

**Mieczysław Banach**

Akademia Pomorska  
Słupsk

**O ZACHWIANIU PROCESU EWOLUCJI BRZEGÓW  
ZBIORNIKA WŁOCLĄWEK  
ABOUT THE DISTURBANCE OF BANK EVOLUTION  
OF RESERVOIR IN WŁOCLĄWEK**

**Zarys treści:** Długookresowe (35 lat) badania transformacji strefy brzegowej zbiornika na Wiśle we Włocławku pozwalają przedstawić kolejne stadia (etapy) jej ewolucji: 1) narastania tempa przekształcania, 2) zmiennego spadku tempa przekształcania, 3) dynamicznej równowagi. Stadia te można uznać za typowe dla zbiorników nizinnych, dolinnych, średniej wielkości (20-100 km<sup>2</sup> powierzchni i pojemności 0,1-1,0 km<sup>3</sup>), o małych wahaniami stanów wody (rocznych amplitudach ≤ 1 m, a dobowych 10-20 cm).

**Słowa kluczowe:** transformacja brzegów zbiorników, abrazja, osuwiska, zbiornik Włocławek  
**Key words:** transformation of the reservoirs banks, abrasion, landslides, Włocławek reservoir

### **Wprowadzenie**

Zbiorniki zaporowe, zbudowane głównie w drugiej połowie XX wieku, stanowią ważne obiekty hydrograficzne na Ziemi. Zajmują już ponad 400 tysięcy km<sup>2</sup> powierzchni, czyli 15,4% powierzchni jezior, oraz mają 6500 km<sup>3</sup> pojemności, tj. prawie 4% pojemności jezior (Avakian 1998). W Polsce wartości te są jeszcze większe i wynoszą odpowiednio 365 km<sup>2</sup> (17,8%) oraz 3,6 km<sup>3</sup> (20,7%; *Atlas...* 1986).

Po spiętrzeniu rzeki zaporą (stopniem wodnym) rozpoczyna się nowy etap transformacji jej brzegów, przy podwyższonych rzędnych zwierciadła wody. Skala i forma transformacji zależy od wielkości akwenu, warunków fizycznogeograficznych doliny oraz reżimu eksploatacji zbiornika.

Zbiornik Włocławek jest akwenem nizinnym, dolinnym, przepływowym, średniej wielkości w skali zbiorników na świecie, a w Polsce największym (70 km<sup>2</sup>) i drugim pod względem zasobów wodnych (408 mln m<sup>3</sup>). Wahania stanów wody są nieregularne, ale małe (roczne amplitudy ≤ 1 m, a dobowe 10-20 cm).

Terenowe badania brzegów prowadzono na wielu zbiornikach w Polsce (Zegrzyńskim, Koronowskim, Jeziorsku, Siemianówce, Krzynie, Konradowskim i Byto-

wej) i za granicą (Nehranice – Czechy, Orawa – Słowacja, Gorkowski, Irkucki i Bracki w Rosji). Były to w większości badania krótkookresowe, jednorazowe, ograniczające się niekiedy do kartowania geodynamicznego wybranych fragmentów brzegów. Najbardziej zbliżony wielkością, rzeźbą i geologią brzegów, jak również amplitudą wahań stanów wody do zbiornika Włocławek, najlepiej poznanego, jest Zegrzyński na Narwi. Inne obiekty różnią się zarówno wielkością, wahaniami stanów wody, jak i wiekiem eksploatacji.

W miarę rozwoju badań strefy brzegowej sztucznych zbiorników wodnych podejmowano próby wydzielenia okresów, faz, stadiów i cykli w procesie jej ewolucji. Abrazja brzegów była głównym kryterium tych wydzieleni. Najpierw wyróżniono dwa okresy: nieustalonego rozwoju, czyli młodości, oraz ustalonego rozwoju, czyli dojrzałości i starości (Vendrov 1979). Prawie równocześnie stosowano inne określenia: okres kształtowania brzegu z przewagą abrazji oraz okres stabilizacji z przewagą akumulacji (Širokov 1984). W miarę poszerzania wiedzy o strefie brzegowej powyższe okresy dzielono na krótsze jednostki: stadia, cykle, fazy, etapy (Finarov 1986). Niewiele jest zarówno w Polsce, jak i na świecie przykładów długotrwałych badań jednego obiektu (zbiornika) przez ten sam zespół badawczy. Najwięcej wyników pochodzi z badań jednorazowych, krótkotrwałych, najwyżej kilkuletnich. Dużo jest za to prognoz, których prawie nikt nie sprawdza. Powyższe opracowanie jest kolejną próbą uogólnienia procesu zmian strefy brzegowej.

## **Metoda**

Z literatury przedmiotu wynika, że w Polsce najdłużej badano strefę brzegową zbiornika na dolnej Wiśle we Włocławku. Proces jej transformacji analizowano wieloaspektowo i systematycznie przez pierwsze 22 lata po zakończeniu piętrzenia Wisły w 1970 roku (Banach 1994), a w latach 1992-2005 – epizodycznie. Zmiany te mierzono geodezyjnie na 66 przekrojach poprzecznych. Powtarzano niwelację nadwodnej i podwodnej części brzegu, a tachymetrycznie mierzono przemieszczanie się wyznaczonych punktów na powierzchni osuwisk (drzew, rur, głazów i fundamentów budynków) z minimum dwóch stabilnych stanowisk, zlokalizowanych poza osuwiskiem, na stabilnym podłożu. Kartowanie geodynamiczne wykonywano kilkakrotnie, wyznaczając każdorazowo przestrzenny zasięg poszczególnych typów brzegu. Wykorzystano również zdjęcia lotnicze z różnych okresów. W latach 1969-1998 prowadzono badania w ramach prac badawczych Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Toruniu, a później przez kolejne 7 lat w trakcie badań własnych i statutowych w Instytucie Geografii Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku.

## **Wyniki badań**

Po zakończeniu spiętrzenia Wisły o prawie 11 m na stopniu wodnym we Włocławku w 1970 roku szerokość rzeki wzrosła ponaddwukrotnie. Zalane zostały kępy

śródkorytowe. Powstał zwarty akwen szerokości 1,3-2,0 km i rozciągłości ponad 30 km. Znacznie wzrosła głębokość rzeki, szczególnie wzdłuż brzegów stromych, niegdyś wysokich, erozyjnych. W zasięgu nowej linii brzegowej zbocze zostało nasączone wodą, co spowodowało spadek spójności i tarcia między cząsteczkami osadów. W podwodnej części strefy brzegowej, tzn. na drodze podejścia fal do linii brzegowej, początkowo było wystarczająco głęboko, aby nie ulegały one deformacji, wygasaniu, dlatego do brzegu docierały fale o dużej energii, którą „wylądowywały” na jego rozmywanie i degradację. Na stromych odcinkach zbocza w bliskim sąsiedztwie brzegu tworzyły się szczeliny, zerwy, obrywy i nowe osuwiska, a istniejące grawitacyjne formy ruchów masowych przyspieszyły tempo swojego rozwoju. Procesy te zachodziły głównie na prawym zboczu zbiornika, między Płockiem a Włocławkiem, stanowiącym największy, zwarty obszar osuwiskowy na Niziu Polskim (Banach 1977).

Rozległy, otwarty akwen sprzyjał powstawaniu fal, które w pierwszych latach po spiętrzeniu niszczyły brzeg wielokrotnie szybciej aniżeli czyniła to erozja wód podziemnych Wisły. Skala niszczenia brzegu była tak duża, gdyż brakowało połozonego podnóża zbocza, które poprzednio pełniło rolę stabilizującą, podpierającą. Potok przyboju wlewał się bez przeszkód w czasie wzmoczonego falowania daleko na brzeg, niszcząc go, a prądy przybrzeżne wynosiły wysortowany materiał na większe głębokości oraz do zatok, których początkowo było znacznie więcej niż obecnie.

Szczegółowa analiza danych uzyskanych podczas prowadzonych pomiarów i badań transformacji strefy brzegowej w ciągu 35 lat eksploatacji zbiornika Włocławek pozwala wydzielić trzy stadia (etapy): 1) wzrostu tempa przekształcania, 2) zmniejszenia tempa przekształcania, 3) dynamicznej równowagi.

Pierwsze stadium, trwające 3-8 lat, charakteryzowało się wzrostem tempa procesów brzegowych i stokowych (ryc. 1). Równocześnie z degradacją wysokich, stromych brzegów zachodziła akumulacja osadów w strefie przybrzeżnej i ich masowe przemieszczanie w poprzek brzegu, ku większym głębokościom. Najszybciej cofały się brzegi wysokie. Najwięcej rozmytych osadów zostało odtransportowanych ku głębiom i do zatok (tab. 1, ryc. 2). Materiał osuwiskowy przemieszczał się z prędkością 2,6-3,6 m/rok w centralnej i dolnej części badanych osuwisk, tj. o prawie 40% szybciej niż przed spiętrzeniem (tab. 2), co spowodowane zostało wzrostem tempa rozmywania koluwiów deponowanych na brzegu zbiornika, stwierdzonym pomiarami abrazji. Natężenie rozmywu przewyższało nawet 20 m<sup>3</sup> rocznie z 1 m bieżącego brzegu wzdłuż wysokich klifów (tab. 1). W końcu tego stadium rozpoczęła się abrazja niskich, połączonych brzegów, które dotychczas były jedynie bardzo powoli degradowane, „zlizywane” przez fale. Było to stadium kształtowania się nowych brzegów Wisły lub stadium nieustalonego rozwoju, czyli młodości (Vendrov 1979).

W drugim stadium, trwającym 9-12 lat, natężenie abrazji brzegów i rozwoju osuwisk było zróżnicowane, ale z tendencją malejącą (ryc. 1). Przybrzeżna płycizna osiągnęła już wtedy znaczne rozmiary (16-20 m szerokości) i osady rozmywane przez fale były transportowane wzdłuż brzegu, a coraz mniejsza ich ilość – wynoszona na otwarty akwen, ku głębiom. Szybko przyrastały odsypy przybrzeżne w zatokach oraz na zawietrznych stronach wypukłości brzegu. Ujścia wąwozów i małych dolinek zostały odcięte mierzejami, a powstałe laguny zaczęły wypełniać się osadami

Tabela 1

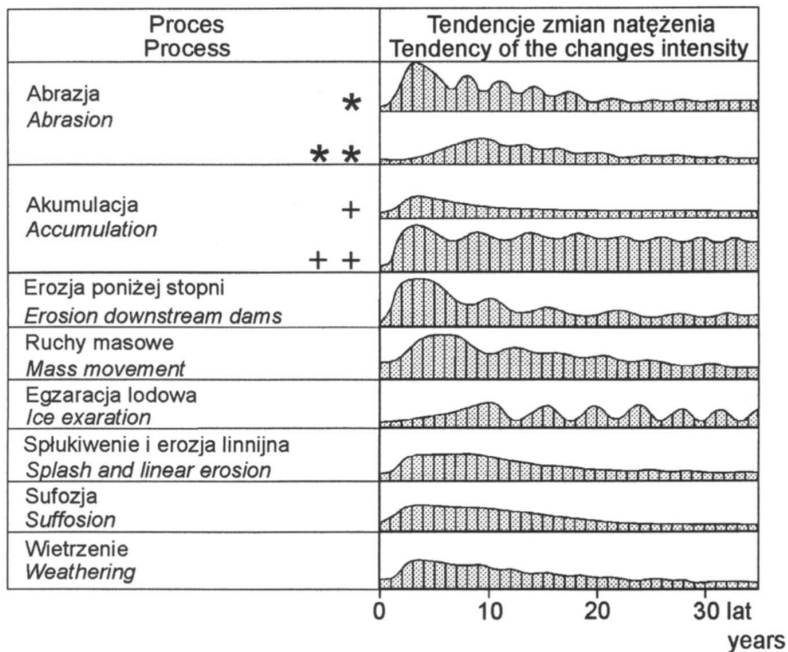
Abrazja brzegów zbiornika Włocławek w Dobrzyniu  
Abrasion of the Włocławek reservoir banks in Dobrzyn

Lp.	Nazwa przekroju	*km rzeki Wisły	Rodzaj utworów brzegu	Wysokość brzegu-klifu (m)		Okres pomiarów	Liczba lat	Wielkość abrazji			
				ekstremalna	średnia			Linowa (m)	Objęściowa (m <sup>3</sup> /m.b. brzegu)		
								suma	średnia roczna	suma	średnia roczna
1	Dobrzyn	661,9	kol Q, Pl	1,4-2,6 0,2-2,6	2,0 1,3	1977-92 1970-92	15,9 21,9	11,8 41,9	0,7 1,9	16,9 52,2	1,1 2,4
2	Dobrzyn	661,4	g Q	4,7 4,7-4,5	4,7 4,6	1977-92 1970-92	15,8 22,1	1,4 6,4	0,1 0,3	6,6 27,4	0,4 1,2
3	Dobrzyn, G.Z.	661,1	kol A, Q, M	45,0 45,0	45,0 45	1977-92 1970-92	16,0 22,1	7,0 **12,0	0,4 0,5	315 495	19,7 22,4
4	Dobrzyn	660,8	i Pl	0,5-1,5	1,0	1970-92	22,1	32,6	1,5	32,6	1,5
5	Dobrzyn, ul. Zjazd	660,6	pl, g Q, Pl	6,0 3,0-6,0	6,0 4,5	1977-92 1970-92	16,5 22,0	4,0 12,4	0,3 0,6	24,0 55,8	1,5 2,5
6	Dobrzyn	660,0	i Pl	2,0-6,0	4,0	1970-92	22,0	19,0	0,9	76,0	3,4
1-6	6 przekrojów			0,5-45,8	11,8	1970-92	22,0	14,9	0,7	110,2	5,6

\* kilometraż rzeki z 1970 r.

\*\* średnia wartość dla całego klifu

Rodzaj i wiek utworów: pl – płyty, i – ily, g – gliny, kol – koluwia, A – antropogen, Q – czwartorzęd, Pl – pliocen, M – miocen, G.Z. – Góra Zamkowa



Ryc. 1. Schemat przebiegu procesów geomorfologicznych na zbiorniku Włocławek

\* – brzegi wysokie, \*\* – brzegi niskie, + – strefa brzegowa, ++ – czasza

Fig. 1. The scheme of the course of geo-morphological processes in the Włocławek reservoir

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

przynoszonymi przez dopływające ciekę stałe i okresowe. Linia brzegowa wyraźnie się wyrównała, głównie przez akumulację. Wzrosła długość jednorodnych litologicznie odcinków brzegu, wzdłuż których migruje materiał klastyczny po płyciźnie przybrzeżnej. W odcinkach osuwiskowych linia brzegowa zaczęła przemieszczać się ku zbiornikowi na skutek wyraźnego spadku tempa procesu abrazji; w pierwszym stadium stale cofała się. Spadła dynamika procesów stokowych do 1,0-1,7 m/rok, tj. poniżej tempa przed spiętrzeniem rzeki (tab. 2).

Po 12-20 latach strefa brzegowa osiągnęła stan równowagi dynamicznej – trzecie stadium rozwoju, w którym zarówno procesy stokowe, jak i brzegowe (abrazja brzegu i akumulacja osadów) uległy wyraźnemu zahamowaniu. Płycizny przybrzeżne były już w pełni ukształtowane, a ich powierzchnie stabilne, na co wskazywała obecność podwodnej roślinności i bentosu, a szczególnie małża racicznicy (*Dreissena polymorpha*), który wymaga stabilnego podłoża i jest wrażliwy na ruch osadów piaszczystych, drażniących i raniących jego system filtracyjny. Na powierzchni wysokich klifów, czynnych niegdyś obrywów i osypisk wkroczyła roślinność, a wyrazistość rzeźby osuwiskowej uległa znacznemu zatarciu. Intensywność niektórych procesów stokowych i brzegowych, np. osuwisk, splukiwania powierzchniowego

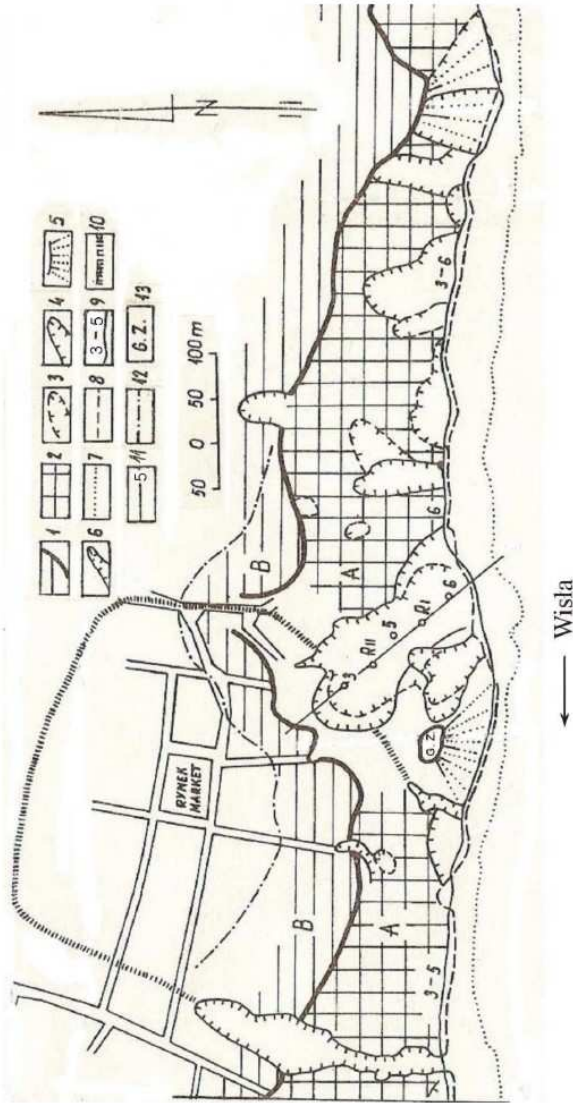
i liniowego oraz wietrzenia na zboczu, spadła poniżej intensywności przed spiętrzeniem. Spowodowane to zostało głównie:

- 1) sześciokrotnym spadkiem wahań zwierciadła wody Wisły, którego roczna amplituda sięgała wcześniej nawet 6 m, a obecnie nie przekracza 1 m;
- 2) spadkiem nachylenia zwierciadła wód rzeki i szybkości jej płynięcia;
- 3) spadkiem nachylenia zwierciadła wód podziemnych i amplitudy jego wahań;
- 4) wykształceniem się pływicy przybrzeżnej, która skutecznie zastępuje zalane podnóże zbocza i odgrywa rolę stabilizującą, gdyż teraz fale wytracają na niej swą energię;
- 5) prawie zupełnym zaniechaniem, od ponad 18 lat, wykorzystywania zbocza przez człowieka (wypas bydła, koszenie trawy, uprawa roli, sady), co prowadzi do re-witalizacji. Stadium to będzie trwać dziesiątki lat.

Tabela 2

Przemieszczenia poziome (w m) wybranych punktów pomiarowych na Osuwisku Centralnym w Dobrzyniu w latach 1959-2002  
Horizontal displacement (in m) of the selected measurement points at the Central Landslide in Dobrzyń in the period 1959-2002

Lp.	Okres	Liczba lat	5		6		R <sub>I</sub>		R <sub>II</sub>	
			suma	m/rok	suma	m/rok	suma	m/rok	suma	m/rok
1	1959 - 1970	11,00	-	-	29,00	2,60	-	-	-	-
2	29.09.70 - 14.11.74	4,13	10,54	2,55	15,00	3,63	-	-	-	-
3	14.10.72 - 4.04.82	9,50	-	-	-	-	24,50	2,58	-	-
4	14.11.74 - 4.04.82	7,42	-	-	-	-	-	-	18,50	2,49
5	14.11.74 - 26.04.83	8,38	21,20	2,53	27,20	3,25	-	-	-	-
6	4.04.82 - 13.12.02	20,68	-	-	-	-	33,00	1,60	36,00	1,74
7	26.04.83 - 13.12.02	19,63	27,50	1,40	19,00	0,97	-	-	-	-
8	1970 - 2002	32,21	59,22	1,84	61,00	1,89	-	-	-	-
9	1972 - 2002	30,17	-	-	-	-	57,50	1,91	-	-
10	1974 - 2002	30,08	-	-	-	-	-	-	54,50	1,81



661,5

661,0

660,5

Ryc. 2. Mapa morfodynamiczna zbocza doliny Wisły w Dobrzyńiu (Banach 1985, uproszczona): 1 – krawędź wysoczyzny morenowej, 2 – osuwiska stare, nieczynne, 3 – osuwiska czynne przed spięzieniem Wisły (do 1970 r.), 4 – osuwiska powstałe po spięzieniu Wisły (1970-1983), 5 – obrywy i osypy zbocza, 6 – wcięcia erozyjne, 7 – brzeg Wisły przed spięzieniem (1964 r.), 8 – brzeg Wisły po spięzieniu (1970 r.), 9 – brzeg Wisły w 1983 r., z wysokością klifu w m, 10 – dawna fosa, 11 – oś Osuwiska Centralnego z lokalizacją analizowanych punktów pomiarowych (tab. 2), 12 – zasięg względnego bezpieczeństwa skarp (zbocza) według Kühna (1973); A – strefa zagrożona, B – strefa względnego bezpieczeństwa, 13 – Góra Zamkowa

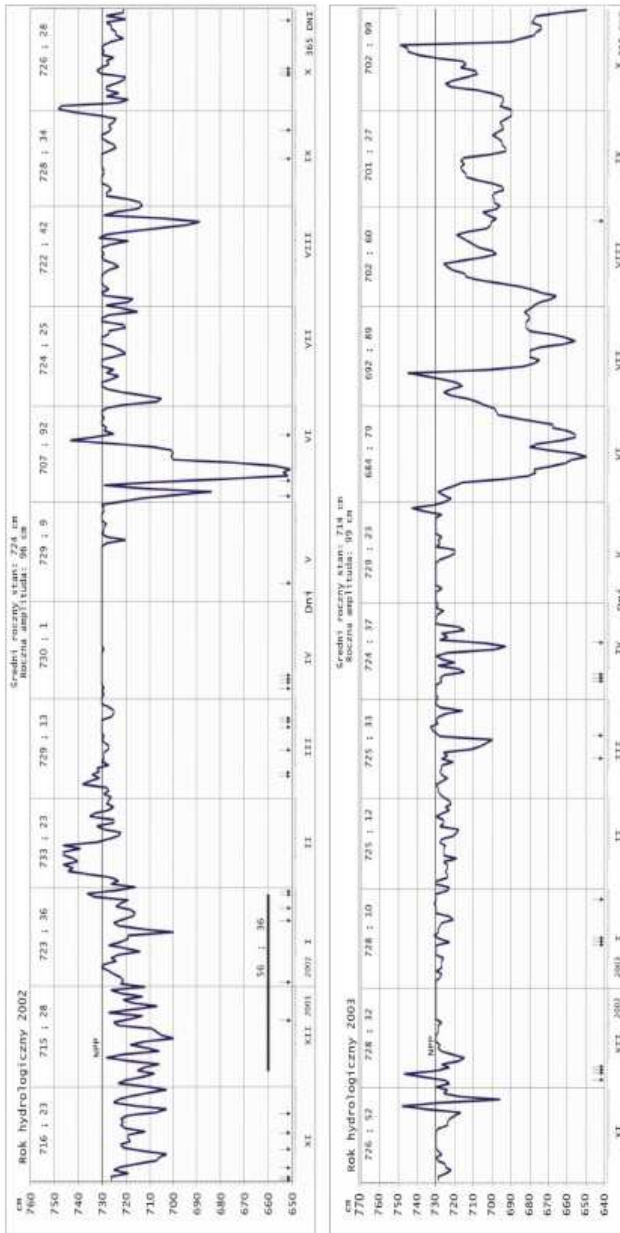
Fig. 2. Morphodynamic map of the Vistula valley slope in Dobrzyń (Banach 1985, generalized): 1 – edge of moraine high plain, 2 – old, inactive landslides, 3 – landslides active before the Vistula retention (by 1970), 4 – landslides formed after the Vistula retention (1970-1983), 5 – slope earth falls and scree, 6 – erosional incisions, 7 – the Vistula bank before retention (1964), 8 – the Vistula bank after retention (1970), 9 – the Vistula bank in 1983, height of cliff of in m, 10 – former fosse, 11 – the axis of Central Slide with the location of the examined points, 12 – range of relative safety of the escarp (slope) according to A. Kühn (1973); A – danger zone, B – relative safety zone, 13 – Góra Zamkowa

Przewidywano (Banach 1994, 1998), że stan dynamicznej równowagi może ulec zachwianiu, ale tylko lokalnie, punktowo, w czasie dłużej trwających wysokich stanów wody i równoczesnego silnego falowania, w okresach wzmożonych opadów i małego w tym czasie parowania, tj. zimą lub wczesną wiosną. Tak właśnie stało się w 2001 roku i w lutym 2002 roku, kiedy wyjątkowo wysokie opady w dwóch kolejnych latach spowodowały wyraźny wzrost uwilgotnienia utworów na stoku i brzegu. Suma opadów w 2001 roku wyniosła 827 mm i była najwyższa w 35-letnim okresie eksploatacji zbiornika. W 2002 roku suma opadów była mniejsza (621 mm), ale bardzo wysoki był opad deszczu w pełni zimy – w lutym (101 mm), kiedy przekroczył 4,7 razy wartość średnią z trzydziestolecia (1971-2000) dla tego miejsca. Wyraźny trwały wzrost poziomu piętrzenia wody Wisły na zaporze od lutego 2002 roku do początku czerwca 2003 roku, o prawie 20 cm w stosunku do stanu średniego z 2001 roku i lat poprzednich (ryc. 3), wzmógł dodatkowo przy nadmiernych opadach „rozluźnienie” osadów wzdłuż linii brzegowej i na stoku. W efekcie stwierdzono wzrost natężenia abrazji brzegów i ożywienia osuwisk, szczególnie zimą 2002 i 2003 roku. Obecne zaktywizowanie się procesów stokowych i brzegowych to tylko epizod w tendencji do ich wygasania w czasie.

Scharakteryzowane trzy stadia w transformacji strefy brzegowej zbiornika Włocławek oraz czas ich trwania można odnieść do innych nizinnych, dolinnych zbiorników średniej wielkości o zbliżonych wahanich stanów wody ( $\leq 1$  m/rok). Wraz ze wzrostem powierzchni akwenu i wahań jego lustra wody wydłuża się czas trwania poszczególnych stadiów (Banach 1998, Banach, Spanila 2000). Zbiornik Jeziorsko na Warcie jest jeszcze, po 10 latach, w pierwszym stadium rozwoju z powodu znacznych rocznych amplitud wahań zwierciadła, mieszczących się w przedziale od 3,9 do 5,6 m w latach 1995-1999 (Banach, Grobelska 2003). Strefa brzegowa zbiornika Brackiego na Angarze, eksploatowanego od ponad 40 lat, jest dopiero na początku drugiego stadium rozwoju z powodu nie tylko wielkości akwenu (5470 km<sup>2</sup>), ale głównie dużych amplitud wahań wody, sięgających corocznie 4 m, a przekraczających 10 m w wieloletiu (Ovčinnikov i in. 1999). Strefa brzegowa zbiorników w kaskadzie Słupi ze względu na niewielkie rozmiary ( $< 2$  km<sup>2</sup>) oraz małe wahania wód ( $< 0,5$  m rocznie) osiągnęła stan dynamicznej równowagi w ciągu kilkunastu lat. Obecnie, po przeszło 80 latach, zbiorniki wraz z urządzeniami hydro- i energo-technicznymi są obiektami dziedzictwa kulturowego, podnoszącymi walory i rangę Parku Krajobrazowego „Dolina Słupi”.

W powyższym artykule pominięto szczegółowe rozważania i przykłady ewolucji strefy brzegowej zbiorników górskich, które są na ogół obiektami występującymi wśród wysokich i stromych stoków, charakteryzującymi się dużymi wahaniami zwierciadła wody (do kilkudziesięciu metrów). Już w trakcie ich napełniania uaktywniają się procesy stokowe i brzegowe na prawie całym obwodzie akwenu (Kuskovskij, Chabidov 2002). Po zakończeniu piętrzenia wód, w trakcie normalnej eksploatacji obiektów intensyfikuje się proces akumulacji materiału dostarczanego z degradowanych pokryw zwietrzelinowych na stokach. Cechą płycizny przybrzeżnej jest schodkowatość i znaczna stromość (do kilkunastu stopni). Na brzegach zbiorników górskich powszechne są osuwiska. Proces transformacji strefy brzegowej w tych warunkach znacznie się wydłuża, a dojście do stadium dynamicznej równowagi trwa na ogół kilkadziesiąt lat.





Ryc. 3. Stany wody (w cm) zbiornika Włocławek w latach hydrologicznych 2002-2003

W górnej części wykresów średni miesięczny stan, po środku – amplituda miesięczna. W dolnej części rycin grube poziome linie to okresy występowania zjawisk lodowych (dni); druga linia po środku – maksymalna grubość pokrywy lodowej (w cm). Nad dolną linią wykresów strzałki wskazują dni ze średnią prędkością wiatru  $\geq 5 \text{ m s}^{-1}$ ; NPP – normalny (projektowany) poziom piętrzenia Wisły na stopniu we Włocławku

Fig. 3. The water level (in cm) of the Włocławek reservoir in the hydrological years 2002-2003

In the upper part of the graph, the average monthly level, after semicolon – the monthly amplitude. In the lower part of the graph, thick horizontal lines represent the periods of appearance of ice effects (days); the second number after the semicolon – a maximum ice cover thickness (in cm). Over the lower line of the graph, the arrows which indicate an average approximate wind speed  $\geq 5 \text{ m s}^{-1}$ ; NPP – normal (estimated) level of the Vistula River lifting at the stage fall in Włocławek

## Wnioski

1. Oddziaływanie zbiorników zaporowych na strefę brzegową jest najlepiej poznane ze względu na wyrazistość, spektakularność procesu transformacji brzegów oraz zagrożenie infrastruktury brzegowej. Oddziaływanie na inne komponenty środowiska dolin rzecznych (jakość wód, gleby, klimat, osadnictwo, użytkowanie ziemi) nie jest tak wyraziste, szybkie – i dlatego słabiej poznane.
2. Strefa brzegowa zbiorników nizinnych małych ( $\leq 2 \text{ km}^2$ ), niewielkich ( $2-20 \text{ km}^2$ ) i średnich ( $20-100 \text{ km}^2$ ) osiąga stan dynamicznej równowagi po kilku lub kilkunastu latach po spiętrzeniu rzeki; im większe wahania stanów wody, tym proces ten trwa dłużej.
3. Na zbiornikach nizinnych o małych, ale nieregularnych wahaniami lustra wody ( $\leq 1 \text{ m}$ ) w strefie klimatu umiarkowanego ważnym czynnikiem degradacji brzegów jest egzaracja (erozja lodowa) – niszczenie przez termiczne i dynamiczne oddziaływanie zwartej pokrywy lodowej (Banach 1988, 1994, Gierszewski 1988) – co jest jednak trudne do prognozowania.
4. Brzegi niskie, położone podlegają abrazji i egzaracji z wyraźnym opóźnieniem w porównaniu z brzegami wysokimi, stromymi. Prawdopodobnie ta obejmuje wszystkie zbiorniki, niezależnie od wielkości i gospodarki wodnej na stopniu (Banach, Spanila 2000, Ovčinnikov i in. 1999, 2002).

## Literatura

- Atlas hydrologiczny Polski*, 1986, t. 2, z. 2, Warszawa
- Avakian A. B., 1998, *Problematyka zaporowych zbiorników wodnych*, Przegląd Geograficzny, t. 70, z. 1-2, s. 11-26
- Banach M., 1977, *Rozwój osuwisk na prawym zboczu doliny Wisły między Dobrzyniem a Włocławkiem*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, nr 124
- Banach M., 1985, *Geodynamika zbocza doliny Wisły w Dobrzyniu*, Przegląd Geograficzny, t. 57, z. 4, s. 527-551
- Banach M., 1988, *Główne procesy a osady w strefie brzegowej zbiornika Włocławek*, Przegląd Geograficzny, t. 60, z. 3, s. 267-299
- Banach M., 1994, *Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, nr 161
- Banach M., 1998, *Dynamika brzegów dolnej Wisły*, Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, nr 9
- Banach M., Grobelska H., 2003, *Stan dynamiki brzegów zbiornika Jeziorsko*, Słupskie Prace Geograficzne, nr 1, s. 91-106
- Banach M., Spanila T., 2000, *Geodynamic evolution of water reservoir banks*, Acta Montana IRSM AS CR, seria A, nr 15, s. 45-66
- Finarov D. P., 1986, *Geomorfologičeskij analiz i prognozirovanie pereformirovanija beregovoj zony i dna vodochranilišč*, Leningrad
- Gierszewski P., 1988, *Zmiany brzegów wywołane termicznymi ruchami lodu na przykładzie zbiornika Włocławskiego*, Przegląd Geograficzny, t. 60, z. 4, s. 657-674
- Kuskovskij V. S., Chabidov A. Š., 2002, *Osobennosti formirovanija beregov predgornych i gornych vodochronilišč Sibiri*. W: *Geomorfologija gor i predgori*, Barnaul, s. 133-134

- Ovčinnikov G. I., Pavlov S. H., Trzcinskij I. B., 1999, *Izmenenie geologičeskoj sredy v zonach vlijanija Angaro-Jenisejskich vodochronilišč*, Novosybirsk
- Ovčinnikov G. I., Trzcinskij I. B., Rzentala M., 2002, *Abrazjonno-akkumulativnye processy v beregovoj zone vodochronilišč na primere južnogo Briangaria i Silezkoj vozvyšennosti*, Sosnowiec-Irkutsk
- Širokov V. M., 1984, *Osnovnye osobennosti processov formirovanija beregov i loža vodochronilišč Sibirii. W: Izmenenie prirodnych uslovij pod vlijaniem dejatel'nosti čeloveka*, Novosybirsk, s. 10-26
- Vendrov S. L., 1979, *Problemy preobrazovanija rečnych sistem SSSR*, Leningrad

## Summary

Following long-term (33 years) explorations of the Vistula River reservoir in Włocławek, 3 stages of evolution of its littoral zone have been established: 1) the increase of transformation speed, 2) the changeable decrease of transformation speed, 3) the dynamic balance. The watermark, is a lowland, valley, flow water region of the average size among water reservoirs in the world but the largest in Poland (70 km<sup>2</sup>). The water level oscillations are irregular but low (annual range  $\leq 1$  m and daily  $\leq 20$  cm).

The first stage, which lasted 3-8 years, was characterized by the increase of the speed of development of banks formation and declivity processes. High banks recessed fastest and the biggest cubic capacity was washed away and transported off the bank towards the depth and to bays. Colluvia moved with the speed of 2,8-3,6 m/a year in the central and lower part of the examined landslides, i.e. about 40% faster then before their lifting. In the end of that stage abrasion of the low and sloping banks started, which had been "licked away" by the waves before (fig. 1).

At the second stage, which lasted 9-12 years, the intensity of abrasion of the banks and the development of landslides varied with a decreasing tendency. The bank shallow waters had already reached substantial size (16-20 m) and the deposits washed away throughout years by waves were transported along the banks, and the smaller and smaller quantity was carried away in the open water region towards the depth. Outwashes along the banks increased quickly in the bays and on the leeward parts of any bank concavity. Ravine and small river outlets were cut off by sand bars, and the created lagoons began to be filled with deposits carried by inflowing permanent and periodical watercourses. The bankline was clearly leveled mainly due to accumulation. At the landslide parts, their bankline began to move towards the reservoir due to a visible decrease of the abrasion process – at the first stage, it regularly receded. The landslides dynamics decreased to 1,0-1,7 m/a year, i.e. below the speed before the river lifting.

After 12-20 years, the bankline reached the state of the dynamic balance – the third stage of development at which the intensity of bankline and slope formation processes decreased to the state for the stage before river lifting. Both the landslides on the side and the abrasion on the banks substantially retarded. The bankline shallow waters had already been fully shaped and their surfaces had been stable, which was indicated by the presence of underwater plants and benthos. The plants reached the levels of high cliffs, previously active slumps and landslides and the distinctiveness of the landslide shaping was obliterated.

Bankline and slope formation processes started to „introduce” themselves into the natural rhythm of development of the Vistula River landscape and the intensity of some of them e.g. landslides, surface and linear washing up as well as weathering on the slope decreased to the state of their development before the river lifting (fig.1).

It was estimated, that the above-mentioned state of the dynamic balance might be disturbed within longer periods of high water levels and a concurrent intensive wave motion during the periods of increased rainfall. It was the case in 2001, especially in February 2002 when extremely intensive rainfall in two consecutive years 2001 (827 mm) – the highest level over a 33 years' period of exploitation of the reservoir, and in 2002 (621 mm) with extremely intensive rainfall in February (101 mm) when the average rate of the thirty years' period (1971-2000) was exceeded 4,7 times (1971-2000) for that site. A visible and stable increase of the water lifting in the Vistula on the dam from February 2002 (by nearly 20 cm in proportion to the average state from 2001 and previous years) with excess rainfall additionally intensified "slackening" of the sediments along the bankline and on the slope which in consequence led to increase of intensity of abrasion of the bank. Present activation and intensification of the slope formation processes (landslides) and bank formation processes (abrasion) is only a minor episode in the general process of their extinction in time.