

Elżbieta Florek

Akademia Pomorska
Słupsk

Leszek Łęczyński

Uniwersytet Gdański
Gdańsk

**AKUMULACJA I PROCESY BRZEGOWE
W ZBIORNIKACH ENERGETYCZNYCH KONRADOWO
I KRZYNIA NA ŚRODKOWEJ SŁUPI
THE ACCUMULATION AND LITTORAL PROCESSES
IN KONRADOWO AND KRZYNIA RESERVOIRS
ON MIDDLE SŁUPIA RIVER COURSE**

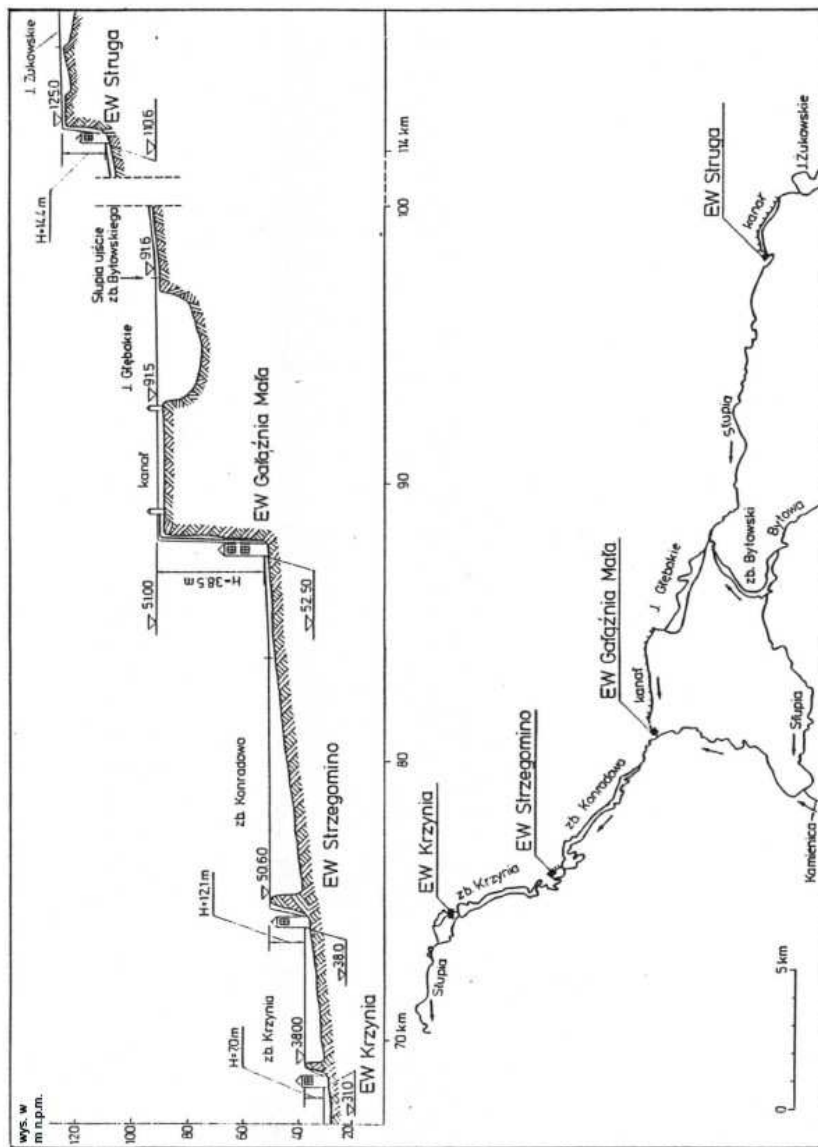
Zarys treści: Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań jednego z etapów pracy nad określeniem stopnia przekształceń rzeźby dna doliny Słupi na odcinku, na którym wybudowano zbiorniki Konradowo i Krzynia, pośrednio także określenie rozmiarów akumulacji osadów oraz rodzaju form i charakteru procesów brzegowych w zbiornikach przyzaporowych elektrowni wodnych Gałąźnia Mała, Strzegomino i Krzynia.

Słowa kluczowe: zbiorniki, elektrownie wodne, akumulacja, procesy brzegowe

Key words: reservoirs, hydropower plants, accumulation, littoral processes

Wstęp

Na zabudowę hydrotechniczną środkowej Słupi składają się trzy elektrownie wodne wraz z całą infrastrukturą hydrotechniczną – zbiornikami, zaporami ziemnymi, urządzeniami upustowymi, kanałami doprowadzającymi i jazami (rys. 1, tab. 1). Elektrownie: Gałąźnia Mała, Strzegomino i Krzynia wybudowano w latach 1914-1926, czyli prawie 100 lat temu jako zespół elektrowni „Glambocksee”. Wszystkie urządzenia i budowle tych elektrowni pracują i funkcjonują nieprzerwanie do dnia dzisiejszego (E. Florek 1995). Prawie stuletni okres wydaje się wystarczający do obiektywnego odniesienia się do zaistniałych w środowisku doliny rzecznej zmian, wywołanych tego typu ingerencją antropogeniczną. Określenie charakteru tych zmian, a także opracowanie prognozy na lata następne jest przedmiotem wieloletnich badań E. Florek (1995, 1997).



Rys. 1. Rozmieszczenie elektrowni wodnych na środkowej Słupi (E. Florek 1995)

Fig. 1. Location of hydropower plants on the middle course of Słupia River (E. Florek 1995)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1

Parametry techniczne urządzeń hydrotechnicznych elektrowni wodnych Strzegomino i Krzynia
 Technical parameters of hydrotechnical installations in hydropower plants Strzegomino and Krzynia

Elektrownia	Rze-ka	Rok uru-cho-mie-nia	Po-wie-rzch-nia zlew-ni (km ²)	Średni prze-pływ (m ³)	Pojem-ność zbiorn-ika (mln m ³)	Powie-rzchnia zbiorn-ika (ha)	Liczba i rodzaj turbin	Prze-tyk turbin (m ³ /s)	Spad instalowa-ny (m)	Moc zainsta-lo-wana (kW)	Produkcja roczna (mln kWh)
Strzegomi-no (zb. Konradowo)	Słu-pia	1924	820	6,81	5,1	100	3 Fran-cisa	27,00	12,1	2310	5,33
Krzynia	Słu-pia	1926	876	7,80	2,0	75	2 Fran-cisa	17,2	7,0	860	3,25

Źródło: Uproszczona dokumentacja... 1953 a, b

Ze względu na znaczne podobieństwo położenia i charakteru zbiorników Krzynia i Konradowo oraz procesów w nich przebiegających, autorzy przedstawiają w tym opracowaniu jedynie zagadnienia dotyczące tych zbiorników. Zbiorniki elektrowni Gałąźnia Mała – ze względu na swą odmienną – będą przedmiotem odrębnego opracowania.

Metodyka badań terenowych i kameralnych

Szczegółowe badania terenowe wykonano od maja do listopada 2001 roku. W latach 2001-2005 prowadzono monitoring wybranych procesów i obiektów terenowych. Prace obejmowały:

- pomiary i kartowanie przebiegu linii brzegowej zbiorników,
- pomiary batymetryczne zbiorników,
- kartowanie stanu ich strefy brzegowej,
- wykonanie dokumentacji fotograficznej,
- monitoring dotyczył: erodowanych fragmentów linii brzegowej, przyrostu delty oraz falowania w niektórych ekstremalnych warunkach pogodowych.

Pomiary batymetryczne oraz kartowanie strefy brzegowej wykonano z łodzi o napędzie elektrycznym (elektrownie i ich zbiorniki położone są w Parku Krajobrazowym „Dolina Słupi”), wyposażonej w echosondę oraz DGPS. Odbiornikiem radiowych sygnałów systemu nawigacji Navstar GPS (Globalny System Pozycjonowania) francuskiej firmy MLR Electronique, model FX412 posługiwano się do lokalizacji punktów pomiarowych. Urządzenie to miało możliwość wykorzystywania

sygnałów z dowolnych stacji referencyjnych wysyłających sygnały RTCM, co wpłynęło na dużą dokładność pomiaru pozycji. Do pomiaru głębokości używano echosondy Bathy 500 MF.

W trakcie prac kameralnych analizowano:

- mapy topograficzne w skali 1:10 000, 1:5000,
- zdjęcia lotnicze pionowe i ich fotointerpretacje, w skali 1:5000, z 1995 roku Konradowa i z 1997 roku obszaru Krzynie,
- opracowania własne dotyczące delty Słupi, publikowane (E. Florek 1997) oraz niepublikowane, materiały archiwalne „ENWOD” Elektrowni Wodnych Słupsk Sp. z o.o. (Uproszczona dokumentacja...1953a, b).

Nie zachowały się plany projektowe zbiorników na Słupi ani żadne opracowania topograficzne sprzed roku 1945; autorzy dysponowali jedynie technicznymi danymi z momentu uruchomienia elektrowni. Z kolei w latach 1945-2005 nie wykonano żadnego zdjęcia sytuacyjno-wysokościowego zbiorników i ich otoczenia, z wyjątkiem niewielkich fragmentów terenu wokół zapór. Jedynymi materiałami topograficznymi z tego okresu są mapa topograficzna w skali 1:10 000 (uaktualniona w 1985 roku) oraz zdjęcia lotnicze zbiorników z lat 1995 (Konradowo) i 1997 (Krzynie). Taka szczupłość dokumentacji archiwalnych zmusza do traktowania wszystkich wielkości, które są wynikiem porównania z danymi projektowymi, jedynie w kategorii szacunku.

Zdjęcia lotnicze znalazły głównie zastosowanie w określaniu wielkości i charakteru akumulacji w górnej części zbiorników oraz w interpretacji wielkości i sposobu kształtowania się delt. Przy określaniu przebiegu aktualnej linii brzegowej zdjęcia lotnicze można było wykorzystać jedynie w ograniczonym zakresie, ponieważ korona drzew sięgające do 3 m nad taflę zbiornika skutecznie ją zasłaniały.

Charakterystyka obszaru badań

Dolina środkowej Słupi przebiega wzdłuż północnej granicy obszaru określonego przez J. Kondrackiego (1978, 1998) jako Wysoczyzna Polanowska, tuż przy jej granicy z Wysoczyzną Damnicką, od zachodu granicząc z Równiną Sławieńską. Wymienione jednostki mają rangę mezoregionów.

Dolina formowała się począwszy od fazy pomorskiej po okres późnoglacialnej regresji południowego Bałtyku, przy dominującym udziale deglacji aeralnej i frontalnej (W. Florek 1989), co zadecydowało o przemiennym występowaniu w jej układzie odcinków o różnej genezie.

W środkowym biegu Słupi należy wydzielić trzy odcinki. Od Jeziora Żukowskiego do ujścia jej lewobrzeżnego dopływu Kamienicy Słupia wykorzystuje szeroką dolinę marginalną wewnętrzną, o asymetrycznych zboczach, z wyraźnie widocznymi poziomami sandrowymi na zboczach północnych. Na tym odcinku wody Słupi zasila jej największy dopływ, ważny w jej wykorzystaniu energetycznym – Bytowa. Od Kamienicy do Krzynie Słupia płynie na północny zachód, głęboką doliną rynnową, przecinającą pagóry moren czołowych akumulacyjnych, założoną na wypełnionym osadami obniżeniu podczwartorzędowym. Poniżej Krzynie Słupia płynie w kie-

runku zachodnim, aż do Żelkówka, fragmentem doliny marginalnej wewnętrznej, również założonej na wypełnionym osadami plejstoceniowymi obniżeniu podczwartorzędowym. Dolina ma asymetryczne zbocza z dobrze wykształconymi poziomymi sandrowymi (Orłowski 1989).

Charakterystyczną cechą doliny środkowej Słupi i otaczającego ją obszaru jest jego lesistość. Drzewostany zajmują tutaj aż 72% powierzchni i są to przeważnie starodrzewy, często przeszło 100-letnie.

Zbiornik Konradowo

Charakterystyka zbiornika

Zbiornik Konradowo jest zbiornikiem energetycznym elektrowni wodnej Strzegomino, wybudowanej na Słupi w roku 1924 (tab. 1, rys. 1). Zespół budowli hydroenergetycznych składa się z elektrowni, kanału roboczego długości 960 m i zbiornika. Elektrownia Strzegomino została wyposażona w 3 turbiny Francisa, pracujące przy spadzie 12,1 m i przepływie równym 27 m³/s. Praca elektrowni, tak jak elektrowni Gałąźnia Mała i Krzynia, miała i ma do tej pory charakter szczytowy z wyrównaniem dobowym.

Konradowo jest zbiornikiem dolinowym, położonym w przełomowym, rynnowym odcinku doliny o stromych brzegach, powstałym przez zalanie istniejącej doliny, bez żadnych ingerencji technicznych w kształt jej dna. Zaporę zbiornika usytuowano poniżej rozszerzenia doliny, tworzącego w południowo-zachodnim zboczu rynny nieregularną, skierowaną na południe nieckę. Zbiornik powstał przez wybudowanie zapory ziemnej i spiętrzenie wód rzeki o 12,5 m. Według danych projektowych jego długość wynosi 9 km, powierzchnia 100 ha, pojemność całkowita 5,1 mln m³ (parametry dla lustra wody na rzędnej 50,6 m n.p.m.; tab. 2). W górnej partii zbiornika rynnowy charakter doliny jest mniej wyraźny, ponieważ zbocza doliny budują niewysokie i szerokie terasy sandrowe, gdzie rzeka mogła tworzyć do momentu zabudowy liczne zakola. Tak więc zbiornik w swej górnej części najwyraźniej nawiązuje do przebiegu koryta rzeki oraz kształtu równi zalewowej. Środkowy fragment zbiornika to stosunkowo długi, prosty odcinek szerokości od 25 m w najwęższej części do ok. 120 m przy przejściu do dolnego odcinka. Charakterystycznym elementem północno-wschodniego brzegu zbiornika są siedmiometrowe zbocza terasy sandrowej, w niektórych miejscach tworzące wyraźne krawędzie, natomiast brzeg południowo-zachodni stanowią krawędzie dwóch teras sandrowych: niższej 57 m n.p.m. i wyższej 72 m n.p.m., wznoszące się odpowiednio o około 7 m i 22 m nad poziom zbiornika. W dolnej, najszerszej jego części (maks. szer. 525 m) charakterystycznym elementem jest zróżnicowanie morfologiczne brzegów. Południowe brzegi tej części zbiornika są płaskie i zabagnione, natomiast północne tworzą stromo nachylone zbocza wysokości ponad 10 m i nachyleniu do 30°.

Tabela 2

Parametry morfometryczne zbiorników Konradowo i Krzynia na środkowej Słupi
 Morphological parameters of the Konradowo and Krzynia Reservoirs on Słupia's middle course

Nazwa zbiornika	Powierzchnia zbiornika (ha)			Długość zbiornika (m)		Szerokość zbiornika (m)		Pojemność (mln m ³)		Głębokość maksymalna projektowa (dla rzędnej m n.p.m.)	Głębokość maksymalna pomiarowa (rzędna m n.p.m.)	
	projektowa (dla rzędnej w m n.p.m.)	pomiarowa 2001 r. bez delty (dla rzędnej w m n.p.m.)	delta (dla rzędnej m n.p.m.)	projekto- wa – w linii nurtu (w tym delta)	projekto- wana – w osi doliny z delty	bez delty	minimalna (bez delty)	projekto- wana (dla rzędnej)	delta (szacunko- wo) (dla rzędnej)			
Konradowo	100 (50,60)	58,8 (50,30)	21,4 (50,60)	9 000 (2100)	5750 (1675)	4075	25,0	5,1 (50,60)	2,6 (50,30)	0,23	9,60 (41,00)	9,30 (41,00)
Krzynia	75,0 (38,00)	57,0 (37,80)	18,5 (38,00)	6 470 (1750)	3900 (1400)	2500	170,0	2,0 (38,00)	1,4 (37,80)	0,19	5,5 (32,50)	5,2 (32,6)

Źródło: Uproszczona dokumentacja... 1953 a, b; dane własne

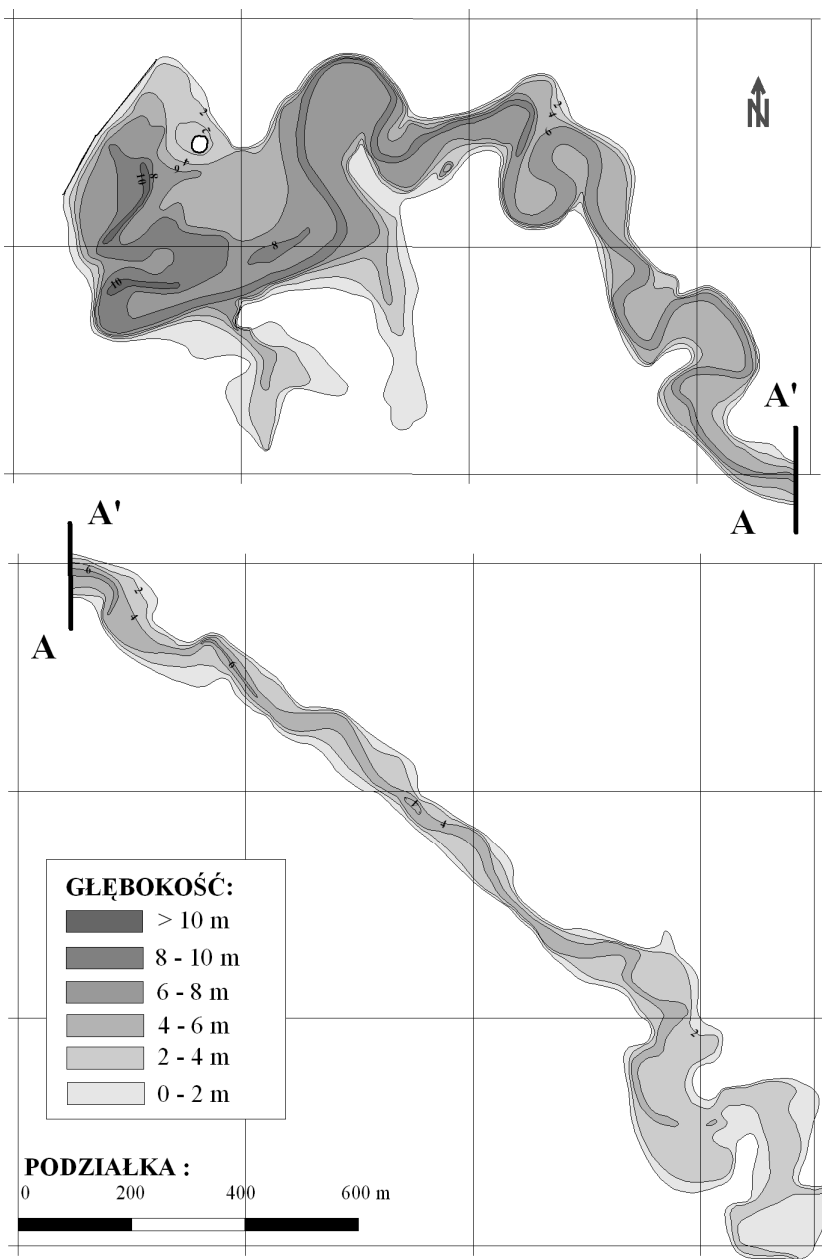
Batymetria i aktualna pojemność zbiornika Konradowo

Analizując elementy morfometryczne zbiornika (tab. 2), trzeba brać pod uwagę pewne różnice pomiędzy danymi technicznymi projektowymi a wartościami pochodzącymi z obecnych pomiarów. Dwa parametry wymagają szczególnych objaśnień – długość zbiornika i jego pojemność. Długość podawana w projekcie jest długością mierzoną według linii nurtu i wynosi 9000 m, natomiast aktualnie może być jedynie mierzona w osi doliny i taki pomiar daje wartość 5750 m, z czego 1675 m przypada na jego zaakumulowaną górną część i deltę. Stwierdzenie, że długość tej części stanowi 29,1% długości zbiornika, odnosi się do jego długości mierzonej wzdłuż osi doliny. Szerokość zbiornika zmienia się od 525 m w jego najokazalszej, dolnej części do zaledwie 25 m w najwęższej, środkowej części. Wartości te są wynikiem aktualnych pomiarów, natomiast archiwalne dane nie są znane.

Powierzchnia zbiornika podawana według danych projektowych wynosi 100 ha i obliczona została dla rzędnej maksymalnej 50,60 m n.p.m. Obecnie poziom wody w zbiorniku Konradowo regulowany jest pracą elektrowni Gałąźnia Mała – usytuowanej powyżej i elektrowni Krzynia – położonej poniżej, a utrzymywany niezmiennie na poziomie 50,30 m n.p.m. Aktualna, obliczona przez autorów powierzchnia zbiornika mierzona do rzędnej 50,30 m n.p.m. wynosi 58,8 ha. Powierzchni projektowej nie można porównywać bezpośrednio z powierzchnią aktualnie pomierzoną ze względu na inny poziom odniesienia. Powierzchnia pozostałej, górnej, całkowicie zasypanej części zbiornika, wraz z wynurzoną częścią delty Słupi wynosi 21,4 ha, co stanowi 21,4% jego pierwotnej powierzchni (tab. 2). Jest to wartość rzeczywista, ponieważ zbiornik funkcjonuje od ponad 80 lat bez wykonywania w nim jakichkolwiek prac zmierzających do usunięcia osadów. Średni roczny ubytek powierzchni w latach 1924-2005 wynosi 0,26 ha/rok, przy czym tempo jej zmniejszania się maleje w miarę upływu czasu, co związane jest z przesuwaniem się delty w głębsze partie zbiornika.

Pojemność projektowa zbiornika wynosi 5,1 mln m³ i obliczona została dla rzędnej lustra wody 50,60 m n.p.m. Pojemność aktualna obliczona dla rzędnej 50,30 m n.p.m. wynosi 2,6 mln m³. Ponieważ nie zachowały się plany projektowe, nie można tych dwóch wartości bezkrytycznie porównywać. Pojemność górnej, zasypanej części zbiornika wraz z wynurzoną częścią aktualnej delty oszacowano na 0,23 mln m³, co stanowi 4,5% jego pierwotnej pojemności.

Pomiary batymetryczne ukazują nam obraz zbiornika, w którym mimo ponad 80 lat eksploatacji zachował się charakter morfologiczny dna doliny Słupi. W górnej jego części i na obszarze delty wyraźnie widoczny jest przebieg dawnego koryta rzeki, z dobrze zachowanymi zakolami. Również w dolnej jego części topografia dna nawiązuje do pierwotnej rzeźby, ze skomplikowanym systemem dawnych meandrów rzecznych i fragmentami równi zalewowej (rys. 2). Największe głębokości zbiornika pokrywają się z przebiegiem koryta rzeki sprzed jej zalania, a profile echosondaży pokazują załomy wskazujące na przebieg koryta oraz wyjątkowo wyraźnie zachowane granice między korytem a równią zalewową. Głębokość zbiornika poniżej aktywnej delty zwiększa się na odległości 300 m od 0,5 m do 4,0 m, a do-



Rys. 2. Batymetria zbiornika Konradowo (bez delty)

Fig. 2. Bathymetry of the Konradowo Reservoir (without delta)

Źródło: opracowanie własne

piero pod koniec środkowej, przeszło 1,5-kilometrowej, najwęższej i wyprostowanej części zbiornika osiąga głębokość 6 m. W dolnej części zbiornika, przy głębokości poniżej 9,3 m, występują w dwóch fragmentach zakola dawnego koryta rzeki. Najpłystsze obszary są w dolnym rozszerzeniu zbiornika. Przy prawym brzegu, wokół niewielkiej wyspy porosłej starodrzewem oraz na obszarze między nią a brzegiem, głębokość maksymalna sięga 2 m. Przy lewym brzegu płytki fragment dna tworzy podwodny półwysep o głębokości nie przekraczającej 2 m, a dalej dwie duże zatoki tylko na niewielkich obszarach środkowych partii miejscami osiągają 4 m głębokości (tab. 2).

Akumulacja w zbiorniku Konradowo

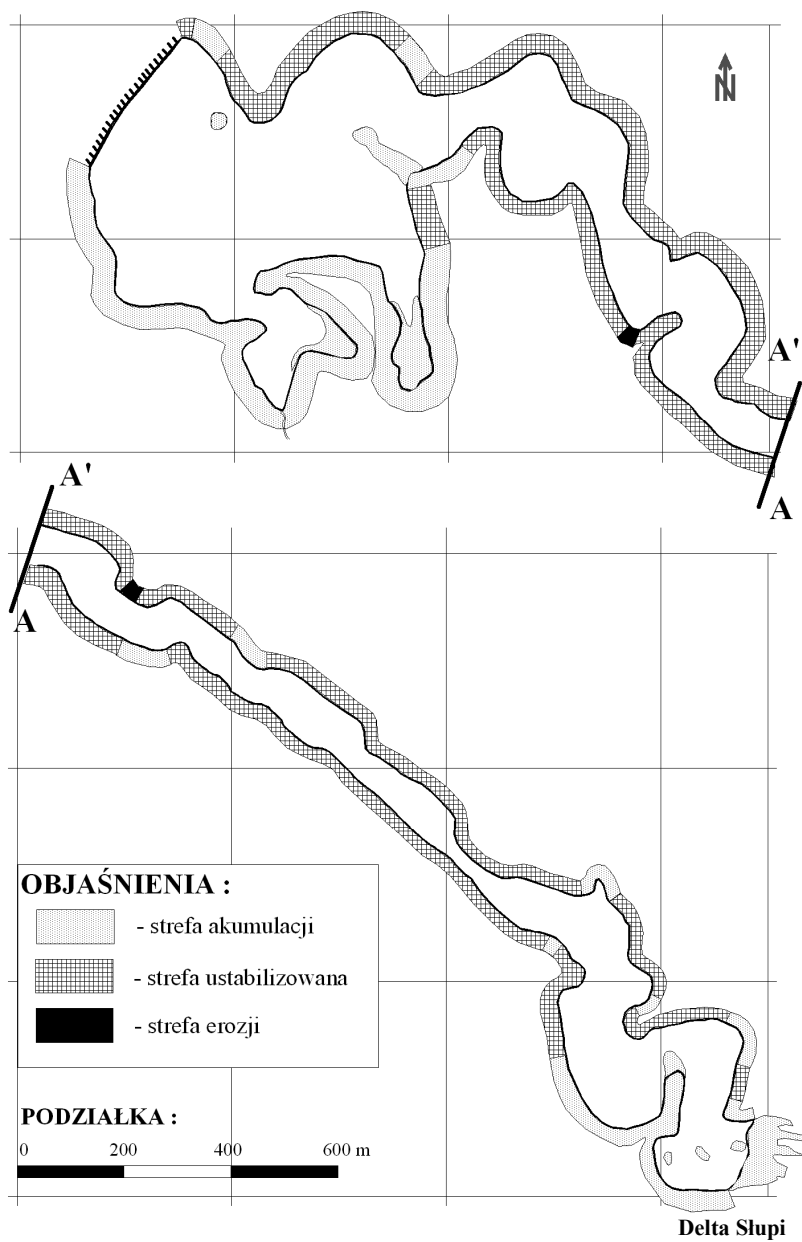
Wyniki pomiarów batymetrycznych zbiornika (rys. 2) wskazują, że procesem dominującym na jego obszarze jest akumulacja o różnym stopniu nasilenia. Potwierdzają to profile echosondaży, które również bardzo dokładnie określają jej przestrzenne zróżnicowanie.

W najwyższej części zbiornika nie wykształciła się klasyczna forma delty, ponieważ uniemożliwiła to niezmienną przed zalaniem morfologia dna doliny. Ten odcinek, długości około 600 m, charakteryzuje się tym, że koryto rzeki nie zmieniło swojego położenia, natomiast pierwotnie zalana (około 10-30 cm) część równi zalewowej została całkowicie przykryta osadami. Interpretacja obrazu tego obszaru na zdjęciach lotniczych wyraźnie pokazuje, że ta część zbiornika powróciła do stanu pierwotnego, a jedyną pozostałością jest nadbudowana terasa zalewowa, zarośnięta przez formacje drzewiaste, z bezpośrednio nad korytem trwale ukorzenioną roślinnością szuwarową.

Klasyczna forma delty jeziornej wykształciła się dopiero poniżej tego odcinka, w miejscu, gdzie występuje pierwsze większe rozszerzenie zbiornika. Długość całego zaakumulowanego odcinka, licząc w osi doliny, wynosi ok. 1675 m, a jego powierzchnia 21,4 ha. Problematyka związana z rozwojem delt w zbiornikach Konradowo i Krzynia została omówiona już wcześniej przez E. Florek (1997).

Środkowa część zbiornika charakteryzuje się twardym dnem, nawet z brukiem, bez śladów jakiegokolwiek akumulacji. Wyraźnie pokazują to charakterystyczne profile echosondaży (z niewielką amplitudą zapisu). Brak akumulacji spowodowany jest zwiększoną prędkością przepływu, co wynika ze znacznego przewężenia doliny w tym miejscu. Na odcinku około 1,5 km szerokość zbiornika wynosi od 25 m do maksymalnie 40 m.

Największe obszary akumulacji (rys. 2 i 3) obserwuje się w ujściowej, szerokiej części zbiornika. Są one, podobnie jak na obszarze delty, terenami akumulacji frakcji bardzo drobnoziarnistych, od piasków drobnoziarnistych do mułków. Skutki akumulacji takich osadów zaznaczają się na lewym brzegu zbiornika w postaci półwyspu, stanowiącego wewnętrzne wzniesienie w obrębie dawnego meandra. Tuż za nim, w dwóch dużych, ale stosunkowo wąskich zatokach rozmiary akumulacji są tak duże, że obecnie około 50% ich powierzchni to obszar o głębokości poniżej 1 m.



Rys. 3. Stan strefy brzegowej zbiornika Konradowo (bez delty)
 Fig. 3. Bank zone stage of the Konradowo Reservoir (without delta)
 Źródło: opracowanie własne

Akumulację tę wzmacnia i utrwała występująca tutaj roślinność podwodna i nadwodna. Tylko w jednej z zatok uchodzący tu niewielki ciek powoduje ciągły ruch wody i zwiększony przepływ. Drugi obszar akumulacji występuje w zatoce przy prawym brzegu zbiornika w cieniu i wokół leżącej tam wyspy. Tutaj, w przeciwieństwie do lewego brzegu, udział roślinności w akumulacji osadów jest niewielki i ogranicza się jedynie do partii przybrzeżnych.

Akumulacja transportowanego przez Słupię materiału odbywa się głównie w górnej części zbiornika i w delcie Słupi oraz w jego szerokiej, dolnej części. Na obecnym etapie badań akumulacja w tym zbiorniku ilościowo lepiej może być scharakteryzowana przez ubytek jego powierzchni niż przez ubytek pojemności.

Procesy brzegowe w zbiorniku Konradowo

Przedstawione w tej części pracy procesy brzegowe w zbiorniku Konradowo dotyczą jego części położonej poniżej delty Słupi (rys. 3). Biorąc pod uwagę charakter zachodzących tam procesów geomorfologicznych, wydzielono trzy rodzaje stref brzegowych:

- z dominacją procesów akumulacji,
- z dominacją procesów erozji,
- ustabilizowane.

Brzegi zbiornika Konradowo nawiązują do kształtu doliny – są wysokie, strome, o dużym kącie nachylenia. Tylko w rozszerzeniu jego ujściowej części lewy brzeg zachodnich zatok jest płaski i łagodnie wznosi się ponad dno doliny. Położone tam zatoki charakteryzują się brzegami niskimi, przy których dominują procesy akumulacji.

Prawy brzeg zbiornika na całej swojej długości jest wysoki, w niektórych miejscach tworząc wręcz formy krawędziowe. Mimo to ma on głównie charakter ustabilizowany, nie występują tutaj osuwiska, nie obserwuje się też skutków abrazji brzegów ani innych procesów erozyjnych. Tylko na pięciu niewielkich fragmentach tego odcinka brzegu występują nieduże obszary akumulacji przybrzeżnej, natomiast nie obserwuje się pływaczki porośniętych roślinnością. Na jednym, 20-metrowym odcinku, widoczne są niewielkie ślady erozji brzegowej.

Lewy brzeg zbiornika, aż do zatok w dolnym rozszerzeniu, to strefa stabilizacji brzegu. Strefy akumulacji występują tutaj jedynie w zatoczkach przy trzech niedużych półwyspach, a niewielka strefa erozji obejmuje inny fragment małej zatoczki. Natomiast zatoki na lewym brzegu dolnego, przyzaporowego fragmentu zbiornika są obszarem największej akumulacji. Występujące tu rozległe pływaczki pokryte są utrwalającą je roślinnością podwodną i szuwarami, co powoduje, że oprócz akumulacji najdrobniejszych frakcji mineralnych następuje tutaj wzmożone osadzanie materiału organicznego. Strefy akumulacji przy lewym brzegu są charakterystyczne dla około 28,1% jego długości (rys. 3).

W sumie strefy akumulacji stanowią 31,15% długości linii brzegowej zbiornika Konradowo, strefy ustabilizowane obejmują około 66,40% jej długości, przy czym zdecydowanie przeważają na prawym brzegu, a niewielkie strefy erozji występują

na 2,45% brzegu (tab. 3). Tak duża stabilizacja brzegów wynika z znacznej lesistości obszaru oraz utrudnionego dostępu do brzegów. Na stromych zboczach zbiornika Konradowo występuje liściasty starodrzew, wśród którego dominuje olsza czarna, porastająca brzegi aż do linii wody i sięgająca koronami do 3 m nad taflę wody. Świadectwem erozji jest niewielkie przesunięcie linii brzegowej prawego brzegu zbiornika, co – jak stwierdzono – jest wynikiem przesunięcia bocznego przebiegającego w tych miejscach na dnie koryta Słupi. Nie są to świeże ślady, ale świadczą o funkcjonowaniu meandrującego nurtu rzeki, mimo zalania obszaru wodami zbiornika. Jednym z elementów monitoringu zbiorników była obserwacja wpływu falowania w czasie zdarzeń ekstremalnych na procesy brzegowe, zwłaszcza na obszarach podatnych na erozję. Okazało się, że ze względu na prawie południkowe położenie zbiorników oraz dominację wiatrów z sektora zachodniego, ale głównie ze względu na prawie 100% zalesienie ich brzegów, falowanie na nich jest niewielkie i nie ma znaczenia dla procesów brzegowych. Dominujący wpływ na charakter procesów brzegowych w zbiorniku Konradowo ma więc nie stopień nachylenia zboczy doliny, ale porastająca je roślinność.

Tabela 3

Stan stref brzegowych (bez delty) zbiorników Konradowo i Krzynia
Bank zone stage (without delta) of the Konradowo and Krzynia Reservoirs

Zbiornik	Długość linii brzegowej w km			Stan strefy brzegowej podany w km i % długości linii brzegowej					
	brzeg prawy	brzeg lewy	razem	strefa erozji		strefa akumulacji		strefa stabilizacji	
				km	%	km	%	km	%
Konradowo	4,20	4,79	8,99	0,22	2,45	2,80	31,15	5,97	66,40
Krzynia	3,20	2,70	5,90	0,08	1,40	1,90	32,20	3,92	66,40

Źródło: dane własne

Wpływ pracy elektrowni Gałąźnia Mała i Strzegomino na przebieg procesów brzegowych w zbiorniku Konradowo

Praca elektrowni Strzegomino miała i ma do tej pory charakter szczytowy z wyrównaniem dobowym. Zbiornik Konradowo, oprócz wody Słupi wykorzystywanej przez elektrownię Gałąźnia Mała, jest zasilany wodami „starej Słupi” i jej lewo-brzeżnego dopływu – Kamienicy. Dzięki temu podczas pracy elektrowni nie zachodzi konieczność obniżania lustra wody aż do minimalnej rzędnej piętrzenia. Z kolei zbieżność wartości minimalnej rzędnej lustra wody w cofce zbiornika elektrowni Krzynia z minimalną wartością rzędnej lustra wody w kanale odpływowym elektrowni Strzegomino powoduje, że nie ma potrzeby stałego przepuszczania przez urządzenia piętrzące tej elektrowni tzw. przepływu nienaruszalnego.

Pomierzone wahania poziomu lustra wody w czasie pracy elektrowni Strzegomino, przy szczytowym przepływie, maksymalnie sięgają około 0,20 m w ciągu doby. Przedstawione powyżej wyniki badań dowodzą, że brzegi zbiornika nie wykazują negatywnych zmian spowodowanych tymi wahaniami. Spadek lub wzrost poziomu lustra wody nie odbywa się gwałtownie, a brzegi zbiornika utrwalone na samych krawędziach roślinnością trawiastą doskonale znoszą te zmiany.

Zbiornik Krzynia

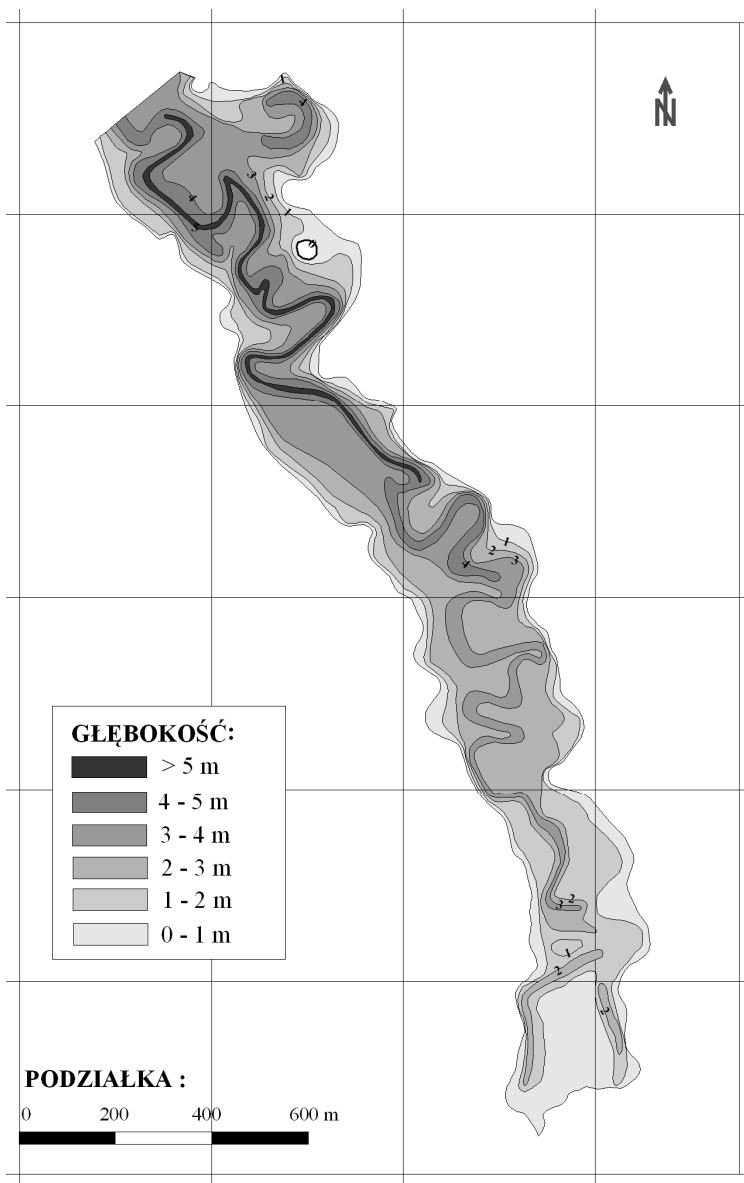
Charakterystyka zbiornika

Elektrownię Krzynia wybudowano w latach 1925-1926 i oddano do użytku jako ostatnią w kaskadowym systemie elektrowni (rys. 1) należących do zespołu „Glambocksee”. Zainstalowano w niej dwie turbiny Francisa, pracujące przy spadzie 7,0 m i przepływie 17,2 m³/s (tab. 1). Usytuowanie zapory zbiornika Krzynia zaprojektowano poniżej niewielkiego rozszerzenia doliny rzecznej, gdzie przez wzniesienie zapory ziemnej spiętrzone wody Słupi o 7,0 m i utworzono na rzędnej lustra wody 38,0 m n.p.m. zbiornik o zasięgu cofki 6470 m. Cofka sięga poziomu dolnej wody elektrowni Strzegomino (rys. 1). Zbiornik elektrowni Krzynia powstał jako zbiornik dolinny na tym samym odcinku doliny rzeki, co wyżej leżący zbiornik Konradowo. Dolina Słupi ma również tutaj charakter przelomowy, o rynnowych założeniach, ale jej zbocza są wyższe i mają większe nachylenia. Słupia przecina wzniesienia moren czołowych akumulacyjnych, które w kulminacjach tuż na zachód od zbiornika Krzynia sięgają około 150 m n.p.m. W górnej części zbiornika obydwa zbocza doliny są strome, ale nie tworzą wyraźnych krawędzi. W partii środkowej i dolnej wschodni, prawy brzeg zbiornika to albo przeszło trzydziestometrowe krawędzie, albo strome zbocza o nachyleniu miejscami do 35°. Brzegi zachodnie w środkowej jego części tworzą krawędzie wysokości około 10 m, natomiast w części dolnej krawędzie i strome zbocza wznoszą się na ponad 20 m nad lustro wody.

Batymetria i aktualna pojemność zbiornika Krzynia

Kształt zbiornika Krzynia jest bardziej zwarty aniżeli zbiornika Konradowo (rys. 4, tab. 2), gdyż przy długości 6470 m jego maksymalna szerokość wynosi 500 m, a minimalna 170 m. Długość 6470 m jest podawana w dokumentacjach projektowych. Została ona policzona wzdłuż linii nurtu rzeki Słupi. Aktualna długość zbiornika, pomierzona wzdłuż osi doliny, wynosi 3900 m, w tym długość górnej, zaakumulowanej części i delty – 1400 m.

Powierzchnia projektowa zbiornika Krzynia obliczona dla rzędnej 38,0 m n.p.m. wynosi 75 ha. Powierzchnia wyliczona w trakcie przeprowadzanych przez autorów pomiarów batymetrycznych i pomiarów linii brzegowej wynosiła 57,0 ha i jest powierzchnią dla rzędnej pomiarowej 37,8 m n.p.m. Aktualna powierzchnia delty wynosi 18,5 ha, co stanowi 24,7% pierwotnej powierzchni zbiornika. Tempo jej ubytku



Rys. 4. Batymetria zbiornika Krzynia (bez delty)
 Fig. 4. Bathymetry of the Krzynia Reservoir (without delta)
 Źródło: opracowanie własne

z roku na rok nieznacznie maleje, ze względu na wkraczanie delty na coraz głębsze obszary zbiornika.

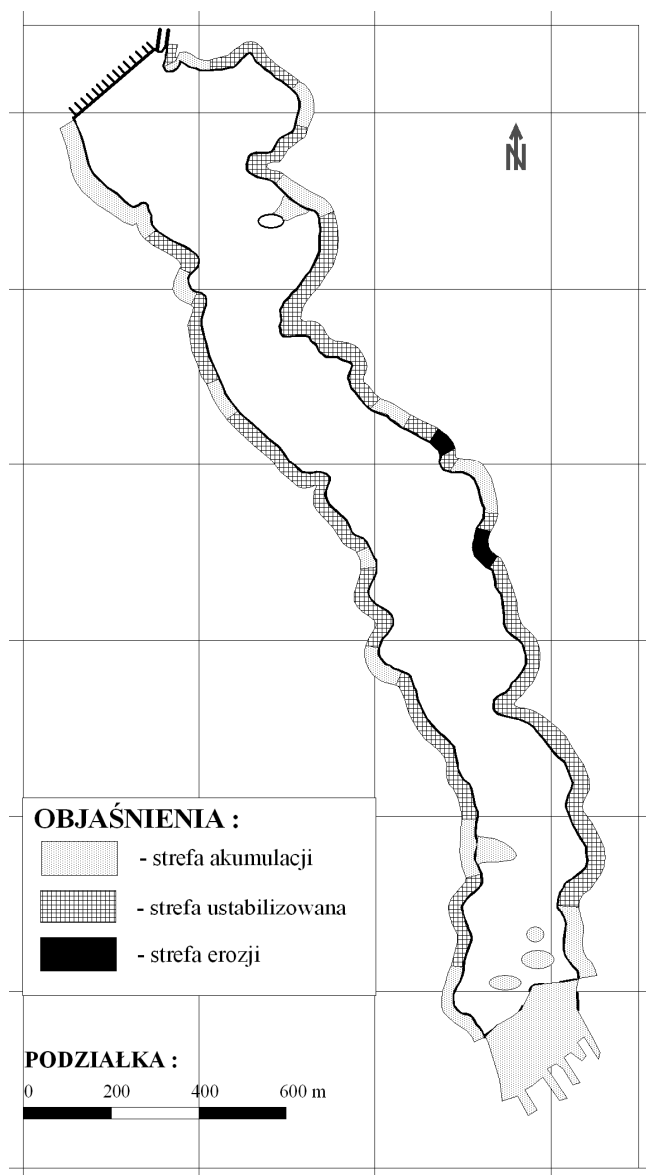
Projektowa pojemność zbiornika Krzynia określona została na 2 mln m³ i obliczona dla rzędnej 38,0 m n.p.m. Dzisiejsza jego pojemność, obliczona na podstawie pomiarów batymetrycznych, dla rzędnej lustra wody 37,8 m n.p.m. wynosi 1,4 mln m³. Pojemność osadów delty oszacowano na 0,19 mln m³.

Profile wykonane w czasie echosondaży pokazują wyraźnie ukształtowanie dna. W tym zbiorniku, tak jak i w wyżej leżących zbiornikach, zachowana została rzeźba dna doliny sprzed jej zalania. Wyraźnie widać dawny przebieg i meandry koryta Słupi. Najpłytsza partia zbiornika, położona poniżej delty, ma długość ok. 650 m i głębokość od 1,0 do 2,0 m. Jedynie w dawnym korycie rzeki i na wąskich fragmentach dawnej równi zalewowej głębokość przekracza 3,0 m. Charakterystyczną cechą tego fragmentu jest mniej czytelny przebieg dawnego koryta rzeki niż na pozostałej części dna. Głębokość w środkowej i dolnej partii zbiornika wzrasta, tuż przy brzegach osiągając wartości poniżej 2,0 m, a przebieg koryta jest dobrze widoczny w profilu dna. W dolnej, szerszej partii zbiornika nieznacznie zwiększa się przybrzeżny obszar o głębokości do 2,0 m, natomiast głębokość w dawnym korycie przekracza wartość 5,0 m. Głębokość w tej części zbiornika od czasów jego uruchomienia nie zmieniła się istotnie, ponieważ maksymalna projektowa dla rzędnej 38,0 m n.p.m. wynosiła 5,5 m, a dzisiaj dla rzędnej 37,8 m n.p.m. wynosi 5,2 m.

Akumulacja w zbiorniku Krzynia

Wypełnienie osadami zbiornika jest podobne do wypełnienia w wyżej leżących zbiornikach, natomiast intensywność procesu akumulacji jest zdecydowanie mniejsza. W tym zbiorniku również powstała i funkcjonuje delta. Całkowitemu zaakumulowaniu uległ górny, liczący 700 m odcinek, łączący się z niżej położoną, szerszą częścią zbiornika przewężonym zakolem w kształcie litery „S”. Do tego miejsca rzeka zasypała swoimi osadami dawną równię zalewową i wyprostowała swój bieg, odcinając bardzo silnie wygięty lewobrzeżny meander i drugi o większym łuku, prawobrzeżny. Niżej, w rozszerzeniu zbiornika występuje coraz bardziej rozrastająca się, aktywna część delty. Starsza część delty utrwalona jest roślinnością drzewiastą i krzewiastą. Na część aktywną delty wkracza roślinność szuwarowa, porastająca formy wynurzone. Delta zajmuje obecnie 24,7% pierwotnej powierzchni zbiornika. Udział ten jest prawie analogiczny do powierzchni delty w zbiorniku Konradowo, a o wielkości i charakterze akumulacji w górnych jego partiach decyduje nie tylko ilość niesionego i osadzanego materiału, ale również ukształtowanie tej jego części.

Akumulacja w zbiorniku Krzynia nie jest duża, zwłaszcza że znaczna większość materiału o grubszych frakcjach osadza się w wyżej położonych zbiornikach. Widać to wyraźnie, gdy porówna się akumulację w dolnych, szerszych partiach zbiorników Krzynia i Konradowo (rys. 2, rys. 4). W zbiorniku Krzynia akumulacja występuje tylko lokalnie, przy wypłyleniach brzegowych, nie zmieniając zasadniczo charakteru brzegu, i towarzyszy jej ograniczona sukcesja roślinności. Obszary akumulacji to: niewielki obszar położony wzdłuż obu brzegów tuż poniżej delty, drugi – w środkowo-



Rys. 5. Stan strefy brzegowej zbiornika Krzynia (bez delty)

Fig. 5. Bank zone stage of the Krzynia Reservoir (without delta)

Źródło: opracowanie własne

wej partii zbiornika, w głębi zatok, na obu jego brzegach oraz trzeci – w rozszerzeniu ujściowym, przy lewym brzegu. Na dwóch obszarach obserwuje się zwiększoną akumulację przy znacznym udziale roślinności pod- i nadwodnej. Są to: teren wokół wyspy leżącej około 0,5 km w górę zbiornika oraz płycizna położona około 300 m poniżej delty, stanowiąca dawną wewnętrzną część zakola rzeki.

Procesy brzegowe w zbiorniku Krzynia

Brzegi zbiornika Krzynia, podobnie jak Konradowo, charakteryzują się dużym stopniem nachylenia. Zbocza doliny Słupi są tutaj nie tylko strome i wysokie, ale wszędzie porośnięte roślinnością drzewiastą, dobrze utrzymanym starodrzewem, który schodzi aż do samej linii brzegowej. Linie tę utrwalają również formacje roślinności trawiastej, dobrze ukorzenionej i niewydeptanej. Dlatego, oprócz omówionej w poprzednim rozdziale delty, linia brzegowa zbiornika w widoczny sposób nie zmienia się. Brzegi ustabilizowane i nie wykazujące żadnych zmian stanowią 66,4% (rys. 5, tab. 3). Na całej długości linii brzegowej zaobserwowano jedynie ślady erozji (0,08 km). Na obu brzegach zbiornika nie ma również zboczy odsłoniętych, pozabawionych roślinności, a więc podatnych na procesy osuwiskowe. Jedynym świadectwem erozji jest przesunięcie linii brzegowej w głąb dwóch niewielkich zatoczek, co jest przejawem przesunięcia bocznego przebiegających w tych miejscach zakoli koryta Słupi. Nie są to świeże ślady, ale świadczą o funkcjonowaniu meandrującego nurtu rzeki, mimo zalania obszaru wodami zbiornika.

Skutki akumulacji (dwóch typów) obserwuje się na 32,2% długości linii brzegowej. Pierwszy jej rodzaj występuje na obszarach osadzania się drobnych frakcji mineralnych w przybrzeżnej, najpłytszej partii zbiornika, gdzie akumulacja ta odbywa się z niewielkim udziałem roślinności i polega na nadbudowie dna i brzegu detrytusem roślinnym. Fragmentaryczne ślady starszej akumulacji występują w dolnej części lewego brzegu zbiornika, w postaci niewielkich stożków napływowych, utworzonych u wylotu kilku dolinek rozcinających zbocza wysoczyzny morenowej. Nadwodne powierzchnie stożków są dzisiaj trwale umocnione roślinnością, a podwodne zostały częściowo rozmyte.

Wpływ pracy elektrowni Strzegomino i Krzynia na przebieg procesów brzegowych w zbiorniku Krzynia

Pomiary stanu wody na wybranych stanowiskach wzdłuż zbiornika Krzynia podczas dnia pracy elektrowni, z uwzględnieniem pracy elektrowni Strzegomino, pozwoliły określić wpływ jej pracy na charakter procesów brzegowych. Wartość minimalnej rzędnej lustra wody w cofce zbiornika Krzynia jest zgodna z minimalną wartością rzędnej lustra wody w kanale odpływowym elektrowni Strzegomino. Przy pracy w szczycie elektrowni Krzynia i przy równoczesnej pracy elektrowni Strzegomino nie następuje obniżanie, a wzrost poziomu lustra wody w zbiorniku Krzynia o 11 do maksymalnie 15 cm. Elektrownia Strzegomino między szczytami nie pracuje, ale nie oznacza to całkowitego braku zasilania zbiornika Krzynia, bowiem jest on

również zasilany dwoma strumieniami o przepływie od 0,5 do 1,5 m³/s, co dodatkowo równoważy odpływ nienaruszalny ze zbiornika Krzynia, który musi być utrzymywany w czasie pomiędzy szczytami, gdy elektrownia nie pracuje. Praca obu elektrowni jest tak zsynchronizowana, że wzrost i spadek poziomu lustra wody w zbiorniku odbywa się na tyle wolno, że nie wpływa negatywnie na stan jego brzegów.

Dyskusja

Przegradzanie koryt rzecznych zaporami i tworzenie zbiorników wodnych sprzyja powstawaniu lokalnych basenów sedimentacyjnych, znacznie modyfikujących bilans procesów fluwialnych. Zbiorniki takie zwykle dzielą się na dwie części: górną, spłyconą, będącą efektem rozwoju delty, oraz dolną, głębszą, w której bardzo długo zachowuje się rzeźba dna doliny rzecznej sprzed jej zalania. Zbiorniki utworzone na obszarach górskich, podgórskich i w dolinach bardzo dużych rzek charakteryzują się szybkim rozwojem delt (Chomiak i in. 1969, E. Florek 1983, Banach 1994, Rzętała 2005), podczas gdy delty w małych zbiornikach nizinnych rozwijają się dość wolno (Rachocki 1974). Położenie geograficzne zbiorników Krzynia i Konradowo, kształt ich mis oraz tempo przebiegających w nich procesów morfotwórczych sytuuje je w tej drugiej grupie (rys. 2 i 4), co – gdy weźmiemy pod uwagę ich wiek – pośrednio potwierdza niewielkie natężenie transportu gruboziarnistego rumowiska w korycie Słupi (por. E. Florek, W. Florek 1989) i upodobnia je do innych zbiorników dolinnych na obszarze Pojezierzy i Pobrzeży Południowobałtyckich (Rachocki 1974, Hesse 1999).

Analiza brzegów zbiorników wodnych Konradowo i Krzynia wskazuje, że obecnie stanowią one relatywnie stabilny element środowiska doliny Słupi. Ponad 66% długości linii brzegowej to strefy ustabilizowane, przeszło 31% (Konradowo) i 32% (Krzynia) brzegów to strefy z niewielką akumulacją, a zjawisko erozji brzegów właściwie nie występuje, bo dotyczy jedynie 1-2% długości linii brzegowej (rys. 3 i 5, tab. 3). O takim właśnie przebiegu zdarzeń w dużej mierze zadecydowało zapewne pozostawienie na dnie zbiorników naturalnej doliny oraz fakt ich położenia na obszarach o dużej lesistości, trudno dostępnych i o małym zaludnieniu. Brzegi zbiorników porasta, najczęściej aż do linii wody, 50-letni, a nawet 100-letni bór mieszany bądź gęsty las, z bogatym podszyciem i runem, doskonale utrwalający także silnie nachylone stoki.

Również falowanie i zmienność poziomów wody w przypadku badanych zbiorników nie odgrywają istotnej roli. Rynnowy charakter doliny środkowej Słupi i prawie południkowy jej przebieg powodują niedostępność zbiorników dla przeważających na tym obszarze zachodnich wiatrów, a w konsekwencji tylko niewielkie falowanie i brak form brzegowych tworzonych pod jego wpływem. Tym samym obecność gruboziarnistej domieszki w osadach na dnie zbiorników nie powinna być zdaniem autorów przypisywana abrazji ich brzegów, podobnie jak występowanie nieregularnych przybrzeżnych płycizn, tak jak to widzieli w odniesieniu do zbiornika Krzynia M. Banach i I. Chlost (2005). Wahania poziomu zwierciadła wody w zbiornikach związane z charakterem pracy elektrowni na środkowej Słupi są niewielkie, maksymalnie do 0,2 m, a wzrost i spadek poziomu lustra wody przebiega wolno

i równomiernie. Stąd brak reakcji brzegów zbiorników na ten ruch. Zbocza utrwalone roślinnością trawiastą i dobrze ukorzoną roślinnością wilgociolubną nie wykazują negatywnych zmian wywołanych ruchem wody.

Biorąc pod uwagę wiek zbiorników Konradowo i Krzynia (ponad 80 lat) oraz wiek drzew rosnących na linii brzegowej, należy stwierdzić, że o dzisiejszym kształcie brzegów obu zbiorników zadecydowały zdarzenia geologiczne z pierwszych 20 lat ich istnienia. Można więc powiedzieć, że czas dostosowywania się brzegów do zmienionych warunków środowiskowych był bardzo krótki, według S. A. Schumma i R. W. Lichty'ego (1965) mieszczący się w dolnym przedziale czasu przyjętego przez nich dla skali średniej (10-1000 lat). Ta skala czasu została uznana za właściwą do kształtowania się stabilnych form i układów rzecznych również przez K.S. Richardsa (1985) i S. Kozarskiego (1986).

Można więc stwierdzić, że w przypadku zbiorników Konradowo i Krzynia rozmieszczenie stref akumulacji, erozji i stabilizacji na ich brzegach, a także niewielka intensywność przebiegających procesów wskazują na osiągnięcie przez geosystem strefy brzegowej stanu dynamicznej równowagi.

Literatura

- Banach M., 1994, *Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN nr 161
- Banach M., Chlost I., 2005, *Zbiornik Krzynia jako basen sedymentacyjny rzeki Słupi. W: Współczesna rzeźba Polski*, red. A. Kotarba, K. Krzemień, J. Święchowicz, Kraków, s. 27-32
- Chomiak T., Cyberski J., Mikulski Z., 1969, *Akumulacja rumowiska rzecznego w zbiornikach retencyjnych (Wyniki prac polskiej służby hydrologicznej w latach 1957-1966)*, Biuletyn PIHM 12
- Florek E., 1983, *Wpływ zabudowy hydrotechnicznej na przebieg i bilans procesów fluwialnych na przykładzie dolnego Bobru*, Przegląd Geograficzny, t. LV, nr 1, s. 63-89
- Florek E., 1995, *Rozwój zabudowy hydrotechnicznej Słupi*, Słupskie Prace Matematyczno-Przyrodnicze 10c, s. 3-22
- Florek E., 1997, *Akumulacja w zbiornikach Krzynia i Konradowo na Słupi w świetle analizy zdjęć lotniczych. W: Geologia i geomorfologia Pobrzeża i południowego Bałtyku 3*, red. W. Florek, Słupsk, s. 49-61
- Florek E., Florek W., 1989, *Cechy hydrologiczne Słupi a osady budujące koryto*, Kwartalnik AG-H, Geologia 15, 1-2, s. 15-33
- Florek W., 1989, *Późnovistuliańska i holocenska ewolucja doliny Słupi*, Kwartalnik AG-H, Geologia 15, 1-2, s. 158-199
- Hesse T., 1999, *Zbiorniki zaporowe Radwi – stan poznania i zagrożenia. W: Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych 2*, red. A. Kostrzewski, Poznań, s. 75-79
- Kondracki J., 1978, *Geografia fizyczna Polski*, Warszawa
- Kondracki J., 1998, *Geografia regionalna Polski*, Warszawa
- Kozarski S., 1986, *Skale czasu a rytm zdarzeń geomorfologicznych vistulianu na Niziu Polskim*, Czasopismo Geograficzne 57, 2, s. 247-270
- Orłowski A., 1989, *Morfologia doliny Słupi na tle przylegających do niej obszarów*, Kwartalnik AG-H, Geologia 15, 1-2, s. 48-61

- Rachocki A., 1974, *Przebieg i natężenie współczesnych procesów rzecznych w korycie Raduni*, Dokumentacja Geograficzna IG PAN 4
- Richards K.S., 1985, *Rivers – form and process in alluvial channels*, Methuen, London-New York
- Rzętała M.A., 2005, *Procesy i formy brzegowe jako indykator przemian morfologicznych w strefie litoralnej zbiorników wodnych (na przykładzie Wyżyny Śląskiej)*. W: *Środowisko przyrodnicze wobec zagrożeń antropogenicznych*, red. T. Szczypek, Sosnowiec, s. 109-114
- Schumm S.A., Lichty R.W., 1965, *Time, space and casuality in geomorphology*, American Journal of Science 263
- Uproszczona dokumentacja techniczna dla odtworzenia wpisu do Księgi Wodnej praw piętrzenia i użytkowania wody rzeki Słupi przez elektrownię wodną Konradowo, 28 X 1953. Słupsk 1953a
- Uproszczona dokumentacja techniczna dla odtworzenia wpisu do Księgi Wodnej praw piętrzenia i użytkowania wody rzeki Słupi przez elektrownię wodną Krzemień, 30 XI 1953. Słupsk 1953b

Summary

The authors made bathymetric maps of Konradowo and Krzynia reservoirs on middle Słupia River course and mapped shore zones those reservoirs.

To localize measure points Navstar GPS made by French company MLR Electronique, type FX412 was used. Sonar Bathy 500MF was used for measuring depth. From year 2001 to 2005 chosen places and field objects were controlled and whole works was completed by photographs.

It was discovered, that deltas in those reservoirs develop quite slowly, what as for as its age is concerned, indirectly proves small intensity (fig. 2 and 4) of coarse-grained load transport in Słupia channel (E. Florek, W. Florek 1989) and makes it similar to other valley reservoirs in the area of South Baltic Coastland and Lakeland (Rachocki 1974, Hesse 1999).

The analysis of shore zones Konradowo and Krzynia reservoirs indicates that now they make relatively stable part of Słupia valley environment. More than 66% reservoir coastline now is stable (fig. 3 and 5), which was mostly caused by leaving the natural relief of valley in the moment its flooding, and the reservoirs situated in area afforested in great part, hardly accessible, of low population density.

What is more also waving and changeability of water level in this do not play big role which is an effect of small size of observed reservoirs and its localization in deep valley, nearly perpendicularly to direction of the majority of winds. As well fluctuation of water surface in reservoirs is connected with the type of power plant work on middle Słupia course are not very big, max. to 0.2 m, and growth and fall of water surface level are quite slow. That is the reason of lack of reservoir shore reaction.

The time of existence of Konradowo and Krzynia reservoirs (over 80 years), the observations and documents from that period show that about nowadays shape of both reservoirs shores had decided geological events from 20 first years of its existence. So it can be said, that the time of reservoir shore adjustment to changed environmental features was extremely short, according to S.A. Schumm and R.W. Lichty (1965) proposal contained in lower period which was accepted by them for average scale (10-1000 years).

To recap, we can say that as for as Konradowo and Krzynia reservoirs are concerned and arrangement of accumulation, erosion and stabilization zones on reservoir zones and also not very big intensity of processes indicates gaining an equilibrium by geoecosystem of reservoirs shore zones.