynosi ogromne straty, gdyż stopień został przygotowany do pracy w kaskadzie. Pod koniec lat siedemdziesiątych wrócono do idei KDW, obejmującej obecnie jednowariantową koncepcję 8 stopni ze zbiornikami, elektrowniami, śluzami, jazami, przepławkami dla ryb i przejściami drogowymi. Będą to zbiorniki średniej wielkości (powierzchnia $31\text{--}70 \text{ km}^2$, pojemność $91\text{--}370 \text{ mln m}^3$), przepływowe, mieszczące się w międzywalu. Gospodarka wodna na stopniach kaskady będzie podobna jak na już istniejącym stopniu we Włocławku; średnie roczne amplitudy stanów wody nie będą przekraczać 1 m, a dobowe 0,2 m. Przewiduje się budowę stopni wodnych w Wyszogrodzie, Płocku, Ciechocinku, Solcu Kujawskim, Chełmnie, Opaleniu i Tczewie (ryc. 25).

Rozciągłość brzegów 7 analizowanych zbiorników wyniesie 710 km (tab. 11). Będą to akweny o bardzo małym urozmaiceniu linii brzegowej, co wynika głównie z wyraźnej przewagi brzegów sztucznych (68%). Odcinki umocnione będą stanowić 18% (126 km).

W miarę powstawania zbiorników brzegi ich będą podlegać abrazji, egzaracji, erozji, akumulacji i osuwaniu. Wzdłuż zapór bocznych nastąpi sufozja (tab. 12). Powyższe procesy, oprócz abrazji, zachodzą obecnie w dolinie Wisły. Każdy z nich rozwija się cyklicznie i nie wszystkie znajdują się w tym samym stadium rozwoju. Spiętrzenie rzeki zapoczątkuje nowy, z b i o r n i k o w y c y k l



Ryc. 25. Lokalizacja stopni wodnych w kaskadzie dolnej Wisły

Stopnie wodne: 1 – projektowane, 2 – istniejące. Obok nazwy stopnia podano: w liczniku – rzędna piętnienia w m n. p. m.; w mianowniku – moc hydroelektrowni w MW

Location of the dams in the lower Vistula cascade

Dams: 1 – projected, 2 – existing. Near the dam's name is given: in the numerator: the damming ordinate in m a. s. l.; in the denominator – power of the hydroelectric power plant in MW

przyspieszonego rozwoju wszystkich procesów, łącznie z abrazją, niezależnie od stadium, w jakim znajdować się one będą przed spiętrzeniem. Czas trwania poszczególnych cykli jak i stadiów będzie znacznie krótszy w początkowym okresie eksploatacji zbiorników kaskady, aniżeli to było do ich powstania. Inne procesy geomorfologiczne (wietrzenie, splukiwanie, wywiewanie) wystąpią tutaj również, ale nie będą miały praktycznego znaczenia dla użytkownika obiektu.

A b r a z j a, zwana również erozją falową, zastąpi erozję boczną rzeki. Objętość 22% (160 km) ogólnej długości brzegów (tab. 12). Jej przejawem będzie cofanie się linii brzegowej i obniżanie się dna w jej sąsiedztwie. Najkorzystniejsze warunki rozwoju abrazji wystąpią na zbiorniku Wyszogród, Cieclocinek, Opalenie i Płock, z uwagi na największe szerokości i głębokości, duże rozbiegi fali, obecność wysokich i stromych brzegów oraz mały udział brzegów umocnionych. Brzegi zbiorników będą kształtować się w czwartorzędowych utworach

T a b e l a 11

Wybrane parametry zbiorników kaskady dolnej Wisły oraz rozciągłość brzegów i ich rodzaje

Chosen parametres of the lower Vistula cascade reservoirs; banks extent and their kinds

Nazwa zbiornika	Parametry zbiorników						Rozciągłość brzegów i ich rodzaje (km)						
	powierzchnia (km ²)	pojemność (mln m ³)	wysokość piętrzenia (m)	długość (km)	szerokość (km)	głębokość (m)	ogólna	lewy	prawy	naturalny	sztuczny	umocniony	wysoki
Tczew	37,5	125,0	9,7	41,0	0,9	3,3	85	43	42	11	74	17	12
Opalenie	53,9	179,8	10,0	62,2	0,9	3,3	140	71	69	26	114	41	28
Chełmno	38,6	103,0	8,0	44,7	0,9	2,7	88	46	43	23	65	22	12
Solec Kujawski	36,5	91,3	7,5	49,0	0,7	2,5	115	60	55	71	44	23	11
Ciechocinek	31,3	101,1	8,5	33,0	0,9	3,2	78	37	41	50	28	5	22
Płock	49,5	216,0	6,7	34,0	1,5	4,4	78	38	40	5	73	5	6
Wyszogród	45,6	218,8	8,0	41,5	1,1	4,8	126	61	65	39	87	13	39
$\sum \frac{\text{km}}{\%}$	292,9 X	819,7 X	58,4 X	305,4 X	X X	X X	710 100	365 50	354 50	225 32	485 68	126 18	130 18
Włocławek	70,4	390	10,7	58,0	1,2	5,5	127	62	65	92	35	20	46

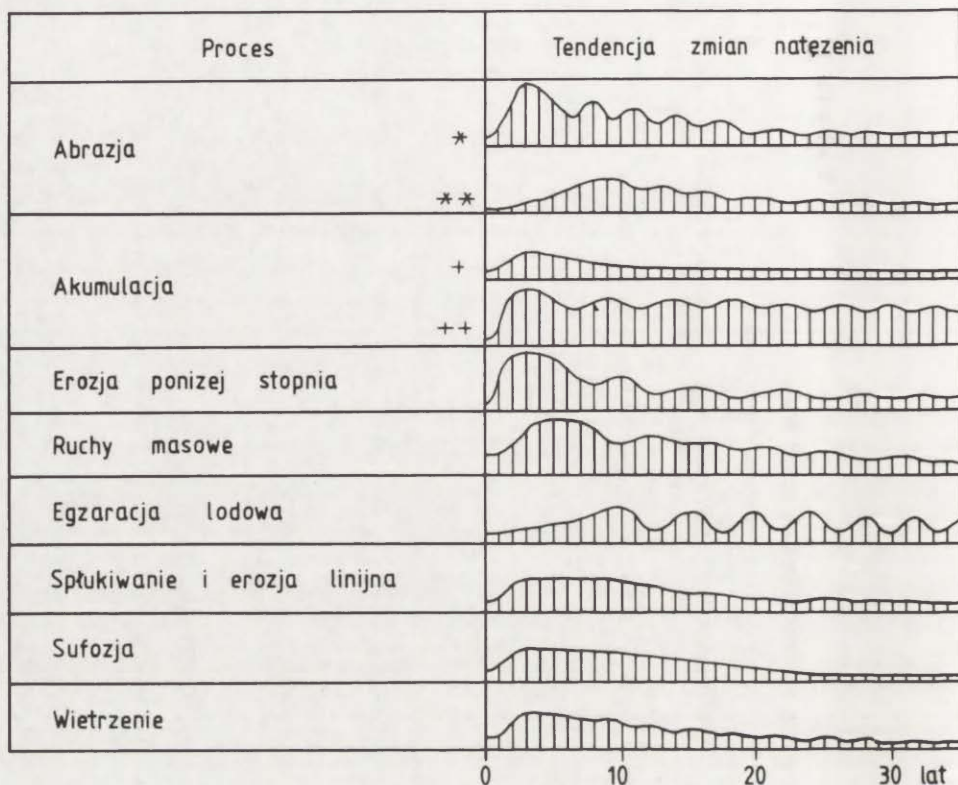
T a b e l a 12

Procesy geomorfologiczne na brzegach i w czaszy zbiorników kaskady dolnej Wisły
Geomorphological processes on the banks and in the bowl of reservoirs of the lower Vistula cascade

Nazwa zbiornika	Brzegi podlegające procesom (km)					Rozciągłość (km)		Współczynnik akumulacji	Akumulacja średnia roczna		Żywotność zbiornika (lata)
	abrazji	egzaracji	erozji	akumulacji	osuwiskowym	zapór i rowów	sufozji rowów	β (%)	mln m ³	cm rok ⁻¹	
Tczew	16	37	5	0,3	0,0	76	12	20	0,15	0,4	850
Opalenie	24	51	14	0,4	15,0	108	14	25	0,12	0,4	860
Chełmno	17	26	7	0,2	6,0	79	12	14	0,13	0,3	800
Solec Kujawski	9	20	12	0,2	0,0	52	8	13	0,12	0,3	760
Ciechocinek	21	13	0	0,8	3,5	28	10	15	0,13	0,3	780
Płock	26	37	6	0,4	0,6	78	34	32	0,7	1,4	310
Wyszogród	47	32	0	1,3	10,0	70	24	33	1,4	3,0	180
\sum km	160	216	44	3,6	29,1	491	114				
%	22	30	6	0,5	4,0	100	23				
Włocławek	63	43	11	5	28	30	14	48 (45)	2,0 (0,7)	2,8 (1,0)	250 (530)

W nawiasie podano wartości zamulania zbiornika Włocławek przy pracy w kaskadzie. Współczynnik akumulacji (β) określono według formuły Brune'a.

In brackets – values of the Włocławek reservoir silting while working in the cascade. The accumulation coefficient (β) was defined after the Brune formula.



Ryc. 26. Schemat przebiegu procesów geomorfologicznych na zbiornikach projektowanej kaskady dolnej Wisły

* – brzozy wysokie, ** – brzozy niskie, + – strefa brzozy, ++ – czasza

Scheme of geomorphological processes course in the reservoirs of the projected lower Vistula cascade

* – high banks, ** – low banks, + – coastal zone, ++ – bowl

lužnych, ze znacznym udziałem osadów sypkich, łatwo rozmywalnych przez fale. Odmienność procesu abrazji brzozy wysokich i niskich omówiono już w rozdziale 7.2. Za niezbędne uważam podanie tu ilościowych wielkości tego procesu w KDW. Przez 15–20 lat brzozy wysokie, których będzie 39 km (bez zbiornika Włocławek) cofną się o 10–15 m, a kubatura rozmytych utworów z 1 m bieżącego brzozy sięgnie 40–60 m³. Brzozy niskie, połogie będą się cofać o 0,3–0,5 m·rok⁻¹, a kubatura rozmytych utworów nie przekroczy rocznie 0,3 m³ z 1 metra bieżącego brzozy. Abrazja dotknie te brzozy z opóźnieniem w porównaniu z brzozami wysokimi, które będą degradowane intensywnie bezpośrednio po spiętrzeniu rzeki (Banach 1997).

Natężenie abrazji z upływem lat maleje na skutek spływania strefy przybrzeżnej. W strefie cofającego się brzozy powstaje abrazyjna, połoga półka, nadbudowywana ku zbiornikowi osadami z brzozy. Półka ta, zwana (płyczną) przybrzeżną, poszerzająca się z czasem, stanowić będzie rodzaj pseudo falochronu, na którym

fale wytrącają swą energię przed osiągnięciem podnóża klifu. Na platformę wkracza stopniowo roślinność wodna i abrazia brzegu macierzystego ustaje (ryc. 26).

A k u m u l a c j a jest pożądanym, korzystnym procesem dla stateczności brzegów KDW. Będzie zachodziła w zatokach i na zawietrznych stronach wszelkich wypukłości linii brzegowej; początkowo w bliskim sąsiedztwie odcinków abrazyjnych. Na większości zbiorników abradowane będą głównie brzegi sztuczne, zbudowane z mad międzywala, w których będzie niewiele frakcji gruboziarnistej, budującej brzegowe formy akumulacyjne. Maksymalna długość akumulacyjnych form brzegowych po 15–20 latach rzadko będzie przekraczać 50 m, a łącznie wyniesie 3,6 km. Najwięcej powstanie ich na zbiorniku Wyszogród i Ciechocinek. Z uwagi na małą długość brzegów akumulacyjnych słusznie przewidziano w projekcie kaskady usypanie sztucznych plaż w sąsiedztwie miast.

E g z a r a c j a, czyli erozja lodowa, będzie zjawiskiem powszechnym, ale epizodycznym w kaskadzie i objmie brzegi niskie, zarówno naturalne, jak i sztuczne. Polega ona na spiętrzaniu brzegów w wyniku parcia na nie zwartej pokrywy lodowej lub kier. Parcie lodu jest na ogół sumą rozszerzalności termicznej i oddziaływania mechanicznego (fot. 2). Efektem morfologicznym będą wały egzaracyjne o wysokości kilkudziesięciu centymetrów i szerokości do 1,5–2,0 m otulane darnią (Banach 1988, 1994). Proces piętrzenia zachodzi powoli, prawie niezauważalnie. Sporadycznie objmie on brzegi w dolnych i środkowych odcinkach zbiorników o łącznej długości 216 km (tab. 12).

E r o z j a objmie brzegi w górnych odcinkach zbiorników, których cofki nie sięgną górnego stopnia. Tak będzie szczególnie na zbiorniku Opalenie i Solec Kujawski, gdzie objmie 12–14 km brzegów. Erozja brzegów dolnych stanowisk stopni wodnych jest zjawiskiem powszechnym, ale nie katastrofalnym. Przyczyny wzrostu natężenia tego zjawiska omówiono w rozdziale 7.3.

O s u w i s k a różnego wieku i wielkości występują obecnie na stokach przywysoczyznowych w rejonie przyszłego zbiornika Opalenie, Wyszogród i Ciechocinek. Nie są to zwarte, rozległe pokrywy koluwalne, jak nad zbiornikiem Włocławek. Większe, zwarte obszary czynnych obecnie osuwisk występują w rejonie Świecie–Wiąg oraz Widlice–Wiosło Małe koło Opalenia. Powierzchnią poślizgu są przeważnie limniczne utwory zalegające pod gliną morenową. Poza ogólną rejestracją osuwisk w Polsce wykonaną przez Państwowy Instytut Geologiczny przed 30 laty (Bażyński, Kühn 1970) brak jest szczegółowych opracowań osuwisk tego obszaru. Jedynie rejon zbiornika Włocławek posiada dość pełną ich charakterystykę (Banach 1973, 1977, 1985).

Sukcesywnie w miarę powstawania zbiorników obecna równowaga wysokich brzegów zostanie zachwiana na skutek: 1) zmniejszenia podparcia stoku z powodu zalania ich podnóży, 2) zmniejszenia parametrów wytrzymałościowych utworów na ścinanie poprzez nasączenie go wodą w poziomie nowej linii brzegowej, 3) wzrostu kąta nachylenia stoków. Istniejące na tym odcinku doliny Wisły osuwiska stale i okresowo czynne ożywią się na okres 10–15 lat. Dynamika koluwów wzrośnie o 30–50%. Powstanie również szereg nowych form. Po tym

okresie natężenie ich rozwoju spadnie i będzie mniejsze aniżeli jest obecnie (Banach 1989). Stanie się tak na skutek powstania platformy przybrzeżnej oraz 6-krotnie mniejszych wahań bazy erozyjno-denudacyjnej rzeki. W pierwszych latach po spiętrzeniu, osuwiska mogą być zjawiskiem katastrofalnym, niebezpiecznym dla człowieka i jego mienia. Obejmą one na szczęście tylko 4% linii brzegowej KDW.

S u f o z j a jest w warunkach naturalnych doliny dolnej Wisły zjawiskiem na ogół punktowym. W przypadku nizinnych zbiorników wodnych jest często zjawiskiem liniowym, występującym po zewnętrznej, odlądowej stronie zapór bocznych, chroniących obszary depresyjne od zatopienia. Wyflukiwanie cząstek gruntu rośnie ze wzrostem spadku hydraulicznego i zróżnicowaniem wielkości ziarn gruntu. Największe spadki hydrauliczne będą w dolnych stanowiskach czołowych zapór ziemnych oraz w dolnych odcinkach zbiorników i wyniosą maksymalnie ponad 8 m (zbiornik Opalenie, rejon wsi Grabówko). Sufozja dotknie najwięcej rowów przyzaporowych na zbiorniku Płock (34 km), na którym będzie bardzo mało brzegów naturalnych, wysokich. W górę od zapory spadek hydrauliczny maleje i zjawisko sufozji stopniowo zanika. W miarę eksploatacji zbiorników następuje kolmatacja – naturalne uszczelnienie zapór i zjawisko przestaje być groźne.

Procesy geomorfologiczne w dolinie dolnej Wisły są obecnie w stanie dynamicznej równowagi. Rozwijają się cyklicznie i nie wszystkie znajdują się w tym samym stadium rozwoju. Spiętrzanie rzeki na poszczególnych stopniach wodnych zapoczątkuje nowy, zbiornikowy cykl przyspieszonego rozwoju wszystkich procesów. Największe natężenie ich rozwoju będzie w pierwszych 3–8 latach (I stadium). W następnych latach przebieg procesów będzie zmienny, ale z tendencją malejącą (II stadium). Po 12–20 latach procesy geomorfologiczne wejdą w stadium dynamicznej równowagi (III stadium) i nawiążą do naturalnego rytmu rozwoju krajobrazu regionu, a natężenie szeregu z nich spadnie nawet poniżej stanu przed zmiany bazy erozyjno-denudacyjnej rzeki (ryc. 26). Stanie się tak na skutek kilkukrotnego zmniejszenia wahań lustra wody i zmian w dynamice jej przepływu. Spadnie również względna wysokość stoków doliny.

Spiętrzanie rzeki stopniem wodnym jest gwałtem na środowisku doliny i katastrofą ekologiczną dla niektórych biocenoz. Na gwałt ów rzeka odpowiada wzmocnionym rozwojem procesów rzeźbotwórczych w środowisku abiotycznym oraz przekształcaniem biocenoz w środowisku wodnym. Zbiorniki tej skali wielkości jak w KDW „wpiszą się” w środowisko doliny już w pokoleniu budowniczych, tj. po około 20 latach. Skończy się również w tym stadium kształtowanie biocenoz w poszczególnych strefach głębokościowych ekosystemu zbiornika (Pasternak 1984). W dalszej perspektywie procesy falowe staną się drugorzędym czynnikiem ewolucji strefy brzegowej. Delta rumowiska dennego będzie się wypłycać i przemieszczać ku zaporze, a rzeka będzie meandrować po jej powierzchni. Ożywią się lokalnie osuwiska na skutek podcinania wysokich brzegów przez bładzającą rzekę. Najszybciej przestanie spełniać swoją funkcję zbiornik Wyszogród – pierwszy od góry w kaskadzie. Najwolniej będą zamulane zbiorniki Opalenie i Tczew – leżące najniżej w kaskadzie. (tab. 12).

PODSUMOWANIE

1. Dynamika obecnych brzegów dolnej Wisły jest zdeterminowana czasem i charakterem ingerencji człowieka w jej procesy korytowe. Brak jest swobodnych, nie skrępowanych zabudową techniczną odcinków. Po zabudowie technicznej koryta zmienia się natężenie i kierunek procesów brzegowych, niezależnie od ich stanu i kierunku przed regulacją. W warunkach naturalnych utrzymywały się, w dłuższym okresie, prawie stałe proporcje udziału poszczególnych typów dynamicznych brzegów; wzrost erozji na jednym fragmencie powodował akumulację na innym.

2. Po regulacji rzeki nasila się proces akumulacji, a wygasa erozja brzegów. Spada objętość transportowanego rumowiska. Poprawiają się warunki żeglugi. Trwa to tak długo, dopóki rzeka nie dostosuje się do nowych warunków hydrodynamicznych. Natężenie procesu akumulacji nie jest równomierne; intensywne w początkowej fazie, a wolniejsze w okresie późniejszym. Po około 30–40 latach następuje stadium niezmienności, neutralności brzegów – przy właściwym funkcjonowaniu zabudowy technicznej. Jeżeli ubytki degradowanej przez czas i lód zabudowy brzegów są uzupełniane systematycznie i skrupulatnie, wtedy stadium neutralności brzegów może trwać pokoleniami. Nurt meandruje w korycie prawie prostym. System form korytowych (łach i plos) jest również prawie niezmienny i przemieszcza się w dół rzeki, co powoduje konieczność stałej korekty szlaku żeglownego. Warunki żeglugi stabilizują się. W przypadku braku systematyczności i skrupulatności w renowacji ubytków zabudowy technicznej nasila się proces erozji; najpierw punktowo, a później liniowo, na dłuższych odcinkach. Obecnie, w takim stanie dynamicznym, jest uregulowany przed 100 laty odcinek dolnej Wisły od km 719 (Silno) do ujścia. Dominują tu brzegi neutralne, ale erozji podlega już prawie 23% (tab. 6, ryc. 24). Jest to już niebagatelne źródło dostawy rumowiska do rzeki, komplikującego jego uprzednie bilansy. Nasilanie się procesu abrazji brzegów pogarsza warunki żeglugi.

3. W przypadku nie systematycznej i nie regularnej zabudowy rzeki ostrogami następuje zmiana kierunku procesu, ale jego natężenie jest mniejsze. Dlatego też na odcinku c (Włocławek–Silno), regulowanym w powyższy sposób od początku XX w. do lat sześćdziesiątych, erozja nie tylko nie wygasła, ale obejmuje jeszcze prawie 25% brzegów. Neutralne odcinki stanowią dopiero 36%. Odcinek a – powyżej zbiornika Włocławek – uregulowany podobnie jak odcinek c, tylko 20 lat później, czyli przed kilku zaledwie laty, jest w stadium intensywnej przebudowy brzegów. Erozja obejmuje tu ponad 60% ich długości.

4. W przypadku spiętrzenia rzeki zachodzi silny rozmyw nowych brzegów, powodowany abrazją falowania wiatrowego. Trwa on kilka lat, a produkty rozmywu są deponowane na podwodnym stoku w strefie brzegowej. Po stadium intensywnej abrazji następuje wyraźny, cykliczny spadek rozmywu i pojawienie się fragmentów akumulacyjnych. Po około 15 latach ukształtował się tu nowy typ rzeźby brzegowej, odmienny od fluwialnej (ryc. 18). W podwodnej części brzegu powstała płycizna przybrzeżna, o genezie abrazyjno-akumulacyjnej, na której fale wytracają swą energię. Natężenie abrazji wyraźnie spada. Brzegi zbiornika są w stadium stabilizacji.

5. Człowiek jest obecnie głównym czynnikiem kształtującym rodzaj i intensywność procesów geomorfologicznych w całej dolinie Wisły, nie tylko na brzegach jej koryta. Znaczenie tego czynnika wzrasta w postępie „więcej niż geometrycznym” i przewyższa „działanie wszystkich czynników naturalnych” (Mojski 1980, s. 333). W geologicznej skali czasu nie było tak intensywnie działającego czynnika kształtującego dolinę Wisły.

6. Za niezbędne uważam kontynuowanie badań dynamiki brzegów dolnej Wisły z uwagi na:

- 1) brak badań tego problemu w Polsce,
- 2) możliwość uogólnienia procesu na bazie założonej już sieci pomiarowej i dotychczasowego rozpoznania problemu,
- 3) praktyczną ważność wyników badań.



Fot. 1. Aluwia drobnoziarniste (pyły), spoiste o miąższości 2,1 m w Kępa Karolińskiej (km 603,8) – lewy brzeg. 13.02.1996

Fine-grained alluvia (dusts), coherent, of the thickness 2,1 m in Kępa Karolińska (km 603,8) – left bank. 13.02.1996



Fot. 2. Wał egzarycyjny powstały pod wpływem rozszerzalności termicznej pokrywy lodowej na zbiorniku Włocławek w Skokach Dużych. 02.02.1996

Exaration ridge formed under influence of the ice cover thermal expansion on the Włocławek reservoir in Skoki Duże. 02.02.1996



Fot. 3. Erozyjny lewy brzeg Wisły w Grochalach, o wysokości 3 m, zbudowany z aluwii piaszczystych przykrytych pyłami o miąższości 0,6 m (przekrój 1). 13.05.1997
Left erosive bank in Gochale, of the height 3 m, built of sand alluvia, covered with dusts of the thickness 0,6 m (cross-section 1). 13.05.1997



Fot. 5. Zróżnicowane wysokościowo i geologicznie erozyjne brzegi Wisły w Wyszogrodzie. Na drugim planie prace przy budowie filarów nowego mostu drogowego i słupy linii energetycznej 110 kV. Widok z mostu drewnianego – w dół rzeki. 08.04.1997



Fot. 4. Erozyjny brzeg w Grochalach, o wysokości około 2 m, zbudowany z aluwiiów pylastych (przekrój 8). 13.05.1997

Erosive Vistula bank in Grochale, of the height about 2 m, built of dust alluvia (cross-section 8). 13.05.1997



**Erosive banks in Wyszogród of different height and geological characteristic.
In the background – building pillars of the new bridge and poles of the power line 110 kV.
View from the wooden bridge – upstream the river. 08.04.1997**



Fot. 6. Resztką grodu (Góry Zamkowej) w Wyszogrodzie, niszczonego przez Wisłę od wieków. Fot. T. Bieniewski (Archiwum PMA w Warszawie), wg T. Dunin-Łąsowicz (1974)

The rest of old town (Góra Zamkowa) in Wyszogród, being destroyed by Vistula for ages.
Photo T. Bieniewski (PMA archive in Warsaw), after T. Dunin-Łąsowicz (1974)



Fot. 7. Brzeg Kępy Kamińskiej w profilu linii energetycznej 110 kV, erodowany – cofający się w tempie 2,8 m rocznie. W tle most drewniany w Wyszogrodzie.
Widok w górę rzeki. 08.04.1997

Bank of Kępa Kamińska in the profile of the power line 110 kV, eroded – decreasing in the rate 2,8 m yearly. In the background – wooden bridge in Wyszogród.
View upstream the river. 08.04.1997



Fot. 8. Przetamowanie ramienia Wisły w przebiegu linii energetycznej 400 kV przez Kępę Semplawską. 08.04.1997

Damming of the Vistula river arm in the course of power line 400 kV through Kępa Semplawska. 08.04.1997



Fot. 9. Brzeg erozyjny (lewy) o wysokości 1–2 m, zbudowany z ilów i pyłów, (przekrój 8a) cofnął się za ostatnie 24 lata 58 m (tab. 9). 08.04.1997

Erosive bank (left) of the height 1–2 m, built of clays and dusts (cross-section 8a), which decreased 58 m during the last 24 years (table 9). 08.04.1997



Fot. 10. Nisza erozyjna na lewym brzegu Wisły przy słupie linii energetycznej 400 kV na Kępie Semplawskiej. Odległość od narożników słupa do krawędzi brzegu wynosi 18 m. Widok w górę rzeki. 01.02.1996

Erosive niche on the left Vistula bank near the power line 400 kV pole on Kępa Semplawska. Distance from the pole's angles to the bank's edge amounts 18 m. View upstream the river. 01.02.1996



Fot. 11. Erozyjny fragment lewego brzegu w centralnej części Kępy Semplawskiej (przekrój 6 i 7), o wysokości 1,5–3,0 m. 08.04.1997

Erosive fragment of the left bank in central part of Kępa Semplawska (cross-sections 6 and 7), of the height 1,5–3,0 m. 08.04.1997



Fot. 12. Erozyjny brzeg (lewy) w zwiężłych aluwiach pylastych w miejscowości Suchodół (tab. 10). Od brzegu do podstawy wału 80 m

Erosive bank (left) in fine-grained dust alluvia in the Suchodół locality (table 10). 80 m from the bank to the dike's basis



Fot. 13. Erozyjny brzeg (lewy) w Kępie Karolińskiej (tab. 10). Od brzegu do podstawy wału 60 m. Brzeg budują aluwia pylaste. 21.04.1997

Erosive bank (left) in Kępa Karolińska (table 10). 60 m from the bank to the dike's basis. The bank is built of dust alluvia. 21.04.1997



Fot. 14. Permanentnie cofający się brzeg Wisły w Dobrzyniu. Resztki Góry Zamkowej (grodziska) – widoczna w tle to miejsce zamku Braci Dobrzyńskich od 1222 r. 02.04.1996
Permanently decreasing Vistula bank in Dobrzyń. The rest of Góra Zamkowa (old town) – visible in the background – is a place, where the old castle, property of Dobrzyńscy brothers, stood from 1222. 02.04.1996



Fot. 15. Wysoki, abrazyjny brzeg Wisły w Dobrzyniu, kształtowany był i jest przez procesy osuwiskowe. Widok z Góry Zamkowej w górę rzeki. 07.04.1997
High abrasive bank of Vistula in Dobrzyń, which was and is shaped by colluvial processes. View from Góra Zamkowa upstream the river. 07.04.1997



Fot. 16. Abrazyjna część platformy (płycizny) przybrzeżnej na lewym, niskim brzegu w Dobiegniewie. Niszczone drzewa to efekt abrazji i egzarcacji lodowej. 28.05.1996

Abrasive part of the coastal platform on the left, low bank in Dobiegniewo. Destroyed trees are the effect of abrasion and ice exaration. 28.05.1996



Fot. 17. Akumulacyjny brzeg zatoki Struga Kamienicka, zamkniętej mierzeją od 1987 r. Linia brzegowa przyrasta ku zbiornikowi (odcinek badawczy nr 8 na ryc. 16). 14.05.1997

Accumulative bank of the Struga Kamienicka bay, from 1987 closed by a bar. The coastline grows towards the reservoir (study segment nr 8, fig. 16). 14.05.1997



Fot. 18. Silnie odmłodzone w kwietniu 1996 r. osuwisko w Kamienicy k/Dobrzyń.
14.05.1997

Strongly rejuvenated in April 1996 landslide in Kamienica near Dobrzyń. 14.05.1997



Fot. 19. Permanentnie rozwijające się osuwisko rotacyjne w Glewie (Gotyszewo).
Białe plamy to pyły plioceńskie. 20.05.1997

Permanently developing rotating landslide in Glewo (Gotyszewo).
White spots are the Pliocene dusts. 20.05.1997



Fot. 20. Erodowany od 6 lat lewy brzeg Wisły uregulowanej w Brzozie Toruńskiej.
 Wysokość brzegu 4 m, zbudowanego z piasków przykrytych pyłami.
 Stan rzeki około 2 m wyższy od średniego. 16.04.1996

The regulated left Vistula bank in Brzoza Toruńska being eroded for 6 years.
 The bank is built of sands covered by dusts, its height amounts 4 m.
 The river's water level is about 2 m higher than the mean one. 16.04.1996



Fot. 21. Świeżo zabudowany dwiema ostrogami erozyjny odcinek w Brzozie Toruńskiej.
 04.11.1996

Erosive segment in Brzoza Toruńska, newly built-up with two groynes. 04.11.1996



Fot. 22. Erozja prawego brzegu w Toruniu (Bydgoskie Przedmieście)
po częściowej degradacji ostróg. 04.01.1997

Erosion of the right bank in Toruń (Bydgoskie Przedmieście)
after partly degradation of groynes. 04.01.1997



Fot. 23. Erozja prawego brzegu w Mątowach Małych (ryc. 23). 15.05.1997

Erosion of the right bank in Mątowy Małe (fig. 23). 15.05.1997

LITERATURA

- Andrzejewski L., 1994, *Ewolucja systemu fluwialnego doliny dolnej Wisły w późnym wistulianie i holocenie na podstawie wybranych dolin jej dopływów*, Wyd. UMK, Toruń.
- Babiński Z., 1982, *Procesy korytowe Wisły poniżej zapory we Włocławku*, Dokum. Geogr., 1–2.
- 1985, *Hydromorfologiczne konsekwencje regulacji dolnej Wisły*, Przegł. Geogr., 57, 4, 471–486.
- 1990, *Charakterystyka równiny zalewowej dolnej Wisły*, Przegł. Geogr., 62, 1–2, 95–120.
- 1992, *Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 157.
- 1993, *Stopień wodny Ciechocinek i jego zbiornik Nieszawa – prognoza zmian środowiska geograficznego*. Zeszyty IGiPZ PAN, 12, 5–27.
- 1995, *Zmiany środowiska fluwialnego poniżej stopnia wodnego „Włocławek” i ich wpływ na gospodarkę człowieka*, Kaskada 1–2, 6–7.
- Babiński Z., Grześ M., 1995, *Monografia hydrologiczna zbiornika stopnia wodnego Włocławek*, Zeszyty IGiPZ PAN, 30.
- Banach M., 1973, *Budowa geologiczna a powierzchniowe ruchy masowe na prawym zboczu doliny Wisły między Płockiem a Włocławkiem*, Przegł. Geogr., 45, 2, 353–371.
- 1977, *Rozwój osuwisk na prawym zboczu doliny Wisły między Dobrzyniem a Włocławkiem*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 124.
- 1985, *Geodynamika zbrocza doliny Wisły w Dobrzyniu*, Przegł. Geogr., 57, 4, 527–551.
- 1986, *Przekształcenia brzegów zbiornika Włocławskiego*, [w:] J. Szupryczyński (red.), *Zbiornik Włocławski – niektóre problemy z geografii fizycznej*, Dokum. Geogr., 5, 25–40.
- 1988, *Główne procesy a osady w strefie brzegowej zbiornika Włocławek*, Przegł. Geogr., 60, 3, 267–299.
- 1989, *Dynamics of the Włocławek reservoir banks*, Revue Roumaine Geol., Geophys., Geogr., Geographie, 33, 67–73.
- 1992, *Morfodynamika form akumulacyjnych strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, [w:] M. Banach, R. Głazik, *Zbiornik Włocławski – niektóre problemy z geografii fizycznej*, Dokum. Geogr., 1, 9–39.
- 1994, *Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 161.
- 1997, *Rozwój procesów geomorfologicznych w projektowanej kaskadzie dolnej Wisły (KDW)*, Kaskada 1, 3–7.
- Bażyński J., Kühn A., 1970, *Rejestracja osuwisk w Polsce*, Przegł. Geol., 183, 142–145.
- Berkovic K. M., Kirik O. M., Lodina R. V., Čalov R. S., Černov A. V., 1996, *Opasnyje projavlenija ruslovych processov (na primiere rek Rossii)*. Vestnik Mosk. Univ., Geografia 5, 35–41.
- Čalov R. S., 1994, *Razmyvy rečnych beregov, ich sviaz s ruslovimi processami*, Geoekologia, 4, 100–110.
- 1995, *Ruslovyje issledovanija*. Izd. Mosk. Univ., Moskwa.
- Cyberski J., 1982, *Charakterystyka hydrologiczna dolnej Wisły*, [w:] B. Augustowski (red.), *Dolina dolnej Wisły*, Ossolineum, Wrocław, 103–153.

- Dunin - Wąsowicz T., 1974, *Zmiany w topografii wielkich dolin na Nizinie Środkowo-europejskiej w XIII wieku*, Ossolineum, Wrocław.
- Falkowski E., 1980, *Problemy genezy i interpretacji ukształtowania doliny środkowej i dolnej Wisły*, Przegł. Geol., 6, 345–347.
- Grześ M., 1991, *Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle. Mechanizmy i warunki*, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Grześ M., Babiński Z., 1987, *Analiza morfologii dna koryta rzeki Wisły w rejonie mostu w Wyszogrodzie*, Maszynopis w IGiPZ PAN w Toruniu.
- Grześ M., Banach M., 1983, *Powódź zatorowa na Wiśle w styczniu 1982 roku*, Przegł. Geogr., 55, 1, 91–113.
- Grześ M., Pawłowski B., Sobota I., Banach M., Marciniak K., 1996, *Ocena zagrożenia zatorowego na dolnej Wiśle, zima 1995/96*. Dokumentacja. Maszynopis IG UMK Toruń.
- Ibragimov I. S., 1987, *Osobennosti dinamiki beregovoj zony rek*, [w:] *Rekomendacii po ocenke i prognozu rozmywa beregov ravninnych rek i vodochranilišč dlja stroitielstva*, Stroizdat, Moskwa, 6–7.
- Ikonnikov L. B., 1981, *Dinamika beregov v nižnich biefach gidrouzlov*, Nauka, Moskwa.
- Ingarden R., 1921, *Rzeki i kanały żeglugowe w b. trzech zaborach i znaczenie ich gospodarcze dla Polski*, Kraków.
- Ivanov V. V., Čalov R. S., 1991, *Priamoliniejnyje nierazvietlennyje rusla kak morfodynamičeskij tip*, Geomorfologija, 2, 67–73.
- Kaszowski L., Kotarba A., 1970, *Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych*, Prace Geogr. IG PAN, 80, 5–87.
- Klimaszewski M., 1981, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa.
- Koc L., 1972, *Zmiany koryta Wisły w XIX i XX w. między Płockiem a Toruniem*, Przegł. Geogr., 44, 4, s. 703–719.
- Laskowski K., 1986, *Przebieg erozji w dolinie Wisły na odcinku Puławy–Warszawa*, Biuletyn Geol. UW, 30, 5–59.
- Mojski J. E., 1980, *Budowa geologiczna i tendencje rozwoju doliny Wisły*, Przegł. Geol., 6, 332–333.
- Myślińska E., 1980, *Inżyniersko-geologiczna charakterystyka mad doliny Wisły*, Przegł. Geol., 6, 348–351.
- Pasternak K., 1984, *Zmiany w chemicznych i biologicznych stosunkach środowiska wodnego rzeki jako rezultat oddziaływania zbiorników retencyjnych*, Czas. Geogr. 40, 3, 365–377.
- Rasčutin D. V., 1991, *Geologo-geomorfologičeskije faktory gorizontalnych ruslovych deformacji sredniego Tereka i metodika rasčeta rozmywa jego beregov*. Avtoreferat disertacji kand. geogr. nauk, MGU, Moskwa.
- Širokov V. M., Łopuch P. S., Levkevič V. E., 1992, *Formirovanie beregov małych vodochranilišč lesnoj zony*, Gidrometeoizdat, Sankt-Petersburg.
- Wiśniewski E., 1997, *Dolina dolnej Wisły podczas górnego plenivistulianu* [w:] L. Andrzejewski (red.), *Procesy, formy i osady fluwialne na obszarze młodoglacjalnym nizinie polskiego*. Warsztaty terenowe Toruń–Słupsk 18–21 czerwca 1997 r., 19–23.
- Wiśniewski E., Banach M., 1994, *Analiza wpływu piętrzenia wody w projektowanych zbiornikach kaskady dolnej Wisły na procesy geomorfologiczne zachodzące w zbiornikach i na terenach przyległych*. Maszynopis w IGiPZ PAN w Toruniu.

DYNAMICS OF THE LOWER VISTULA BANKS

S u m m a r y

The wash-out of banks by rivers is a significant process destroying the Earth surface. In case of great rivers, such as Vistula river, it was and it still is a burdensome and even dangerous process for valley's inhabitants. Settlements, engineer constructions, water intakes, bridge passes, communication and high voltage lines, arable lands and forest areas suffer from this process. Struggle against the phenomenon of lateral erosion or prevention takes a lot of money. To fight against it successfully it is necessary to become acquainted with the channel process nature.

The aim of this paper is presentation of present state of the lower Vistula river banks dynamics in connection with physico-geographical conditions of this area together with currently existing hydrotechnical structures of the channel and the valley. The paper refers to horizontal channel deformations, periodical changes and constant, long lasting changes. The geological structure, lithology and morphology of the banks were recognized as the most important of physico-geographical conditions. The most important factors starting the process of banks' transformation are: 1) water stream erosion and flows caused by it, 2) exaration caused by the ice cover movements, 3) mass movements (gravitational) on the slopes.

Various study methods were applied. The most important were quantitative measurements of the banks deformation, carried out in 42 cross-sections, in 14 chosen study segments (fig. 1, table 1). For the cross-sections measurements the underwater profile in the zone 30–50 m was sounded. Also the cross-profiles of the whole channel were sounded for characteristic segments. The measurements of the over-water part of the bank were repeated 5–6 times.

At the period 1995–1996 topographical mapping of the banks on the map 1:10 000 was carried out. The mapping comprised registration of geological structure, lithology, morphology and dynamic type of bank. The banks in the segment Modlin – Płock (76 km) and Włodawek – Solec Kujawski (86 km) were mapped. Further downstream the river, to Tczew, chosen fragments of the banks were mapped.

Comparison of topographical maps, aerial photos from different periods and analysis of various hydrotechnical documentation enabled to set changes of the coastline and inter-channel holmes for the last 100 years in the surroundings of Zakroczym and Wyszogród.

The dynamics of the present lower Vistula banks is determined by the time and character of the man's interference with the river's channel processes. It lacks free segments, not restricted by hydrotechnical structures. After building of the channel's technical structures the bank processes' intensity and direction changes, aside from their state and direction before regulation. Under natural conditions for long periods almost constant proportions of particular dynamic bank types parts maintained; increase of erosion in one fragment was provoking accumulation in other one.

After the river's regulation the process of accumulation intensifies and the banks erosion expires. The volume of transported bed load decreases. The navigation conditions improve. It lasts until the river is adapted to the new hydrodynamic conditions. Intensity of the accumulation process is not equal; intensive in the initial phase and slower at the later period. After about 30–40 years the immutability, neutrality stage takes place – when the technical

structures work properly. If losses of the bank structure, degraded by time and ice, are systematically and scrupulously completed, the stage of banks' neutrality may last many years. The streamline meanders in almost straight channel. The system of channel forms (oxbow lakes and pools) is also almost immutable and displaces downstream the river, causing necessity of constant correction of navigable route. The navigation conditions stabilize. In case of lack of scrupulous and systematic completion in the technical structures losses renovation the process of erosion intensifies, first pointwise and then linearly, in longer segments. In such dynamical state is now the segment of the lower Vistula, regulated 100 years ago – from km 719 (Silno) to the river mouth. The neutral banks dominate, but almost 23% already undergo erosion (table 6, fig. 24). It is an important source of the bed load delivery to the river, complicating its previous balances. Intensification of the banks abrasion makes the navigation conditions worse.

In case of non-systematic and irregular river overbuilding by groynes a change of the process direction takes place, but a change of its intensity is slower. Therefore in the segment c (Włocławek – Silno), regulated in the way described above from the beginning of XXth century up to the sixties, the process of erosion did not expire. Moreover – it still affects almost 25% of the banks. The neutral segments make only 36%. The segment a – above the Włocławek reservoir – regulated similarly as the segment c, but 20 years later, i. e. only some years ago, is at the stage of intensive banks' reconstruction. Erosion comprises here over 60% of their length.

In case of the river damming a strong wash-out of the new banks takes place, caused by the wind-wave abrasion. It lasts several years and the products of the wash-out are deposited on the underwater slope in the coastal zone. After the stage of intensive abrasion a distinct, cyclic decrease of the wash-out takes place and appearance of accumulation fragments. After about 15 years a new type of bank relief shaped here, different from the fluvial relief (fig. 18). In the underwater part of the bank the coastal platform of abrasive-accumulative genesis is formed, on which waves lose their energy. Intensity of abrasion distinctly decreases. The reservoir's banks are at the stabilization stage.

The man is now the main factor shaping a kind and intensity of geomorphological processes in the whole Vistula river, not only on its channel banks. The importance of this factor increases in the progression „more than geometrical” and exceeds „activity of all the natural factors” (Mojski 1980, p. 333). In the geological time scale such intensively acting factor shaping the Vistula river valley did not exist.

I think that to continue studies the lower Vistula river banks is necessary on account of:

- 1) lack of studies on this problem in Poland,
- 2) possibility of the process generalization on the basis of existing measurements net and hitherto existing recognition of the problem,
- 3) practical importance of the problem.

Translated by Dorota Szupryczyńska-Gembala

**WYDAWNICTWA IGiPZ PAN
VARIA**

Bibliografia Geografii Polskiej 1991, 1997, 290 s.

Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce, Zeszyt 5. Wieloarkuszowe mapy topograficzne Polski 1576–1870, 1984, cz. 1, 109 s., cz. 2 tab. 220, zł 12, –

Katalog dawnych map Rzeczypospolitej w kolekcji Emeryka Hutten-Czapskiego i w innych zbiorach. Oprac. W. Kret, 1978, 164 s., 37 map; T. 2. Mapy XVIII wieku. Oprac. T. Paćko, D. Stachnal-Talanda, E. Gołąb-Jankowska, 1992, 250 s., 56 map, zł 25, –

WYKAZ ZESZYTÓW CONFERENCE PAPERS

1. Restructuring of economies and regional development, 1988, 156 s.
2. Natural environment of suburban areas as development factor of big cities, 1988, 184 s.
3. The state, modes of production and world political map, 1989, 186 s.
4. Problemy współczesnej topoklimatologii / Problems of contemporary topoclimatology, 1990, 226 s.
5. Agricultural classifications. A review of methodology, 1990, 69 s.
6. Global change regional research centres, 1990, 181 s.
7. The impact of urbanization upon rural areas, 1990, 272 s.
8. The processes of depopulation of rural areas in Central and Eastern Europe, 1990, 322 s.
9. Przestrzenne problemy zdrowotności / Spatial problems of health, 1990, 322 s.
10. Evolution of population and economic activities in urban regions, 1990, 168 s.
11. Geograficzne badania nad płodnością / Geographical research on fertility, 1991, 123 s.
12. Restructuring and spatial strategy, 1991, 203 s.
13. Impact des mutations structurelles sur le développement territorial en Europe, 1991, 215 s., zł 2, –
14. Sesja naukowa IGiPZ PAN 1991 / Annual Conference 1991, 1991, 156 s., zł 2, –
15. Housing and urban policy in transition, 1992, 112 s., zł 2, –
16. Geographical issues of social and economic transformation of contemporary Japan and Poland, 1992, 158 s., zł 2, –
17. Współczesna geografia polityczna / Contemporary political geography, 1993, 128 s., zł 2, –
18. Geography of organic matter production and decay, SCOPE Seminar, Szymbark, September 11–18. 1991, 1993, 188 s., zł 3, –
19. Climate and atmospheric deposition studies in forests. International Conference, Nieborów, October 6–9. 1992, 1994, 276 s., zł 15.–
20. Przemiany środowiska przyrodniczego Karpat i Kotlin Podkarpackich / Environmental changes of the Carpathian and Subcarpathian Basins, 1995, 124 s., zł 9,–
21. EURO–MAB IV. Mountain zonality facing global change, 1995, 176 s., zł 10,–/18,–
22. Polish eastern border. Past and present problems, 1995, 96 s., zł 8,–/14,–
23. Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą / Recent Polish climatological investigations in Poland and abroad, 1995, 236 s., zł 16,–/24,–
24. Urban and regional issues in geographical research in Poland and Italy, 1995, 168 s., zł 10,–/18,–
25. Przemiany struktury przestrzennej obszarów wiejskich w strefach podmiejskich Polski i Rumunii. Materiały seminarium polsko-rumuńskiego, Warszawa 12–16 VI 1995, 1996, 116 s., zł 8,–/14,–

WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ
z ostatnich lat

1993

1. T. LJIEWSKI, E. S. SUJKO – Koncentracja aktywności gospodarczej i społecznej w 150 większych miastach Polski, 94 s., zł 3,-
2. A. MISZCZUK – Wyludnianie się wsi a rolnictwo wschodniej Lubelszczyzny, 86 s., zł 3,-
3. W. STOLA – Struktura przestrzenna i klasyfikacja funkcjonalna obszarów wiejskich Polski, 66 s., zł 3,-
- 4-5. A. KOTARBA (red.) – Z badań fizycznogeograficznych w Tatrach, 81 s., zł 4,-
6. B. WYŻGA – Funkcjonowanie systemu rzecznej środkowej i dolnej Raby w ostatnich 200 latach, 93 s., zł 4,-

1994

- 1-2. A. S. KOSTROWICKI, J. SOLON (red.) – Studium geobotaniczno-krajobrazowe okolic Pińczowa, 197 s., zł 10,-
 - 3-4. A. DZIEWULSKA – Przemiany struktury przestrzennej chowu zwierząt gospodarskich w Polsce w latach 1970–1988, 77 s., zł 10,-
 - 5-6. T. KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk. Czterdzieści lat działalności 1953–1993, 138 s., 8 zał.
- SUPLEMENT (5–6) – D. GAZICKA – Wybrane publikacje pracowników Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk wydane w latach 1953–1993, 69 s., zł 10,-

1995

1. S. KOZARSKI – Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki środowiska i transformacja geosystemu (~20 ka → 10 ka BP), 84 s., zł 5,20,-
2. P. GĘBICA – Ewolucja doliny Wisły pomiędzy Nowym Brzeskiem a Opatowcem w wistulianie i holocenie, 92 s., zł 5,20,-
3. A. GAWRYSZEWSKI – Mapy narodowościowe, wyznaniowe i językowe Polski wykonane przez autorów obcych. Bibliografia (lata 1846–1967), s. 102, zł 6,-

1996

4. A. KOTARBA (red.) – Z badań fizycznogeograficznych w Tatrach – II, s. 70, zł 6,-

1997

5. E. CZYŻOWSKA – Zapis zdarzeń powodziowych na pograniczu boreału i atlantyku w osadach stożka napływowego w Podgrodziu, s. 74, zł 7,-
6. T. KALICKI (red.) – Badania ewolucji dolin rzecznych na Białorusi – I, s. 111, zł 10,-
7. A. GAWRYSZEWSKI – Przestrzenna ruchliwość ludności Polski. Bibliografia (lata 1896–1990), s. 160, zł 12,-
8. L. STARKEL (red.) – Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku), s. 108, zł 15,-