

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

Halina Grobelska

**EWOLUCJA STREFY BRZEGOWEJ
ZBIORNIKA PAKOSKIEGO
(POJEZIERZE GNIEŹNIEŃSKIE)**



Warszawa 2006

PRACE GEOGRAFICZNE IGiPZ PAN

186. Soja R., *Hydrologiczne aspekty antropopresji w polskich Karpatach*, 2002, s. 130, 24 il., 12 tab.
187. Kulikowski R., *Syntezytyczne metody badań produktywności i towarowości rolnictwa*, 2003, s. 152, 42 il.
188. Błażejczyk K., Krawczyk B., Kuchcik M. (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, 2003, s. 316, 93 il., 37 tab.
189. Kotarba A. (red.), *Holocene and late vistulian paleogeography and paleohydrology*, 2003, s. 298, 94 il., 3 tab., 9 fot.
190. Komorniki T., *Przestrzenne zróżnicowanie międzynarodowych powiązań społeczno-gospodarczych w Polsce*, 2003, s. 256, 90 il., 11 tab., 3 zał.
191. Starkel L., Singh S. (red.), *Rainfall, runoff and soil erosion in the globally extreme humid area, Cherrapunji Region, India*, 2004, s. 116, 30 il., 16 tab., 12 fot.
192. Błażejczyk K., *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, 2004, s. 292, 106 il., 53 tab., 2 zał.
193. Gębica P., *Przebieg akumulacji rzecznej w górnym vistulianie w Kotlinie Sandomierskiej*, 2004, s. 230, 39 il., 4 tab., 8 fot.
194. Lamparski P., *Formy i osady czwartorzędowe w świetle badań georadarowych*, 2004, s. 116, 62 il., 10 tab.
195. Więckowski M., *Przyrodnicze uwarunkowania kształtowania się polsko-słowackich więzi transgranicznych*, 2004, s. 232, 42 il., 39 tab.
196. Śleszyński P., *Kształtowanie się zachodniej części centrum Warszawy*, 2004, s. 332 + 1 zał., 72 il., 63 tab.
197. Kotarba A. (red.), *Rola malej epoki lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr*, 2004, s. 116, 33 il., 3 tab., 9 fot.
198. Korcelli-Olejniczak E., *Funkcje metropolitalne Berlina i Warszawy w latach 1990–2002. Współzależność pozycji w systemie miast Europy Środkowej*, 2004, s. 226, 11 il., 28 tab.
199. Roo-Zielińska E., *Fitoindykacja jako narzędzie oceny środowiska fizyczno-geograficznego. Podstawy teoretyczne i analiza porównawcza stosowanych metod*, 2004, s. 258, 65 il., 67 tab.
200. Mirosław Błaszkiwicz, Piotr Gierszewski (red.), *Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych*, 2005, s. 395 + 6, 100 il., 21 tab., 32 fot.
201. Mirosław Błaszkiwicz, *Późnoglacialna i wczesnoholocenińska ewolucja obniżen jeziornych na pojezierzu Kociewskim (wschodnia część Pomorza)*, 2005, s. 192, 29 il., 2 tab., 18 fot.
202. Alina Potrykowska (red.), *Population and the environment*, 2005, s. 245, 23 il., 45 tab.
203. Wioletta Kamińska, *Pozarolnicza indywidualna działalność gospodarcza w Polsce w latach 1988–2003*, 2006, s. 236, 45 il., 43 tab.
204. Tomasz Kalicki, *Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenijskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich*, 2006, s. 348, 82 il., 10 fot.

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 205

GEOGRAPHICAL STUDIES

No. 205

THE EVOLUTION OF THE PAKOŚĆ RESERVOIR SHORE ZONE
(GNIEZNO LAKELAND)

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 205

Halina Grobelska

EWOLUCJA STREFY BRZEGOWEJ
ZBIORNIKA PAKOSKIEGO
(POJEZIERZE GNIEŹNIEŃSKIE)



WARSZAWA 2006

<http://rcin.org.pl>

KOMITET REDAKCYJNY

REDAKTOR: Grzegorz Węclawowicz
CZŁONKOWIE: Jerzy Grzeszczak, Barbara Krawczyk,
Jan Matuszkiewicz, Jerzy Parysek

RADA REDAKCYJNA

Bolesław Domański, Adam Kotarba, Jan Łoboda,
Andrzej Richling, Jan S. Kowalski, Andrzej Lisowski,
Eamonn Judge, Lydia Coudroy

RECENZENCI TOMU

Adam Kotarba, Andrzej Kostrzewski

Publikacja dofinansowana przez Urząd Marszałkowski
Województwa Kujawsko–Pomorskiego

ADRES REDAKCJI:

Dział Wydawnictw IGiPZ PAN
ul. Twarda 51/55, 00–818 Warszawa
· e-mail: e.janko@twarda.pan.pl

Opracowanie redakcyjne i techniczne: Ewa Jankowska
Zdjęcie na okładce: Halina Grobelska

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa 2006

PL ISSN 0373–6547
ISBN 83–87954–76–4

Łamanie wykonano w Dziale Wydawnictw IGiPZ PAN, ul. Twarda 51/55, 00–818 Warszawa
Druk: Drukarnia KLIMIUK, ul. Foksal 11, 00–372 Warszawa; e-mail: drukarnia@klimiuk.com.pl

SPIS TREŚCI

The evolution of the Pakość Reservoir shore zone (Gniezno Lakeland)	2
1. WSTĘP	7
1.1. Wprowadzenie	7
1.2. Cel, zakres i metody pracy	11
2. CHARAKTERYSTYKA FIZJOGRAFICZNA ZBIORNIKA PAKOSKIEGO I JEGO NAJBLIŻSZEGO OTOCZENIA	15
2.1. Zadania i funkcje gospodarcze zbiornika	15
2.2. Budowa geologiczna	18
2.3. Geomorfologia otoczenia zbiornika i jej wpływ na strefę brzegową	20
2.4. Warunki klimatyczne	22
2.5. Charakterystyka morfometryczna zbiornika	24
2.6. Wahania stanów wody i przebieg zjawisk lodowych	25
3. PRZEKSZTAŁCENIA STREFY BRZEGOWEJ JEZIOR PAKOSKICH W CZASACH HISTORYCZNYCH ORAZ WSPÓLCZEŚNIE W WYNIKU DOKONANEGO SPIĘTRZENIA	35
4. TYPOLOGIA BRZEGÓW ZBIORNIKA PAKOSKIEGO	39
5. PLATFORMA PRZYBRZEŻNA	45
5.1. Rozwój platformy przybrzeżnej	46
5.2. Parametry i morfometria	49
5.3. Rozkład i zmienność granulometryczna osadów	59
5.4. Zmienność morfologiczno-litologiczna platformy przybrzeżnej	72
6. BRZEG ABRAZYJNY	75
6.1. Mechanizm rozwoju brzegu abrazyjnego	75
6.2. Tempo zachodzących procesów	82
6.3. Wpływ procesów mrozowych i zjawisk lodowych	84
7. FORMY AKUMULACYJNE	87
7.1. Formy przystające	89
7.2. Formy swobodne	96
7.3. Formy zamykające	102
8. PODSUMOWANIE	105
The evolution of the Pakość Reservoir shore zone (Gniezno Lakeland) – <i>Summary</i>	115

1. WSTĘP

1.1. WPROWADZENIE

Rozwój stref brzegowych średniej i małej wielkości zbiorników retencyjnych, położonych na obszarach nizinnych jest słabo rozpoznany. Dotychczas uwaga badaczy zajmujących się strefami brzegowymi akwenów śródlądowych koncentrowała się głównie wokół zbiorników dużych i bardzo dużych, o pojemności przekraczającej setki milionów metrów sześciennych i powierzchni kilkuset kilometrów kwadratowych. Skala zachodzących tam przekształceń często przybiera bardzo duże, wręcz katastrofalne rozmiary, a ich efekty są bardzo dokuczliwe dla człowieka (Lambor 1962; Banach 1988, 1992, 1997; Finarov 1986; Ovčinnikov i in. 1992; Spanilá, Simeonova 1993; Ovčinnikov 1996, 2003; Horský, Spanilá 1997). Obiekty mniejsze, o powierzchni kilku kilometrów kwadratowych, łatwiej wpisują się w naturalne środowisko przyrodnicze, a małe tempo przekształceń w obrębie strefy brzegowej nie wzbudza większego zainteresowania badaczy. Nie możemy jednak zapominać, iż to właśnie te obiekty stanowią zdecydowaną większość z ponad 60 tys. zbiorników istniejących obecnie na świecie (Avakian 1998; Avakian, Liebedieva 2002; Avakian i in. 1987; Babiński 2002). Akweny te, odgrywają istotną rolę w systemie zarządzania zasobami wodnymi, szczególnie w obszarach o ich małych zasobach i jednocześnie wysokim poziomie zagospodarowania terenu. Do obszarów takich należy również Polska. Ze 110 istniejących w naszym kraju sztucznych zbiorników wodnych, blisko 100 to akweny małe i bardzo małe, o pojemności nie przekraczającej 100 mln m³ (GUS 1997, 2000). Szacowane na 61 km³ zasoby wodne naszego kraju, w tym zasoby dyspozycyjne oceniane na 24,4 km³, lokują nas w grupie państw o zasobach bardzo małych. W stosunku do średniej europejskiej są one trzykrotnie niższe w przeliczeniu na 1 mieszkańca i dwukrotnie niższe w przeliczeniu na jednostkę powierzchni (Stan i wykorzystanie... 1996)! Jednym ze sposobów poprawy tych niekorzystnych relacji jest gromadzenie wody w sztucznych zbiornikach wodnych. W istniejących obecnie w Polsce sztucznych zbiornikach, retencjonowane jest 3,6 km³ wody, tj. zaledwie 6% średniego rocznego odpływu rzeczno-ego (GUS 1997, 2000). To wartość 2,5 razy mniejsza od średniej europejskiej (Jokiel 2004), i zaledwie połowa z istniejących w tym zakresie możliwości, których pełne wykorzystanie pozwoliłoby na zwiększenie zasobów dyspozycyjnych

kraju o ok. 4 km³ (Kaczmarek 1978). Ponadto, zbiorniki pozwalają również na łagodzenie skutków zjawisk ekstremalnych, wysokich wezbrań i głębokich niżówek na rzekach. W obliczu prognozowanych skutków globalnego ocieplenia, które przewidują wzrost wielkości i częstotliwości występowania tych zjawisk, szczególnie w małych i średnich zlewniach rzecznych (Jokiel 2004), znaczenie tej funkcji zbiorników będzie wzrastało. Dlatego też istnieje duża potrzeba szczegółowego poznania procesów zachodzących w obrębie strefy brzegowej zbiorników cechujących się dużymi, cyklicznie zachodzącymi wahaniami stanów wody, co przyczyni się do wypracowania optymalnego sposobu ich eksploatacji zapewniającego nie tylko zminimalizowanie negatywnego wpływu na ich bezpośrednie otoczenie ale również pozwoli na podniesienie jakości retencjonowanej w nich wody (Arfi 2005).

Sztuczne zbiorniki wodne tworzymy najczęściej na cieku w efekcie przegradzenia doliny budowlą piętrzącą w celu spiętrzenia i gromadzenia dopływającej wody (zbiorniki dolinne) (*Atlas Hydrologiczny Polski* 1986), rzadziej w obniżeniach terenu poza dolinami rzek (zbiorniki zalewowe) (Avakian 1998) lub na bazie wyrobisk poeksploatacyjnych (zbiorniki pochodzenia antropogenicznego) (Jankowski 1995, 1999). Niekiedy jednak wykorzystujemy w tym celu naturalne jeziora (Avakian 1998). Tkwią w nich duże rezerwy wzrostu zasobów wodnych. Ich spiętrzenie jest szczególnie pożądane na obszarach młodoglacjalnych, gdzie jeziora często położone są w obrębie głębokich rynien subglacjalnych. Ich morfometria sprzyja znacznemu wzrostowi objętości gromadzonej w nich wody przy niewielkich zmianach powierzchni i minimalnych kosztach obwałowań (Gołdyn 1990; Kowalewski 2003). W wielu państwach, już obecnie, spiętrzone jeziora odgrywają już istotną rolę w ogólnym bilansie wodnym. Przykładowo w Finlandii około 220 jezior, tj. ponad 30% wszystkich większych jezior, o powierzchni przekraczającej 1 km², zostało spiętrzonych i jest obecnie regulowanych (Hellsten 1998, 2000). W Polsce, mimo iż pojedyncze obiekty tego typu istnieją już od dawna, piętrzenie jezior dotychczas nie wzbudzało większego zainteresowania. Mają one najczęściej niewielkie rozmiary, a informacje na ich temat w literaturze są rozproszone. Obecnie mamy zaledwie około 20. większych akwenów tego typu (Babiński, Grześ 1974; *Geograficzny Atlas Polski* 2000; Gutry-Korycka 1993; Pociask-Karteczka 1997; Michalczyk, Wilgat 1998). Wśród nich znajdują się spiętrzone już w II połowie XIX w. Wielkie Jeziora Mazurskie o łącznej pojemności retencjonowanej wody wynoszącej 157,11 mln m³, czy Jezioro Rajgrodzkie o pojemności retencyjnej w granicach piętrzenia 26 mln m³ (*Atlas Jezior Polski* 1999) (tab. 1). Sytuacja ta uległa wyraźnej zmianie w ostatniej dekadzie ubiegłego wieku, kiedy przystąpiono do projektowania, a następnie realizacji, Programu Małej Retencji (Kowalewski 2003; Kowalewski i in. 2002). Z. Ko-

Tabela. 1. Wybrane podpiętrzone jeziora w Polsce

	Jezioro (zbiornik retencyjny)	Piętrzone akweny	Powierzchnia [km ²]	Rzędne (min – max), [m n.p.m.] lub wysokość piętrzenia h [m]	Pojemność retencyjna w granicach piętrzenia [mln m ³]	Uwagi	
Wielkie Jeziora Mazurskie ¹	System Wielkich Jezior Mazurskich	Połączone kanałami żeglowne jeziora mazurskie	307,4	115,55–116,0	138,62	Budowę piętrzące na odpływach na Pisę i Węgorapę wykonano w II poł. XIX w, kolejne prace prowadzono w latach 1965-67 na Jez. Roś i 1983-85	
	Jezioro Gołdopiwo	Jezioro Gołdopiwo Jezioro Żabinki	10,70 0,51	117,06–117,86	8,97	Piętrzenie wykonano w latach 1910-11, w związku z rozpoczęciem budowy Kanału Mazurskiego	
	Jezioro Nidzkie	Jezioro Nidzkie Jezioro Guzionka Wielka Jezioro Guzionka Mała	17,94 0,72 0,42	117,61–118,11	9,54	Piętrzenie wykonano w latach 1899-1901	
	Łącznie		337,69		157,11		
Rzeka Krutynia	Krutyn	Jezioro Mokre	8,28	124,57–125,10	4,39	Piętrzenie wykonano w latach 1910-11, w związku z rozpoczęciem budowy Kanału Mazurskiego	
	Spychowo	Jezioro Zyzdrój Mały	0,58	126,02–128,02	5,28		
		Jezioro Zyzdrój Wielki	2,06				
Łącznie		10,92		9,67			
Kanał Augustowski ¹	Jeziora Augustowskie	Jezioro Necko	4,0	121,77–122,57	7,85	Piętrzenia jezior Kanału Augustowskiego wykonano w okresie jego budowy tj. w latach 1824-30; 1833-39. Późniejsze modernizacje przeprowadzono w okresie międzywojennym (1936-37) oraz w latach 1946-48	
		Jezioro Raspuda	1,04				
		Jezioro Białe	4,78				
	Jezioro Sajno	Jezioro Sajno	5,23	118,45–119,35	5,28		
		Jezioro Sajenko	0,63				
	Jezioro Studzieniczne	Jezioro Studzieniczne	2,50	122,88–123,18	0,75		
	Jezioro Serwy	Jezioro Serwy	4,60	125,67–126,67	4,60		
	Pozostałe jeziora piętrzone na trasie kanału	Jezioro Swoboda	0,05	124,53–124,93	0,02		
		Jezioro Gorczyckie	0,22		0,09		
Jezioro Orle		0,25	121,67–122,17	0,12			
Jezioro Poniewo		0,40		0,20			
	Jezioro Krzywe	0,22	115,48–115,78	0,07			
	Jezioro Mikoszewo	1,26	112,57–112,87	0,38			
Jezioro Mikoszówek	0,26	0,08					
Łącznie		25,44		19,44			
Rzeka Elk ¹	Jezioro Rajgrodzkie	Jezioro Rajgrodzkie	15,1	117,01–118,56	26,9	Jazy piętrzące na odpływach wybudowano przed 1945 r oraz w latach 60. ubiegłego stulecia	
		Jezioro Białe	1,4				
		Jezioro Krzywe	0,9				
	Razem	17,4					
Jezioro Sunowo	Jezioro Sunowo	1,76	122,50–122,70	0,35	Stary jaz piętrzący został zastąpiony nowym w latach 80. XX w.		
			Powierzchnia				
			Dawna	Obecna			
Lubelszczyzna	Mytycze ²		24,2	101	3,1		
	Krzczeń ²		19,8	174	2,6		
	Dratów ²		107,2	168	4,2		
	Skomielno ²		30	74	0,8		
	Tomaszne ²		81,7	95	2,2		
	Wytyckie ²		270,1	487	9,2		
Kanał Kościański	Wonieść ³	Jezioro Wonieskie	124,1	181,6	295,7	h= 2,65	Zbiornik utworzono w 1982 r.; retencja wody dla potrzeb rolnictwa i ochrona przeciwpowodziowa.
		Jezioro Jezierzycie	57,5				
		Jezioro Wojnowskie	68,9	188,3	422,1	h=1,48	
		Jezioro Witosławskie	66,0				
		Jezioro Drzczkowskie	53,4				

Opracowano na podstawie:

1 – Dane morfometryczne, batymetryczne i zasoby wodne jezior podane są z opracowania *Atlas Jezior Polski*, 1999, Poznań. Wykaz piętrzeń przygotowany przez RZGW Warszawa;2 – Michalczyk Z., Wilgat T., 1998, *Stosunki wodne Lubelszczyzny*, UMCS, Lublin;3 – Goldyn R., 1990, *Wpływ piętrzenia wód na procesy ekologiczne w jeziorach służących jako zbiorniki retencyjne*, [w:] *Funkcjonowanie ekosystemów wodnych, ich ochrona i rekultywacja, Ekologia jezior, ich ochrona i rekultywacja. Eksperymenty na ekosystemach*, cz. II, SGGW – AR, Warszawa.

walewski (2004) podaje, iż w latach 1997–2003, wzrost objętość wody w 135 spiętrzonych jeziorach wyniósł 46,5 mln m³, podczas gdy w pozostałych zbiornikach wodnych zaledwie 37,3 mln m³. Stanowi to jednak zaledwie ułamek procenta istniejących w tym zakresie możliwości. Już w latach 70. Z. Babiński i M. Grześ (1974) oceniali, iż gdyby wszystkie jeziora w Polsce, położone w granicach ostatniego zlodowacenia, spiętrzone zaledwie o 1 m, co mieści się jeszcze i tak poniżej ich dawnych, maksymalnych zasięgów, to objętość zmagazynowanej w ten sposób wody wyniosłaby około 2 km³! Na podobną wartość rezerwy te ocenia również J. Jańczak z zespołem (Jańczak i in. 2004). Przewidują oni, iż podniesienie poziomu wody o 1 metr w jeziorach polskich o powierzchni przekraczającej 100 ha dałoby przyrost retencji o blisko 2 km³!

Niewielkie wysokości dokonywanych na jeziorach spiętrzeń, najczęściej nie przekraczające kilkudziesięciu centymetrów, jak i małe, zbliżone do naturalnych wahania stanów wody sprawiają, iż akweny te zasadniczo nie różnią się od jezior naturalnych. Niekiedy jednak wysokość spiętrzenia sięga kilku metrów, powodując znaczący wzrost liniowych i objętościowych parametrów akwenu oraz zatopienie istniejącej i rozpoczęcie tworzenia nowej strefy brzegowej, zarówno w sensie morfologicznym, jak i biologicznym (Kajak 1998). Ponadto, związane z prowadzoną przez człowieka gospodarką wodną wahania stanów wody, zarówno w swoim przebiegu, jak i wysokości, znacznie odbiegają od występujących w warunkach naturalnych. Wzrost zajmowanej powierzchni akwenu o więcej niż 1/3, jak również regulacja stanów wody sprawia, iż akwen zatracza swój naturalny, jeziorny charakter, jednocześnie przyjmując cechy sztucznego zbiornika wodnego (Avakian i in. 1987). Zbiorniki powstałe na bazie spiętrzonych jezior, określane są jako zbiorniki pochodzenia jeziorowego (Cyberski 1984; Finarov 1986).

W polskiej literaturze niewiele jest prac dotyczących przekształcania brzegów zbiorników zaporowych, mimo iż obiekty te na naszych ziemiach istnieją już od przełomu XII i XIII wieku (Głodek 1985; Korwin 1968). Wynika to głównie z niewielkich ich rozmiarów, jak i mało spektakularnego ich wpływu na przyległy obszar. Pierwsze prace, o czym wspomina M. Banach (1994), dotyczące procesów przekształcania brzegów w ujęciach jakościowym i ilościowym podjęto w latach 60. w byłym Instytucie Gospodarki Wodnej oraz w Państwowym Instytucie Hydrologii i Meteorologii (Cyberski 1965; Wiśniewski 1966). Wraz z oddawaniem do eksploatacji kolejnych zbiorników wzrastało zainteresowanie ich wpływem na środowisko (Majde, Niepokulczycki 1972; Kieraś i in. 1973; Kostecki 1975; Dąbkowski 1978; Szupryczyński 1981, 1986; Mroczek i in. 1984; Ziętara 1992; Banach, Grobelska 2003). Były to jednak głównie badania podejmowane w początkowym etapie eksploatacji obiektu, rzadko kontynuowane przez dłuższy okres czasu. Na tym tle, na szczególną

uwagę zasługują długoletnie, rozpoczęte w latach 60. ubiegłego wieku i nadal kontynuowane, badania M. Banacha (1977, 1981, 1988, 1994, 2004), prowadzone na największym w Polsce zbiorniku Włocławek. Pozwoliły one na kompleksowe rozpoznanie cech procesu ewolucji całej strefy brzegowej zbiornika nizinnego cechującego się niewielkimi wahaniami stanów wody. W ostatnich latach przedmiotem badań jest również strefa brzegowa niewielkich zbiorników pochodzenia antropogenicznego, związanych z wyrobiskami poeksploatacyjnymi (Jaguś 2000; Rzętała 2003). Dla rozpatrywanych zagadnień interesujące są również, niestety nieliczne w naszej literaturze, badania procesów współcześnie zachodzących w strefach brzegowych jezior (Korołec 1968; Drwał, Gołębiewski 1968; Nowaczyk 1998).

Niewielkie dotychczasowe zainteresowanie badaczy problematyką stref brzegowych średniej wielkości sztucznych, nizinnych, zbiorników wodnych cechujących się dużymi wahaniami stanów wody w cyklu rocznym skłoniły autorkę do podjęcia badań na zbiorniku pakoskim, na Noteci Zachodniej. Poza sposobem obecnej eksploatacji, bardzo istotnym argumentem przemawiającym za wyborem tego obiektu do badań jest jego jeziorna geneza, jak również blisko 30-letni już okres eksploatacji. Jest to największy w Polsce zbiornik typu jeziorowego (Gołdyn 1990). Powstał on w efekcie spiętrzenia o 4,5 m wód w jeziorach funkcjonujących od późnego glacjału, z w pełni ukształtowaną, dojrzałą strefą brzegową. Zbiornik ten nie był, jak dotychczas, obiektem szczegółowych badań geomorfologicznych.

* * *

W tym miejscu pragnę serdecznie podziękować profi dr. hab. Janowi Szupryczyńskiemu za opiekę naukową, życzliwą pomoc i zachętę do prowadzenia podjętych badań. W sposób szczególny dziękuję prof. dr. hab. Mieczysławowi Banachowi za rozbudzenie moich zainteresowań badawczych problematyką stref brzegowych sztucznych zbiorników wodnych, zapoznanie mnie ze swoim warsztatem badawczym oraz cenne wskazówki i merytoryczne dyskusje. Kolegom z Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Niżu IGiPZ PAN w Toruniu dziękuję za okazaną pomoc, życzliwość, uwagi i dyskusje dotyczące zebranego materiału.

Badania strefy brzegowej zbiornika pakoskiego nie mogłyby być realizowane bez codziennych odczytów stanów wody. W zdecydowanej większości, za co serdecznie w tym miejscu pragnę podziękować, uzyskano je od kierownika Nadzoru Wodnego w Pakości, pana mgr. inż. Ryszarda Czekalskiego, związanego ze zbiornikiem pakoskim od początku jego istnienia, a także dzięki uprzejmości pani mgr. inż. Ludgary Iłowskiej z Inspektoratu Eksploatacji Wód ODGW w Bydgoszczy, gdzie uzyskano również wgląd do wielu niezwykle cennych dokumentacji archiwalnych.

Przeprowadzone badania zostały wykonane przy finansowej pomocy Urzędu Miasta i Gminy Janikowo, Komitetu Badań Naukowych w ramach realizacji projektu badawczego nr 3 PO4E 01622 „*Rozwój strefy brzegowej zbiorników retencyjnych o znacznych wahaniami stanów wody na przykładzie zbiornika pakoskiego*” oraz ze środków Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN.

1.2. CEL, ZAKRES I METODY PRACY

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest jakościowe i ilościowe określenie przekształceń strefy brzegowej zbiornika pakoskiego po blisko 30. latach jego funkcjonowania oraz próba stworzenia na bazie uzyskanych wyników, schematu rozwoju strefy brzegowej sztucznego, nizinnego zbiornika retencyjnego średniej wielkości, o dużych wahaniami stanów wody w cyklu rocznym, z uwzględnieniem jego jeziornej genezy.

Strefa brzegowa jest tu rozumiana jako pas rozciągający się między krawędzią klifu nadwodnego a podnóżem stoku platformy przybrzeżnej, nazywanej również pływiczną przybrzeżną. Podlega ona ciągłym przekształceniom w efekcie wzajemnego oddziaływania hydrodynamicznego zbiornika oraz procesów geodynamicznych na otaczających go stokach. Tempo, jak i kierunek zachodzących w jej obrębie procesów, jest wypadkową cech środowiska przyrodniczego, tj.: budowy geologicznej, morfometrii, roślinności porastającej zalane stoki oraz towarzyszącej linii wody; panujących warunków klimatycznych, a także prowadzonej na zbiorniku gospodarki wodnej, decydującej o wysokości wahań stanów wody i ich zmienności w czasie.

Badania prowadzone w latach 1998–2003, objęły całą, ponad 50-ciokilometrowej długości strefę brzegową zbiornika pakoskiego wraz z jego najbliższym otoczeniem (około 3–4 km). Badania rozpoczęto w 23 lata po dokonanym piętrzeniu i utworzeniu zbiornika. Rozpoznanie cech pierwotnej, podlegającej przekształceniu strefy brzegowej zbiornika oparto na analizie materiałów archiwalnych. Należą do nich:

- różnoskalowe mapy topograficzne, geologiczne, geomorfologiczne i hydrologiczne z okresu między- i powojennego, z których najważniejsza dla niniejszych badań jest mapa geomorfologiczna W. Niewiarowskiego (1955), wykonana w skali 1:25 000 w 1955 r., arkusz Broniewice, obejmująca północną i środkową część obecnego zbiornika pakoskiego;

- plany sytuacyjne najbliższego otoczenia jezior wykonane przed ich spiętrzeniem, w 1956 r., w skali 1:5 000, a dla wybranych fragmentów w skali 1:2 000 i większej;

- panchromatyczne zdjęcia lotnicze w skali 1:10 000 i 1:12 500 z 1958 i 1962 roku, czyli z okresu przed spiętrzeniem. Niestety, nie udało się ustalić dokładnej daty ich wykonania, co ogranicza ich wartość interpretacyjną;
- plany batymetryczne piętrzonych jezior wykonane przez Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie, w latach 1964–1966;
- archiwalne dokumentacje geologiczne, w szczególności dokumentacje surowcowe i torfowe, obejmujące blisko 300 wierceń geologicznych zlokalizowanych w otoczeniu oraz w dnie jezior.

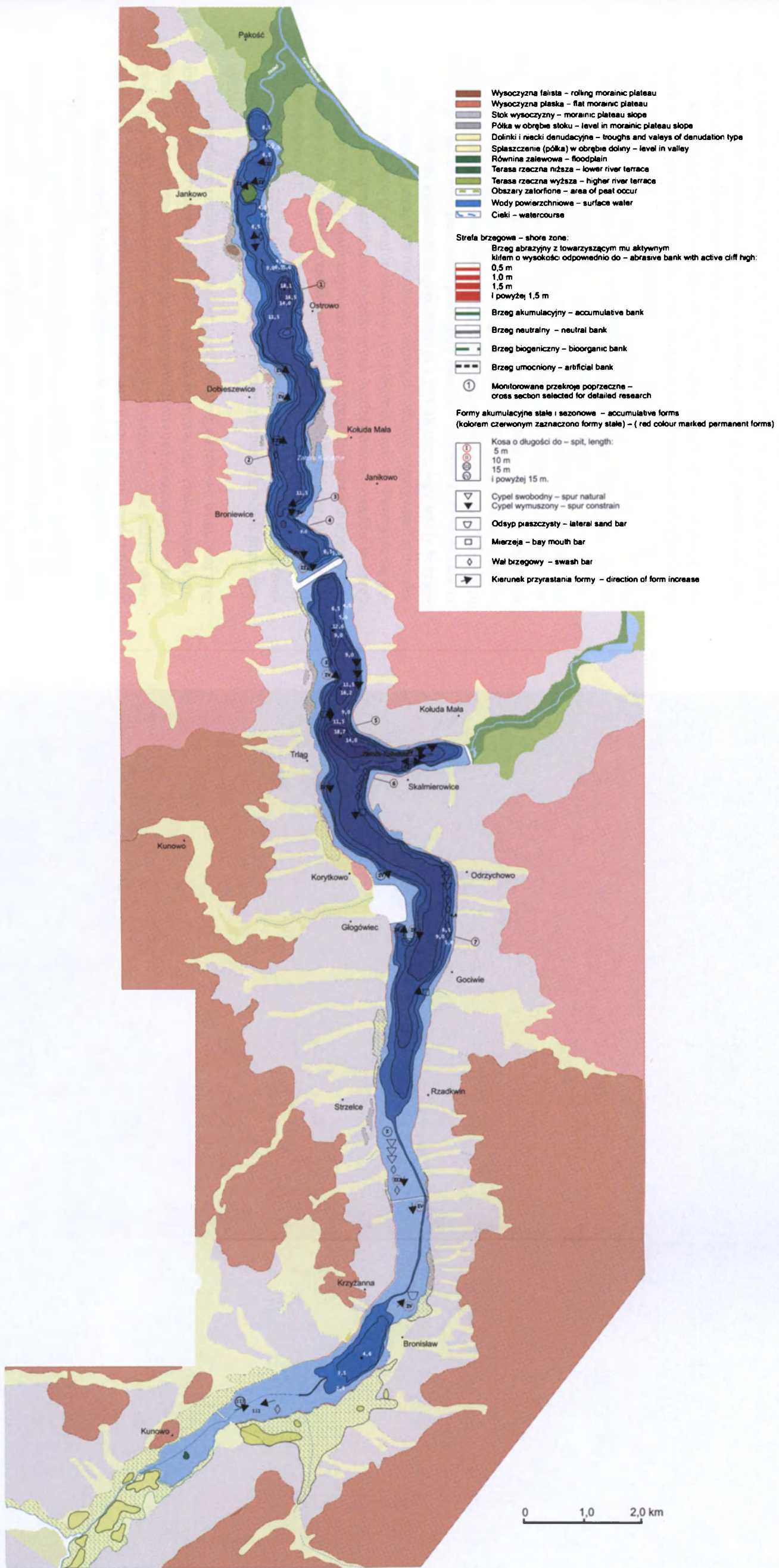
Powyższe materiały zebrano w Archiwum Regionalnej Dyrekcji Gospodarki Wodnej w Poznaniu i jej Inspektoracie w Bydgoszczy, Archiwum Geologa Wojewódzkiego w Bydgoszczy, Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej Ministerstwa Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w Warszawie, Archiwum Zakładów Sodowych „Janikosoda” w Janikowie, Archiwum Urzędu Miasta i Gminy w Janikowie oraz Archiwum Instytutu Geografii i PZ PAN w Toruniu.

Ważnym uzupełnieniem powyższych materiałów archiwalnych są, niestety nieliczne, publikacje dotyczące Jezior Pakoskich z zakresu geomorfologii (Bartkowski 1962; Tłuścik 1971; Sinkiewicz 1980) i hydrologii (Pietrucień 1976, 1983). Najważniejszą z nich stanowi praca W. Niewiarowskiego (1976) dotycząca problemu wahań stanów wody w Jeziorze Pakoskim od momentu jego powstania do spiętrzenia w nawiązaniu do geomorfologii najbliższego otoczenia.

Reżim stanów wody zbiornika pakoskiego opracowano na podstawie, w większości niepublikowanych, dobowych stanów wody występujących na zbiorniku w całym okresie jego eksploatacji.

W badaniach terenowych prowadzonych w obrębie strefy brzegowej zbiornika pakoskiego, istotną rolę odegrały liczne zachowane tu pnie drzew, wyciętych w trakcie przygotowywania czaszy zbiornika pod zalew. Obecnie pełnią one funkcję doskonałych reperów – indykatorów. Pozostające nadal w pierwotnej pozycji umożliwiają rekonstrukcję przekształconej powierzchni. Ich lokalizacja, stopień odkrycia w wyniku wymycia osadów bądź przykrycia osadami obecnie akumulowanymi pozwala nie tylko określić minimalną szerokość przekształconej strefy, ale również rozstrzygnąć kierunki zachodzących tu procesów. Ponadto, często pełnią one również funkcję swoistych zaczepów, w których cieniu powstają formy akumulacyjne.

Systematyczne prace terenowe rozpoczęto w 1999 r. i kontynuowano je do listopada 2003 r. Prowadzono je w kilku płaszczyznach tematycznych. Swym zakresem objęły one:



Ryc. 1. Szkic geomorfologiczny otoczenia pakoskiego (na podkładzie w skali 1:10 000) z batymetrią i typologią brzegów wraz z formami akumulacyjnymi
 Geomorphological sketch of Pakość Reservoir surrounding, base on map in scale 1:10 000, with bathymetry and banks typology along with accumulation forms

- kartowanie strefy brzegowej zbiornika na podkładzie map w skali 1:10 000. Ze względu na porównawczy charakter tych prac zostały one wykonane dwukrotnie w 1999 i 2003 r., wg opartego na najczęściej stosowanym w literaturze (Banach 1988, 1994; Ovčinnikov 1996; Horský, Spanila 1997) podstawowym podziale na brzegi o charakterze: abrazyjnym, akumulacyjnym, neutralnym, biogenicznym i umocnionym;

- kartowanie geomorfologiczne najbliższego otoczenia zbiornika, tj. obszaru w promieniu 3–4 km. Obejmuje on rynną subglacialną, w obrębie której zlokalizowany jest zbiornik pakoski oraz niewielki fragment przyległej wysoczyzny. Kartowanie wykonano na podkładzie map topograficznych w skali 1:10 000. W trakcie prowadzonych prac wykonano szurfy, wiercenia świdrem ręcznym, maksymalnie do 4,5 m głębokości, jak również wykorzystano istniejące odstonięcia (piaskownie, żwirownie i glinianki). W okresie badań na obszarze tym prowadzone były rozległe prace ziemne związane z zakładaniem kanalizacji i wodociągu w zachodniej części gminy Janikowo. Wykopy o długości kilkunastu kilometrów i o głębokości ponad 4 m dostarczyły dodatkowych informacji o budowie geologicznej omawianego obszaru. Celem tych prac było określenie powiązań pomiędzy osadami i formami występującymi w bezpośrednim kontakcie ze zbiornikiem a charakterem jego strefy brzegowej. Szczególną uwagę zwrócono na różnego rodzaju negatywne formy dolinne występujące w obrębie okalających zbiornik stoków. Formy te są bowiem potencjalnymi szlakami dodatkowych źródeł dostawy osadów w obręb strefy brzegowej. Materiały uzyskane w ramach prac terenowych zostały wykorzystane do sporządzenia mapy geomorfologicznej najbliższego otoczenia zbiornika (ryc. 1);

- rozpoznanie rzeźby całej platformy przybrzeżnej zarówno okresowo osuszanej, jak i części trwale zanurzonej w 37 wybranych przekrojach poprzecznych;

- rozpoznanie rzeźby oraz budowy geologicznej okresowo osuszanej części platformy przybrzeżnej na całej długości brzegów zbiornika pakoskiego. Prace te wykonywano w przekrojach poprzecznych rozmieszczonych w odległości 100–300 m, sporadycznie większej, wykorzystując płytkie szurfy i wiercenia do 0,7–0,8 m, maksymalnie 2 m, połączone z pomiarami geodezyjnymi;

- pomiary dynamiki brzegów abrazyjnych w stałych monitorowanych przekrojach poprzecznych;

- pomiary platformy przybrzeżnej zbiornika wzdłuż abrazyjnych fragmentów brzegu na całej jej szerokości, w 7 wybranych przekrojach poprzecznych. W okresowo osuszanej części platformy pomiary geodezyjne wykonywano z wykorzystaniem elektronicznego niwelatora Compulevel z dokładnością 0,1 cm. Były one połączone z rozpoznaniem miąższości i charakteru występu-

jących tu osadów. Natomiast w obrębie podwodnej części platformy wykonywano sondowania. Były one przeprowadzone z łódki, przy bezwietrznej pogodzie, wzdłuż zakotwiczonej i naprężonej, nacechowanej liny, w odstępach 1,0–0,5 m w zależności od morfologii platformy. W czasie wykonywania pomiarów z powierzchni platformy, z częstością 0,5–5,0 m, czerpakiem Eckmana-Bridge'a pobierano próbki osadów, które podlegały dalszej analizie laboratoryjnej. Łącznie w 16 seriach pomiarowych pobrano 1048 prób osadów, dla których określono cechy teksturalne;

- inwentaryzację oraz obserwację zmienności i dynamiki występujących form akumulacyjnych. Określono trwałość i umiejscowienie form na platformie przybrzeżnej, jak również miąższość i charakter budujących je osadów;

- wpływ procesów mrozowych na tempo cofania się brzegów abrazyjnych. Zagadnienie to realizowano w niewielkim zakresie, głównie w okresie zimowo/wiosennym 2003 r., kiedy zaobserwowano związane z nimi procesy i formy.

Materiały uzyskane w wyniku prac terenowych, uzupełnione wynikami prac laboratoryjnych (analiza teksturalna) osadów występujących na powierzchni platformy przybrzeżnej, w zestawieniu z materiałami archiwalnymi, stały się podstawą do dalszych analiz zmierzających do poznania najważniejszych cech i kierunków rozwoju strefy brzegowej zbiornika pakoskiego oraz wpływu jego jeziornej przeszłości na obecnie zachodzące procesy.

2. CHARAKTERYSTYKA FIZJOGRAFICZNA ZBIORNIKA PAKOSKIEGO I JEGO NAJBLIŻSZEGO OTOCZENIA

2. 1. ZADANIA I FUNKCJE GOSPODARCZE ZBIORNIKA

Nizina Wielkopolsko-Kujawska z doliną Noteci, w której położony jest zbiornik pakoski, zaliczana jest obecnie do obszarów o najwyższej, pierwszej kategorii potrzeb wodnych (Kowalczak i in. 1997). Prace mające na celu wzrost i lepsze wykorzystanie zasobów wodnych tego rejonu prowadzone są tu od lat 50. ubiegłego wieku. Polegają one głównie na piętrzeniu jezior, które w efekcie przeprowadzonych w połowie XIX w. prac melioracyjnych często znacznie obniżyły swoje zwierciadło wody (Grześ 1972).

Zbiornik pakoski, jest częścią składową systemu Noteci Zachodniej (ryc. 2), który wraz z dopływającą do niej w Pakości Notecią Wschodnią kształtuje odpływ Noteci poniżej zbiornika pakoskiego, zwanej od tego miejsca Notecią Połączoną (tab. 2).

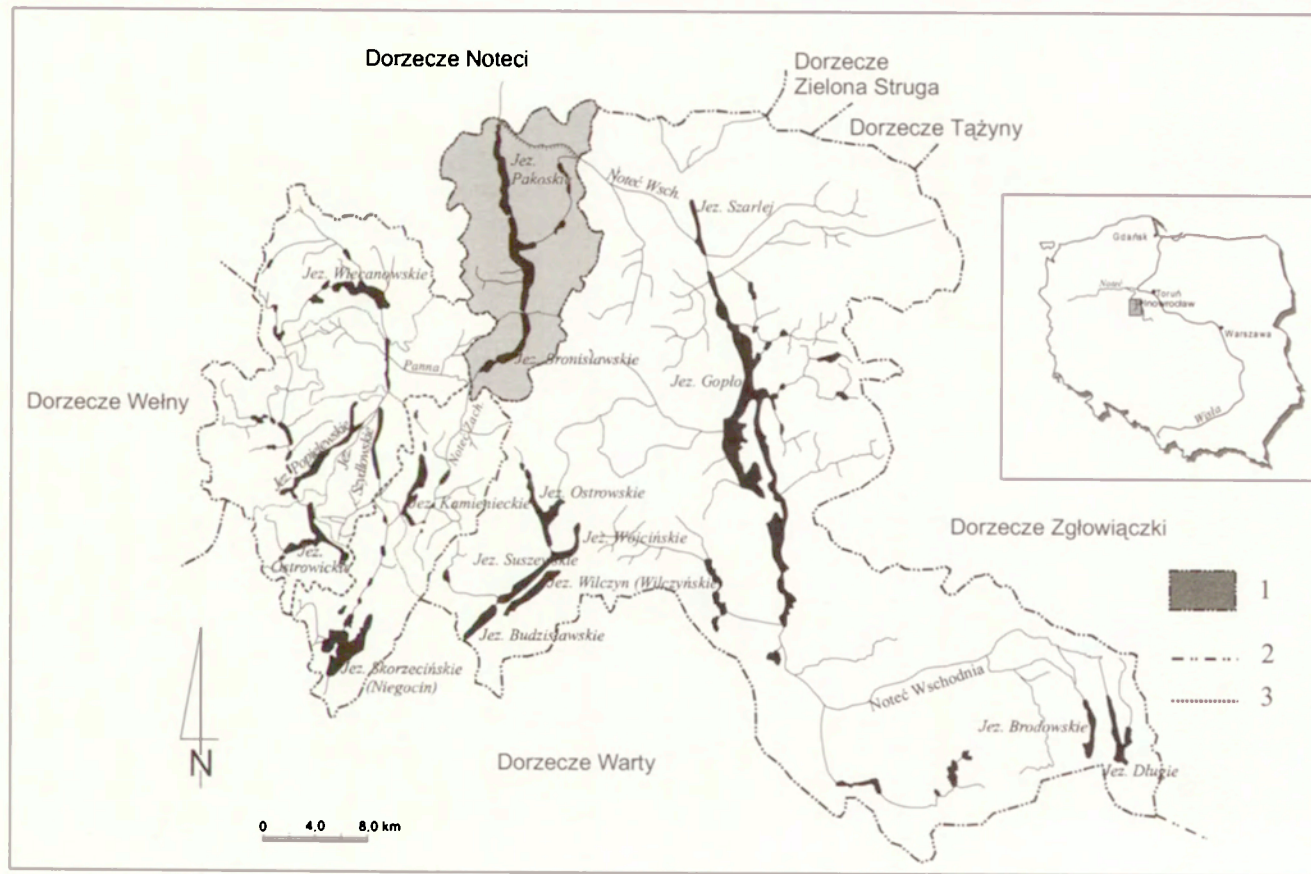
Tabela 2. Powierzchnia dorzecza i przepływy średnie roczne dla roku średniego w latach 1951–1994 w profilu Pakość

Rzeka	Powierzchnia dorzecza [km ²]	Przepływ [m ³ /s]	
		1951–1975	1975–1994*
Notec Zachodnia	736,7 (z rz. Panną)	2,66	2,52
Notec Wschodnia	1619,5	3,21	3,01
Notec Połączona	2356,2	5,87	5,53

* – okres po utworzeniu zbiornika pakoskiego

Źródło: Iłowska, 1999

Większość jezior położonych w dorzeczu zarówno Noteci Zachodniej, jak i Wschodniej jest już spiętrzonych, bądź przeprowadzenie takich prac jest tam planowane (tab. 3). Zbiornik pakoski jest częścią większego systemu. Bezpośrednio współpracuje on ze spiętrzonymi jeziorami tworzącymi zbiornik szydłowski-popielewski (powierzchnia dorzecza zasilającego 116,8 km²) położonymi w dorzeczu rzeki Panny Południowej oraz również spiętrzonym Jeziorem Gopło na Noteci Wschodniej. Zasoby wodne tego systemu, zapewniają przepływy nienaruszalne na Noteci poniżej zbiornika pakoskiego, wynoszące 1,27 m³/s (Iłowska 1999) oraz pozwalają na pełne pokrycie potrzeb



Ryc. 2. Obszar badań na tle systemu hydrograficznego Noteci Zachodniej i Wschodniej. 1 – zlewnia zbiornika pakoskiego, 2 – granica dorzecza, 3 – granica zlewni

Location of the study area in West and East Noteć hydrographical system. 1 – Pakość Reservoir basin survey, 2 – border of river basin survey, 3 – border of elementary river basin survey

Dorzecze	Jezioro	Powierzchnia [ha]	Pojemność [mln m ³]	Spiętrzone jezioro (zbiornik retencyjny)	Powierzchnia [ha]	Rzędne lub wysokość spiętrzenia (min – max), [m n.p.m.] [m]	Pojemność całkowita mln m ³	Pojemność użytkowa w granicach piętrzenia [mln m ³]	Uwagi (rok piętrzenia, przeznaczenie)
Notec Zachodnia	Jezioro Wiecanowskie (+ Skawskie)	300	9,48	Jezioro (zbiornik) Wiecanowskie	790	0,6		2,0	retencja, rybactwo, nawadnianie
	Jezioro Popielewskie	308,5	38,24	zbiornik popielewsko-szydłowiecki	610	94,79–95,50		3,3	zasilanie zbiornika pakoskiego, rybactwo, nawadnianie
	Jezioro Szydłowieckie	140	15,88						
	Jezioro Ostrowickie	276,7	22,99						
	Jezioro Pakoskie Pn	285							
	Jezioro Pakoskie Pd	465	40,6	zbiornik pakoski	1302	75,5–79,4	86,46	41,36	1975 retencja na zaspokojenie potrzeb w Noteci Górnej i regulacja przepływów w Noteci Połączonej
	Jezioro Bronisławskie	41							
	Jezioro Kamienieckie	232,5	20,4	zbiornik kamieniecki	575			24,0	przeznaczone do piętrzenia
Notec Wschodnia	Jezioro Skorzęcińskie (Niedzięciel)	637,7	35149,7						
	Jezioro Wójcińskie	160,4	9218,6						
	Jezioro Ostrowskie	314,5	31,2	zbiornik ostrowsko-wójciński	672			7,6	przeznaczone do piętrzenia
	Jezioro Suszewskie	91,6	7127,9						
	Jezioro Wilczyn (Wilczyńskie)	189,5	14,74						
	Jezioro Budzisławskie	155,9	17,3						
	Jezioro Gopło	2154,5	78,5	Jezioro Gopło		76,31–77,26		21,1	retencja na zaspokojenie potrzeb w Noteci Górnej i regulacja przepływów w Noteci Połączonej
Jezioro Brdowskie	194,7	4,80							
Jezioro Długie									

Źródło: Kowalczak, Sziwa, 1987, s. 29–30; Chojiński, 1995, s. 298

wodnych użytkowników w tym obszarze, jak i poniżej hydrowęzła w Pakości, na Noteci Połączonej. Funkcjonowanie tego systemu polega głównie na retencjonowaniu wód. W półroczu zimowym gromadzone są one w zbiorniku pakoskim, a na potrzeby użytkowników wykorzystywane są zasoby wodne zgromadzone w Jeziorze Gopło. Natomiast w półroczu letnim odwrotnie, wykorzystywane są zasoby wodne zbiornika pakoskiego, podczas gdy ich magazynowanie następuje w Jeziorze Gopło.

Piętrzenie Jezior Pakoskich miało na celu:

- uregulowanie stosunków wodnych w dorzeczu Noteci;
- zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania na wodę, które znacznie przekracza dyspozycyjne zasoby Górnej Noteci;
- zaopatrzenie w wodę rolnictwa w dolinie Noteci do profilu Nakło,
- zabezpieczenie przeciwpowodziowe.

Głównymi odbiorcami wody ze zbiornika pakoskiego miały być zakłady chemiczne w Janikowie i Mątwach, żegluga oraz rolnictwo. Łącznie, zapotrzebowanie na wodę oszacowano na 114,2 mln m³ rocznie (*Piętrzenie jezior...*, 1956).

Ustalony maksymalny poziom piętrzenia był wynikiem kompromisu pomiędzy przewidywanymi potrzebami wodnymi użytkowników a orografią terenu i istniejącą wokół jezior infrastrukturą – głównie mostu drogowego i linii kolejowej na trasie Bydgoszcz-Poznań.

2.2. BUDOWA GEOLOGICZNA

Teren badań obejmuje swym zasięgiem zbiornik pakoski i jego najbliższe otoczenie w promieniu 3–4 km. Pod względem rozmieszczenia na tle jednostek tektonicznych I rzędu, położony jest on na obszarze niecki mogileńskiej i przylegającego do niej od pn.-wsch. wału kujawsko-pomorskiego. Cechsztyńsko-mezozoiczne struktury pokryte są kompleksem trzeciorzędowych osadów oligocenu, miocenu i pliocenu o miąższości 60–70 cm. Osady najmłodsze, plioceńskie reprezentowane są przez ily i ily pstre. Mają one od 8 do 50 m miąższości. Ich strop zalega na rzędnych od 40 m n.p.m. (w podłożu rozcinających ten obszar rynien subglacjalnych) do 70 m n.p.m. (w obszarach bezpośrednio do nich przylegających). Stanowi on bezpośrednie podłoże utworów czwartorzędowych, które w całości pokrywają ten obszar.

Średnia miąższość utworów czwartorzędowych wynosi od 30 do 62 m. Maksymalne wartości, do 94,5 m, występują w obrębie obniżenia podłoża czwartorzędu w okolicach Pakości (Listkowska 1989). Osady te należą do zlodowaceń środkowo- i północnopolskiego (Niewiarowski 1976; Listkowska 1989, 1991). Na obszarze tym nie stwierdzono natomiast osadów star-

szych ani osadów interglacjału eemskiego rozdzielających wspomniane serie glacialne. Kilkuetrowy kompleks utworów zlodowaceń środkowopolskich, zalegający bezpośrednio na osadach trzeciorzędowych, reprezentowany jest przez dwa poziomy glin zwałowych oraz rozdzielające je osady fluwioglacialne związane ze stadiem maksymalnym i mazowiecko-podlaskim. W wyniku procesów erozji i denudacji w okresach interglacialnych ich miąższość oraz występowanie zostały zredukowane. Do osadów zlodowacenia północnopolskiego zaliczono dwa poziomy glin zwałowych i związanych z nimi osadów fluwioglacialnych odpowiadających fazie leszczyńskiej i poznańskiej. Osady fazy leszczyńskiej, w przeciwieństwie do starszych, zostały stwierdzone nie tylko w profilach wiertniczych, ale również w odsłonięciach w zbroczu rynny Jeziora Pakoskiego. Ich średnia miąższość, wynosi 10–20 m, maksymalnie 21 m w Kołudzie Wielkiej. Osady powierzchniowe tego obszaru związane są z fazą poznańską ostatniego zlodowacenia. Dominują zwarte gliny piaszczyste, miejscami ilaste. Ich miąższość wzrasta w kierunku zachodnim, od 10 m w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika pakoskiego w Kołudzie Małej do 15 m w części północno-zachodniej obszaru, w Dobieszewicach (Listkowska 1989, 1991). W dolinie Noteci w południowym krańcu obszaru badań, w okolicy Kunowa i Kwieciszewa, osady te są częściowo lub całkowicie zniszczone. Na powierzchni występują tu piaszczyste i mułkowate osady fluwioglacialne i zastoisłkowe.

Z fazą poznańską ostatniego zlodowacenia związane są również główne formy terenu tego obszaru – rozcinające wysoczyzny rynny subglacialne oraz występujące w południowej części obszaru wzgórza morenowe. Na obszarze tym występują dwie rynny: rynna Jeziora Pakoskiego, mająca przebieg zbliżony do południkowego i łącząca się z nią od wschodu rynna węgierska (Niewiarowski 1976). Najgłębsze części tych form zajmują obecnie akweny i łączące je ciekł. Rynna Jeziora Pakoskiego, rozciągająca się od Pakości do Rzadzkwina, ma długość 16 km i szerokości 1–1,5 km. Obecnie, w wyniku działalności człowieka dno tej formy prawie w całości zajmują akweny. Północną część rynny zajmuje niewielkie Jezioro Mielno, natomiast pozostała jej część zbiornik pakoski, utworzony w efekcie spiętrzenia Jezior Pakoskich i Jeziora Bronisławskiego oraz zalania łączącej je 2,5 km długości doliny rzeki Noteci Zachodniej. Druga rynna, węgierska, jest obecnie wykorzystywana przez niewielkie jeziora: Węgierskie, Piotrkowskie i Ludziskie połączone rz. Starą Notecią. Rynna ta jest formą zdecydowanie mniejszą, ma 8 km długości i 0,3–0,5 km szerokości. Osiąga ona głębokość od 5 do 10 m (Listkowska 1991). Dno rynien, w bezpośrednim otoczeniu mis jeziornych jak i w obrębie zatopionych poziomów terasowych przepływających przez nie cieków, wypełniają osady organiczne, gytie i torfy, o zróżnicowanej miąższości.

2.3. GEOMORFOLOGIA OTOCZENIA ZBIORNIKA I JEJ WPŁYW NA STREFĘ BRZEGOWĄ

Zbiornik pakoski położony jest w obrębie południkowo przebiegającej rynny subglacialnej rozcinającej wysoczyznę Kujawską, o wysokości 90–93 m n.p.m. i Gnieźnieńską, osiagającą 110–120 m n.p.m. (Niewiarowski 1976) (mezoregion – Pojezierze Gnieźnieńskie, 315.54, Kondracki, 1994). Głębokość rozcięcia wysoczyzn w stosunku do dna rynny wynosi około 25 m. Dno formy lokalnie wypełnione jest osadami biogenicznymi: gytią i torfami, o średniej miąższości 5–10 m. Wysoczyzna otaczająca rynnę w północno-zachodniej i południowej części zbiornika ma charakter wysoczyzny falistej natomiast w części środkowej – wysoczyzny płaskiej (ryc. 1). Jej powierzchnię, szczególnie w środkowej i południowej części obszaru urozmaicają liczne zagłębienia wytopiskowe. Mają one 30–50 m średnicy i 5–10 m głębokości. Wypełnione są z reguły 1–2 metrową serią drobnoziarnistych utworów piaszczystych i mułkowatych. Często stanowią one początkowe fragmenty dolinek denudacyjno-erozyjnych rozcinających zbocza rynny. Wysoczyzny są zbudowane głównie z bardzo zwięzłych glin pylastych, które w południowej części obszaru przechodzą w gliny piaszczyste i piaski gliniaste. Często, poniżej utworów gliniastych, na głębokości 2,5–4 m występuje 0,5–6-metrowa, ciągła seria różnoziarnistych piasków i żwirów. Jej wychodnie obserwowane są w obrębie zachodniego zbocza wysoczyzny, w środkowej i północnej części obszaru na odcinku pomiędzy Jankowem a Dobieszewicami i w rejonie Strzelc oraz w obrębie wschodniego zbocza w Kołudzie Małej. Sposób wykształcenia tej serii można było prześledzić m.in. w wykonanym w 2003 r. prostopadłym do osi rynny wykopie o głębokości 4–6 m, który przeprowadzono przez całą szerokość północnej części obszaru badań, na linii Dobieszewiczki-Janikowo, połączony z poziomym przewiertem przebiegającym 8 m poniżej obecnego dna jeziora.

Nadrzędnym celem wykonanego kartowania geomorfologicznego, było wskazanie na istniejące zależności pomiędzy strefą brzegową zbiornika pakoskiego a formami terenu i osadami występującymi w jego najbliższym otoczeniu. Dlatego też, w trakcie prowadzonych prac terenowych, szczególną uwagę zwrócono na otaczające zbiornik zbocza rynny, które w niniejszym ujęciu są pojęciami tożsamymi ze stokiem wysoczyzny, podobnie jak pojęcie krawędzi wysoczyzny i rynny. Stoki otaczające zbiornik są asymetryczne a sposób ich wykształcenia odmienny (ryc. 1). Zbocze wschodnie rynny jest bardziej strome i niższe, o szerokości rzadko przekraczającej 250 m i wysokości 10–15 m. Lokalnie ma ono postać pionowego, czynnego klifu, wznoszącego się blisko 5 metrów ponad maksymalny poziom wody w zbiorniku. Natomiast stok zachodni jest wyższy i łagodniejszy, o szerokości dochodzącej do 1 km i wyso-



Fot. 1. Wzmożona akumulacja osadów na platformie przybrzeżnej w sąsiedztwie ujścia ciek, Broniewice
Intensified accumulation of sediments on coastal platform near watercourse mouth



Fot. 2. Aktywny klif w obrębie torfów, Bronisław
Active cliff in peat, Bronisław

kości 10–15 m. W jego morfologii jak i osadach bardzo wyraźnie zaznaczają się dwie części: szeroka, obejmująca ponad 2/3 długości stoku, stroma strefa degradacji oraz przyległa do niej wąska strefa agradacji. W morfologii tej ostatniej, często zaznaczają się wyraźne spłaszczenia o charakterze półek, m.in. w Jankowie, Dobieszewicach i Trlągu. Osiągają one 10–50 m szerokości i zróżnicowaną długość dochodzącą do ponad 1 km. Bezpośrednio na ich powierzchni, bądź pod kilkudziesięciocentymetrową pokrywą deluwialnych piasków gliniastych często występują dobrze przemyte piaski, świadczące o okresowym przepływie wód.

Stoki, szczególnie zachodni, rozcinają liczne dolinki denudacyjne i denudacyjno-erozyjne. Dolinki denudacyjne najczęściej w całości wykształcone są w obrębie stoku wysoczyzny (ryc. 1). Osiągają one niewielkie rozmiary, 100–150 m długości przy szerokości 20–30 m i 3–5 m głębokości względnej. Wypełniają je 0,5–0,7 m, maksymalnie 1,5 m miąższości piaski drobnoziarniste mułkowate o bardzo słabo zaznaczającym się kontakcie z występującymi w ich podłożu glinami. Formy te bardzo łagodnie kończą się na pograniczu degradacyjnej i agradacyjnej części stoku. Dużo bardziej interesujące z punktu widzenia rozpatrywanego zagadnienia są dolinki denudacyjno-erozyjne obecnie wykorzystywane przez stałe bądź okresowe ciek wodne. Początek tych form jest najczęściej zlokalizowany powyżej krawędzi rynny, w obrębie wysoczyzny. Osiągają one od kilkudziesięciu metrów do ponad 2 km długości i od 50 do 300 m szerokości. Wypełniają je 1,5–2,5 m miąższości bardzo dobrze przemyte piaski drobno- i średnioziarniste. W ich spągu występuje wyraźna 0,1–0,2 m seria żwirów i głazów, wyznaczająca poziom bruku korytowego. Szczególnie duże rozmiary osiągnęły doliny w Broniewicach, Głogówcu i Strzelcach w obrębie stoku zachodniego oraz w Rzadkwinie w obrębie stoku wschodniego. Są one wykorzystywane przez całoroczne ciek uchodzące do zbiornika. Ciek te potencjalnie stanowią dodatkowe źródła dostawy materiału w obręb współcześnie kształtującej się strefy brzegowej zbiornika oraz wpływają na tempo i charakter zachodzących tu procesów. Materiał dostarczany jest bezpośrednio wraz z płynącą wodą, jak i pośrednio, poprzez rozmywanie osadów starych, tworzących u wylotu dolinek stożki napływowe. Weryfikację tego założenia przeprowadzono na podstawie analizy kartograficznych materiałów archiwalnych oraz przeprowadzonych badań terenowych, które wykluczyły taką możliwość. Wyloty dolin i związane z nimi stożki napływowe we wszystkich analizowanych przypadkach umiejscowione są znacznie powyżej obecnego poziomu wody w zbiorniku, na wysokości około 87–88 m n.p.m. Poniżej występują naturalne bądź sztuczne baseny sedimentacyjne pełniące funkcje łapaczek aktualnie transportowanych osadów. Ciek płynące powyższymi dolinami, wpływając do zbiornika, korygują jedynie kierunek pra-

dów wzdłużbrzegowych w bezpośrednim ich sąsiedztwie. Powodując ich wyhamowywanie przyczyniają się do wzmożonej akumulacji osadów w bliskim sąsiedztwie stref ujściowych (fot. 1).

Zagadnienie to zostało szerzej omówione w dalszej części pracy, w ramach prezentacji wyników badań form akumulacyjnych występujących w obrębie strefy brzegowej (patrz rozdz. 7).

Na podstawie wykonanego kartowania stwierdzono, iż w obrębie dolnej części zbocza rynny, gdzie obecnie kształtuje się strefa brzegowa zbiornika, dominują zwarte gliny pylaste i piaszczyste. W obrębie zachodniego stoku często przechodzą one w deluwialne piaski gliniaste. Utwory gliniaste z reguły rozdzielone są seriami piaszczystymi. Ponadto, w południowej części oraz punktowo wzdłuż całego zbiornika w jego bezpośrednim otoczeniu występują torfy. Spiętrzenie wód o 4,5 m spowodowało bowiem zalanie teras i fragmentów zboczy rynny towarzyszących misom jeziornym oraz równiny zalewowej Noteci pomiędzy jeziorami, jak i na 2,5-kilometrowym odcinku powyżej nich. Miąższość występujących tam torfów jest bardzo zróżnicowana. Waha się od zaledwie kilkudziesięciu centymetrów w obrębie zalanych poziomów terasowych do 2,5–4 m na dawnej równinie zalewowej Noteci (Bronisław, Krzyżanna) oraz punktowo do ponad 4,5 m w miejscach wypytywów wód gruntowych. Związane z nimi źródłiskowe torfowiska wysokie największe rozmiary osiągnęły w Bronisławiu, gdzie w utworach tych, na blisko 500-metrowym fragmencie brzegu kształtuje się klif o wysokości 0,5–1,5 m (fot. 2; ryc. 1). Ponadto, zalane zostały również łąki i grunty orne występujące lokalnie powyżej rzędnej 75,5 m n.p.m.

2.4. WARUNKI KLIMATYCZNE

Obszar badań położony jest w obrębie Środkowowielkopolskiego regionu klimatycznego (Woś 1994a, b). Region ten, na tle innych obszarów kraju cechuje się względnie bardzo dużą liczbą dni z pogodą bardzo ciepłą, tzn. średnią dobową temperaturą powietrza od 15,1°C do 25°C, pochmurną, bez opadu. Dni takich średnio rocznie jest tutaj około 39 (Woś 1993).

Na tle środkowej części Polski Północnej obszar ten znajduje się w wąskiej strefie podwyższonych temperatur powietrza oraz niższych opadów atmosferycznych (Wójcik, Marciniak 1987). Zarówno temperatury jak i opady cechuje bardzo duża zmienność w cyklu rocznym, jak i z roku na rok. W trzydziestoleciu 1951–1980 średnie roczne temperatury powietrza, dla reprezentującej ten region stacji w Bydgoszczy, wynosiły 7,5°C i wahały się w zakresie od 6,2°C do 8,9°C (Woś 1994b). Temperatury lipca przekraczają tu średnio 18°C a stycznia nie opadają poniżej -3°C. Dane meteorologiczne z lat 1951–1970,

opracowane przez G. Wójcika i K. Marciniaka (1987) wskazują, iż średnia roczna temperatura powietrza dla stacji w Kołudzie Wielkiej, położonej w odległości ok. 4 km na wschód od zbiornika pakoskiego, wynosiła 7,8°C (lipca 18,3°C, a stycznia -3,0°C). Amplituda rocznych temperatur powietrza za ten okres wynosi zatem aż 21,3°C, a absolutne roczne jej amplitudy wyniosły 69°C (-30,8°C i +38,2°C) i były najwyższe na Nizinie Środkowowielkopolskiej. Średnio rocznie występuje tu 121 dni chłodnych, z temperaturą minimalną poniżej 0°C. Rocznie występuje tutaj średnio 75 dni z przymrozkiem (Woś 1994b).

Ten wyraźnie cieplejszy obszar cechuje się ponadto bardzo niskimi opadami atmosferycznymi o dużej zmienności z roku na rok. Przy średniej sumie opadów dla Pojezierzy Wschodniopomorskich wynoszącej 615 mm/rok, na obszarze tym notuje się wyraźnie niższe ich wartości. W latach 1951–1970 wynosiły one odpowiednio: Kołodziejewo – 526 mm, Kołuda Wielka – 501 mm i Pakości – 416 mm, co było zarazem najniższą notowaną wartością w Polsce Północnej (Wójcik, Tomaszewski 1987). W trzydziestoleciu 1951–1980 średnia roczna suma opadów dla Pakości wynosiła 438 mm i wahała się od 260 do 669 mm (Woś 1994b), tj. od 60 do ponad 150% średniej z wielolecia, co wskazuje na małą ich stabilność w kolejnych latach. Największe sumy opadów przypadają na miesiące letnie, a ich wielkość w poszczególnych latach może 2–3-krotnie przekraczać średnie sumy wieloletnie, np. w 1980 r. w Pakości suma opadów w czerwcu wynosiła 221 mm, podczas gdy średnia z wielolecia 1951–1980 wynosi 51 mm. Liczba dni z opadem dla tego obszaru waha się w zakresie 150–155 dni rocznie. Opad najczęściej występuje zimą, najrzadziej latem. Pokrywa śnieżna na tym terenie, dane dla Inowrocławia, w latach 1951–1980, utrzymywała się średnio przez 57 dni (od 6 do 110 dni) (Woś 1994b). T. Niedźwiedz i E. Cebulak (1994) obszar ten zaliczają do rejonów o 90% prawdopodobieństwie wystąpienia rocznej sumy opadów poniżej 400 mm. Wysokie średnie temperatury powietrza przy jednocześnie niskich wielkościach opadów atmosferycznych potęgują niedobory wody. Średni jednostkowy odpływ powierzchniowy wynosi tu zaledwie od 2,5 do 2,0 dm/s km² (Stachy, Biernat 1994). Obszar ten został zaliczony do pierwszej, najwyższej kategorii niedoborów wody w Polsce (Kowalczak 2002; Kowalczak i in. 1997).

W obszarze tym dominują wiatry z sektora zachodniego, które występują z częstością 35–40%. Dominują tutaj cisze i wiatry słabe, o prędkości nie przekraczającej 2 m/s, które stanowią ponad 60% wszystkich notowanych wartości. Są to jedne z wyższych wartości notowanych w kraju. Wiatry silne i bardzo silne, o prędkości przekraczającej 10 m/s, w latach 1951–1980, występowały tu w ciągu 20–30 dni rocznie, w tym o prędkości powyżej 15 m/s notowano zaledwie w ciągu 2 dni (Niedźwiedz i in. 1994).

2.5. CHARAKTERYSTYKA MORFOMETRYCZNA ZBIORNIKA

Zbiornik Pakoski został utworzony na Noteci Zachodniej w 1975 r. w ramach programu piętrzenia jezior położonych w dolinie Noteci i jej lewobrzeżnego dopływu Panny. Powstał on w efekcie spiętrzenia o 4,5 m wód w dwóch jeziorach, dwudzielnym Jeziorze Pakoskim: Północnym (2,85 km²) i Południowym (4,65 km²), oraz niewielkim, leżącym na południe od nich, w odległości ponad 2 km Jeziorze Bronisławskim (0,41 km²). Jest to średniej wielkości akwen o objętość 86,5 mln m³ (ponad 110% wzrost objętości akwenu w efekcie piętrzenia) i powierzchni 13,0 km² (przed piętrzeniem zaledwie 8,1 km²) (tab. 4). Pozostałe parametry zbiornika to długość 20,1 km, głębokość: średnia 9,2 m, maksymalna 18,6 m i szerokość: średnia 0,74 km, maksymalna 2 km.

Zbiornik ten podzielony jest sztucznymi groblami wykorzystywanymi jako drogi bądź linie kolejowe, na cztery, odrębne części istniejące jeszcze przed jego utworzeniem. Pomiedzy nimi następuje swobodna wymiana wody. Są to jeziora: Pakoskie Północne, Pakoskie Południowe nazywane również Trłąg, Bronisławskie i Kunowskie. Zbiornik ten, zarówno jako całość, jak i poszczególne jego części, mają wyraźnie wydłużony charakter.

Bezpośredni wpływ na kształtującą się strefę brzegową ma nie tylko morfologia otoczenia, ale przede wszystkim rzeźba samej misy zbiornika. W związku z brakiem aktualnej batymetrii zbiornika pakoskiego na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych, tj. planów batymetrycznych jezior oraz map topograficznych ich najbliższego otoczenia w skali 1:5 000 z okresu poprze-

Tabela 4. Parametry zbiornika pakoskiego

Parametr	Wartość
Powierzchnia:	
– przed piętrzeniem	8,1 km ²
– po piętrzeniu (79,4 m n.p.m.)	13,02 km ²
Pojemność całkowita:	
– przed spiętrzeniem	40,6 mln m ³
– po spiętrzeniu (79,4 m n.p.m.)	86,46 mln m ³ (wzrost o 110 %)
– pojemność użytkowa	41,36 mln m ³ (48 %)
Głębokość :	
– średnia	9,2 m
– maksymalna	18,6 m
Szerokość:	
– średnia	0,74 km
– maksymalna	2,0 km
Długość	20,1 km
Całkowita długość linii brzegowej	50,55 km*

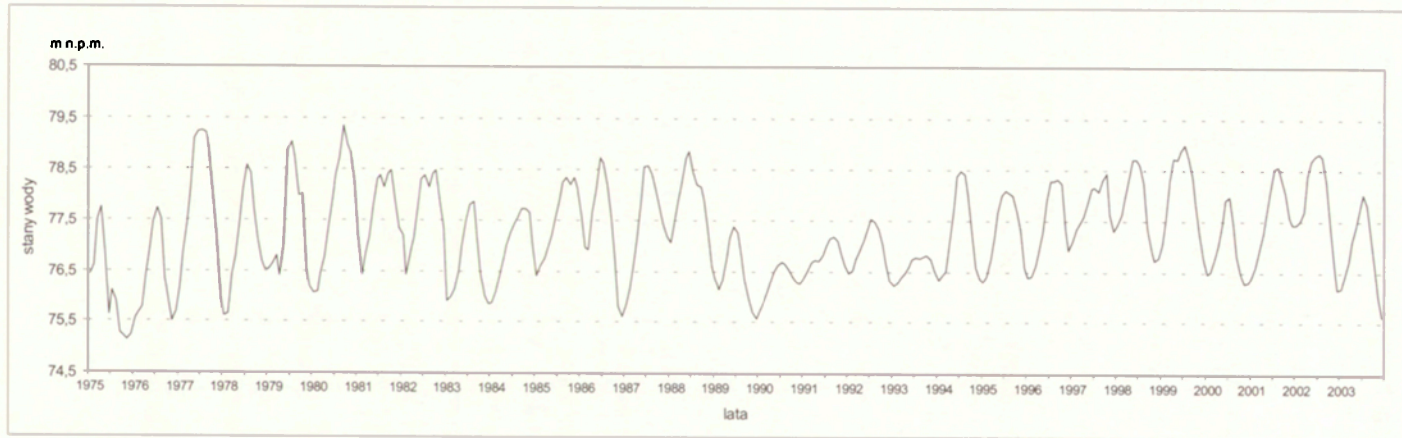
* – na podstawie mapy w skali 1 : 10 000

dzającego piętrzenie, po uwzględnieniu 4,5-metrowego wzrostu poziomu wody, wykreślono mapę głębokości zbiornika pakoskiego przy maksymalnym stanie wody (ryc. 1). Dokonana kompilacja materiałów pozwoliła na określenie głównych cech morfologicznych misy zbiornika. Omówiona wcześniej asymetria zbczy rynny kontynuuje się także w obrębie misy zbiornika. Oś formy jest przesunięta w kierunku wschodnim. Nachylenie wschodniego zbcza misy jest zdecydowanie większe niż zachodniego, podobnie jak głębokości występujące w pobliżu linii brzegowej. Jest to zapewne, poza zachodnią ekspozycją bardziej narażoną na działanie wiatrów, jeden z głównych czynników warunkujących większy udział odcinków abrazyjnych ze zdecydowanie wyższym klifem wzdłuż brzegu wschodniego niż przeciwległego zachodniego. Zachodnie zbcze misy jest łagodniejsze a linii brzegowej towarzyszą rozległe płycizny. Zalany w wyniku piętrzenia pas, tj. pomiędzy rzędną 74,9 a 79,4 m n.p.m. osiąga tu ponad 100 metrów szerokości przy nachyleniu 6–7°. Ponadto, w morfologii misy zaznaczają się dwa głęboczki. Pierwszy zlokalizowany jest w północnej części Jez. Pakoskiego Północnego, drugi u wlotu do Zatoki Kołudzkiej w środkowej części Jez. Pakoskiego Południowego. Ich obecność nasila intensywność procesu abrazyj na towarzyszących im odcinkach brzegu wschodniego, co znajduje swoje odzwierciedlenie w charakterze towarzyszącej im strefy brzegowej.

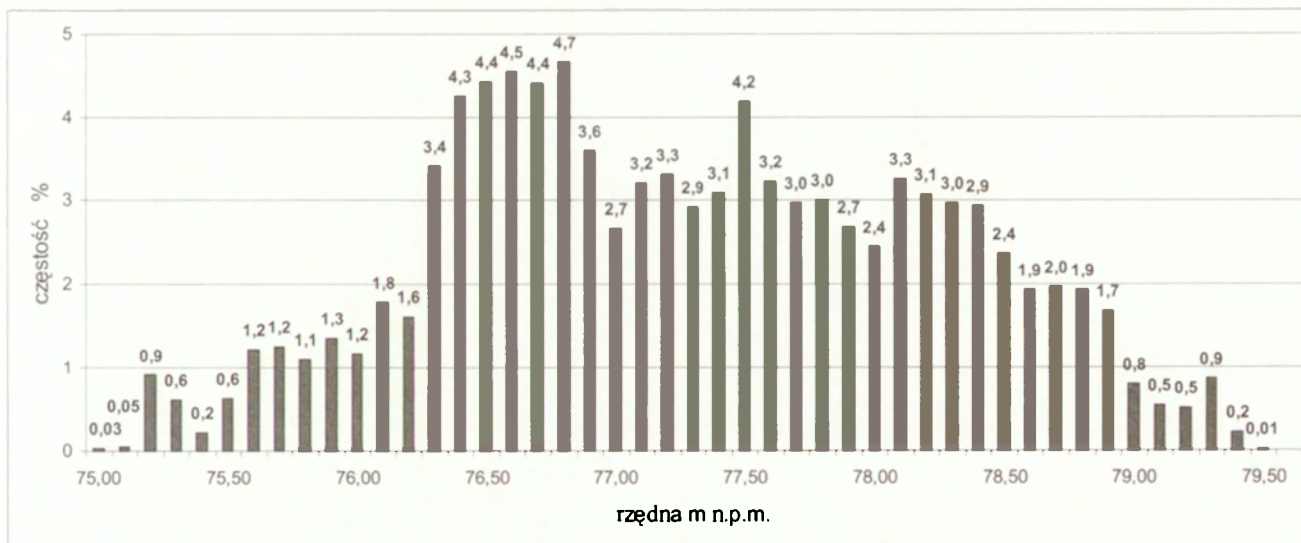
2.6. WAHANIA STANÓW WODY I PRZEBIEG ZJAWISK LODOWYCH

Czynnikiem sprawczym wywołującym przekształcanie strefy brzegowej zbiornika jest falowanie wiatrowe, które uruchamia proces abrazyj brzegu, a następnie sortowanie, transport i akumulację osadu. Przebieg tych procesów, zależny jest nie tylko od parametrów fal – ich wysokości czy intensywności falowania i związanych z nimi prądów przybrzeżnych, ale również od reżimu pracy urządzeń piętrzących. Warunkują one charakter występujących na zbiorniku stanów wody. G.I. Ovčinnikov i in. (2002) podaje, iż ich wpływ przejawia się poprzez m. in.:

- wielkość wahań poziomu wody, które bezpośrednio wpływają na szerokość przekształcaniej strefy brzegowej;
- prędkość piętrzenia i zrzutu wody ze zbiornika, która określa czas oddziaływania falowania na daną część strefy brzegowej,
- długość okresu o niezmiennych, względnie małych amplitudach wahań stanów wody,
- roczny i wieloletni cykl wahań poziomu wody.



Ryc. 3. Średnie miesięczne stany wody na zbiorniku pakoskim w latach 1975–2003
Mean monthly water levels in the Pakość Reservoir in 1975–2003



Ryc. 4. Histogram częstości dobowych stanów wody na zbiorniku pakoskim w latach 1975–2003
Histogram of frequency daily dates water levels in the Pakość Reservoir in 1975–2003

Na zbiorniku pakoskim nie prowadzono badań falowania. Jego podstawowe parametry obliczono na podstawie wzorów:

1. Adriejanova, gdzie wysokość (H) i długość fali wyliczona jest na podstawie prędkości wiatru w m/s (V) i długości rozbiegu fali w km (D):

$$H = 0,0208 V^{5/4} D^{1/3};$$

$$L = 0,304VD^{1/2}$$

Dla wzorów tych zastosowano współczynniki korygujące, wyznaczone przez Okulanisa dla podobnej wielkości i morfologii Jezior Raduńsko-Ostrzyckich (1981), które wynoszą odpowiednio dla wysokości fali $H = 0,0112$ i jej długości $L = 0,132$;

2. Djakovej, który uwzględnia również średnią głębokość jeziora (F):

$$H = 0,0186 V^{0,71} D^{0,24} F^{0,54}, \text{ (Piętrzenie Jeziora Pakość..., 1956).}$$

Obliczone na ich podstawie parametry fal, przy maksymalnych obserwowanych wartościach uwzględnianych parametrów, tj. prędkości wiatru równej 15 m/s, odległości rozbiegu fali 5,5 km oraz średniej głębokości akwenu – 9,2 m, wynoszą:

– wysokość fali (średnia z dwóch wzorów) – $H = 0,60$ m,

– długość fali – $L = 4,64$ m.

Pełnione przez zbiornik pakoski głównie funkcje retencyjna i przeciwpodziowa determinują reżim stanów wody w tym akwenu. W okresie zimowo-wiosennym gromadzone są w nim wody roztopowe w celu zabezpieczenia przed zalaniem doliny Noteci poniżej zbiornika i zmagazyrowania jej dla celów przemysłowych. Natomiast w okresie letnio-jesiennym zgromadzona woda wykorzystywana jest do nawodnień pól i zabezpieczenia przepływów nienaruszalnych na Noteci Połączonej poniżej zbiornika. Pełnione funkcje jak również fakt, iż blisko połowa wody w nim gromadzonej to pojemność użytkowa (tab. 4) sprawiają, iż w ciągu roku na zbiorniku tym dochodzi do znacznych wahań stanów wody (ryc. 3). Dopuszczalna w *Instrukcji eksploatacji zbiornika* amplituda wahań stanów wody wynosi 3,9 m. Wahają się one od 75,5 m n.p.m., tj. 0,6 m powyżej maksymalnych stanów wody występujących na tych jeziorach przed ich spiętrzeniem, do 79,4 m n.p.m. Naturalne wahania stanów wody w tych jeziorach przed ich spiętrzeniem, jak i większości jezior o podobnym typie zasilania na tych obszarach, oscylowały w granicach 0,5 m.

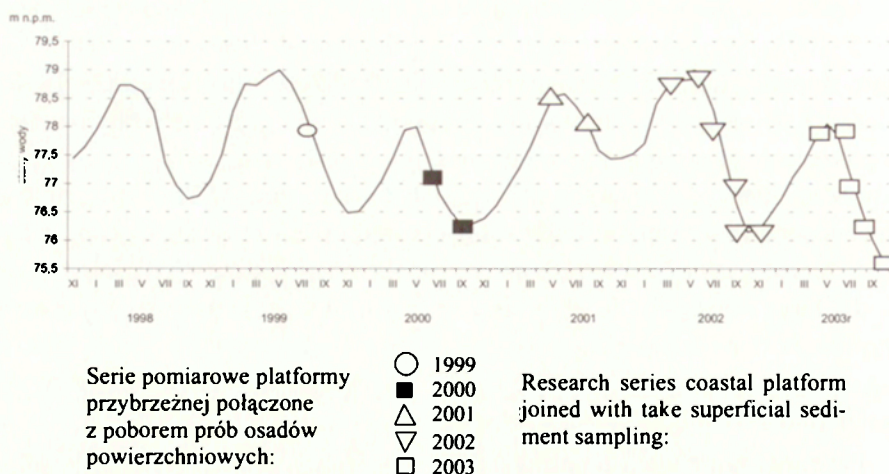
Zmiany stanów wody zarówno w okresie piętrzenia, jak i zrzutu wody mają charakter jednostajny i stałą tendencję. W okresie jesienno-zimowym rosnącą, a w okresie wiosenno-letnim malejącą. Zmieniają się one jednostajnie, od 1 do 3 cm na dobę. W rocznym przebiegu stanów wody nie obserwuje się okresów dłuższego utrzymywania się jej na jednym poziomie.

Analizując stany wody w zbiorniku w całym okresie jego eksploatacji, lata 1975–2003 (ryc. 3), można stwierdzić, iż tylko sporadycznie przekraczały one stany dopuszczalne. O ile w pierwszych latach jego eksploatacji (1975–1980) zdarzały się okresy kilkucentymetrowego obniżania poziomu wody poniżej dopuszczalnego minimum to w późniejszym okresie sytuacje takie nie wystąpiły. Stany maksymalne na zbiorniku zostały przekroczone tylko w lipcu 1980 r. Roczne amplitudy stanów wody wynoszą średnio 2,4 m i wahają się między 0,65 m (1993 r.) a 3,59 m (1980 r.). Z analizy histogramu częstości stanów wody, które wystąpiły na zbiorniku w całym okresie jego funkcjonowania wynika, że stany średnie najczęściej występowały na wysokości 76,4–76,9 m n.p.m., co stanowi 24% obserwowanych stanów wody (ryc. 4). Odbywa się tam najintensywniejsze przekształcanie strefy brzegowej.

Przy maksymalnych amplitudach stanów wody powierzchnia zbiornika zmniejsza się o 4,7 km², tj. o 36%. Oznacza to, iż 1/3 czaszy zbiornika może być okresowo zalewana i osuszana.

Podczas prowadzonych badań stany wody na zbiorniku pakoskim mieściły się w przyjętych normach eksploatacyjnych (ryc. 5). Stany wysokie występowały na przełomie miesięcy wiosenno-letnich, natomiast niskie w okresach jesiennych. Najwyższe stany wody wystąpiły w maju 1999 r. – 79,04 m n.p.m., najniższe natomiast w ostatnim okresie prowadzonych badań terenowych, we wrześniu 2003 r. – 75,57 m n.p.m., tj. zaledwie 7 cm powyżej dopuszczalnego minimum (tab. 5). Roczne amplitudy wahały się od 1,90 m do 2,84 m. W analizowanych latach, zarówno minimalne jak i maksymalne stany wody osiągały różne rzędne, co ma bezpośredni wpływ na proces abrazji brzegów zbiornika. W latach o niskich osiąganych stanach maksymalnych, jakie wystąpiły w 2000 i 2003 r., znacznie ograniczona zostaje dostawa świeżego materiału z brzegu klifowego w obręb podwodnej części strefy brzegowej. Stany maksymalne w tym okresie oscylowały między 78,12 a 79,04 m n.p.m. a stany minimalne w przedziale 75,57–76,63 m n.p.m.

Uchwycony w analizowanym 5-leciu duży zakres poziomu piętrzenia zbiornika umożliwił przeanalizowanie procesów przekształcania strefy brzegowej w granicach maksymalnych występujących na zbiorniku amplitud stanów wody (ryc. 3). Umożliwiło to analizę procesów kształtowania strefy brzegowej zarówno w okresach małej, jak i dużej dostawy materiału z aktywnych klifów. Z kolei stany niskie, zbliżone do absolutnych dopuszczalnych wartości minimalnych umożliwiły dokładne zbadanie znacznej części platformy przybrzeżnej oraz występujących tu form akumulacyjnych. Szczególnie korzystne pod tym względem były lata 2002 i 2003, w których to amplitudy stanów wody wynosiły odpowiednio 2,84 i 2,55 m, a osiągnięte stany maksymalne i minimalne były zbliżone do wartości dopuszczalnych (ryc. 5).



Ryc. 5. Średnie miesięczne stany wody na zbiorniku pakoskim w okresie prowadzonych badań w latach, 1998–2003

Mean monthly water levels in the Pakość Reservoir in research period, 1998–2003

Okres zlodzenia zbiornika to z jednej strony wygaszenie procesu przebudowywania strefy brzegowej przez falowanie, z drugiej natomiast okres intensywnego niszczenia brzegu przez pokrywę lodową (Gierszewski 1988; Banach 1981, 1994; Hellsten 1998; Ovčinnikov 1999; Tavast, Raukas 2002; Rzętała 2003).

Obserwacje zjawisk lodowych występujących na zbiorniku pakoskim prowadzone są przez pracowników Nadzoru Wodnego w Pakości. Oddają one ich charakter w strefie przyzaporowej i obejmują czas występowania zjawisk lodowych oraz pomiary miąższości pokrywy lodowej.

Tabela 5. Amplitudy stanów wody na zbiorniku pakoskim w latach hydrologicznych 1998–2003

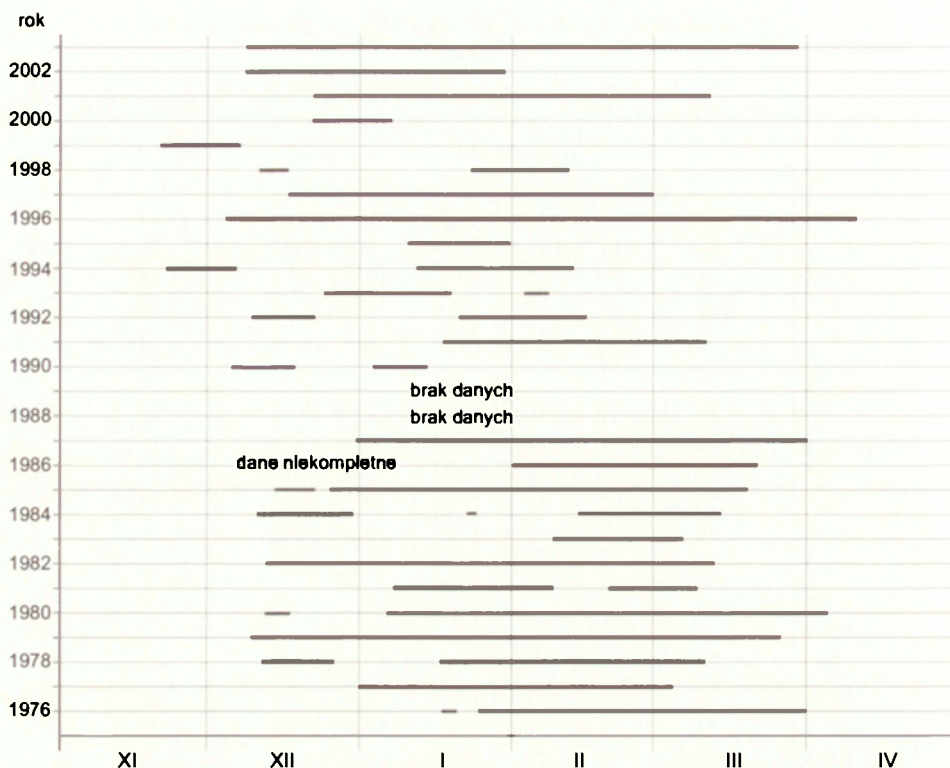
Rok hydrologiczny	Osiągnięta wartość minimalna (m n.p.m.)	Data	Osiągnięta wartość maksymalna (m n.p.m.)	Data	Amplituda (m)
1998	76,63	11.09.1998	78,84	18–19.03.1998	2,21
1999	76,57	31.10.1999	79,04	13–14.05.1999	2,47
2000	76,24	11.09.2000	78,14	5–9.05.2000	1,90
2001	76,31	1.11.2000	78,68	7–8.06.2001	2,37
2002	76,05	24.10.2002	78,89	22–24.05.2002	2,84
2003	75,57	20–25.10.2003	78,12	28.05.2003	2,55

Tabela 6. Czas trwania pokrywy lodowej na zbiorniku pakoskim w latach 1975–2003

Lata	Liczba dni	%	Zakres czasowy występowania zwrtej pokrywy lodowej		Maksymalna miąższość
			początek	koniec	
1975	brak danych				
1976	71	19	17.01.1976	30.03.1976	30
1977	63	17	1.01.1977	4.03.1978	28
1978	70	19	17.12.1977	11.03.1978	29
1979	108	29	9.12.1978	26.03.1979	40
1980	97	26	12.12.1979	4.04.1980	30
1981	41	11	7.01.1981	9.03.1981	16
1982	91	25	12.12.1981	12.03.1982	26
1983	26	7	9.02.1983	6.03.1983	12
1984	32	8	10.12.1983	14.03.1984	20
1985	94	26	14.12.1984	19.03.1985	26
1986*	49	13	1.02.1986	21.03.1986	27
1987	90	25	1.01.1987	31.03.1987	36
1988	brak danych				
1989	brak danych				
1990	24	7	5.12.1989	13.01.1990	8
1991	54	15	17.01.1991	11.03.1991	25
1992	41	11	9.12.1991	16.02.1992	12
1993	33	9	24.12.1992	8.02.1993	26
1994	45	12	22.11.1993	13.03.1994	17
1995	22	6	10.01.1995	31.01.1995	12
1996	129	35	4.12.1995	10.04.1996	34
1997	70	19	17.12.1996	28.02.1997	35
1998	28	8	11.12.1997	12.02.1998	10
1999	78	21	21.11.1998	1.03.1999	22
2000	48	13	22.12.1999	7.02.2000	17
2001	81	22	22.12.2000	12.03.2001	14
2002	54	15	8.12.2001	29.01.2002	25
2003	112	31	8.12.2002	29.03.2003	27
Razem	1651	17	21.11.1998	10.04.1996	40
Srednia	65,5				25

* dane niekompletne

Czas zalegania pokrywy lodowej na zbiorniku pakoskim w okresie 1975–2003 r. (w latach 1988 i 1989 nie prowadzono obserwacji) wahał się od 24 dni w 1990 r. (7% dni w roku) do maksymalnie 128 dni w roku 1996 (35% dni w roku), średnio 63,5 dnia (tab. 6). Stała pokrywa lodowa pojawia się najczęściej w grudniu. Najwcześniej 21.11.1998 r. a najpóźniej 17 stycznia w 1976 i 1991 r. Całkowity jej zanik następował najczęściej w marcu, rzadziej na początku kwietnia; najwcześniej 13.01.1990 r., a najpóźniej 10.04.1996 r. Należy podkreślić, iż na okres występowania na zbiorniku pokrywy lodowej przypada faza jego spiętrzania.



Ryc. 6. Występowanie pokrywy lodowej na zbiorniku pakoskim w latach 1975–2003
Ice cover occurrence on the Pakość Reservoir in 1975–2003

Maksymalna grubość lodu wahała się od 8 cm (1990 r.) do 40 cm (1979 r.), średnio 25 cm. Ze względu na niewielką miąższość lodu w okresach śródmiejowych ociepleń dochodzi do jej całkowitego stopienia. W związku z tym przebieg zjawisk lodowych na zbiorniku składa się najczęściej z kilku, 2–3 faz zlodzenia (ryc. 6).

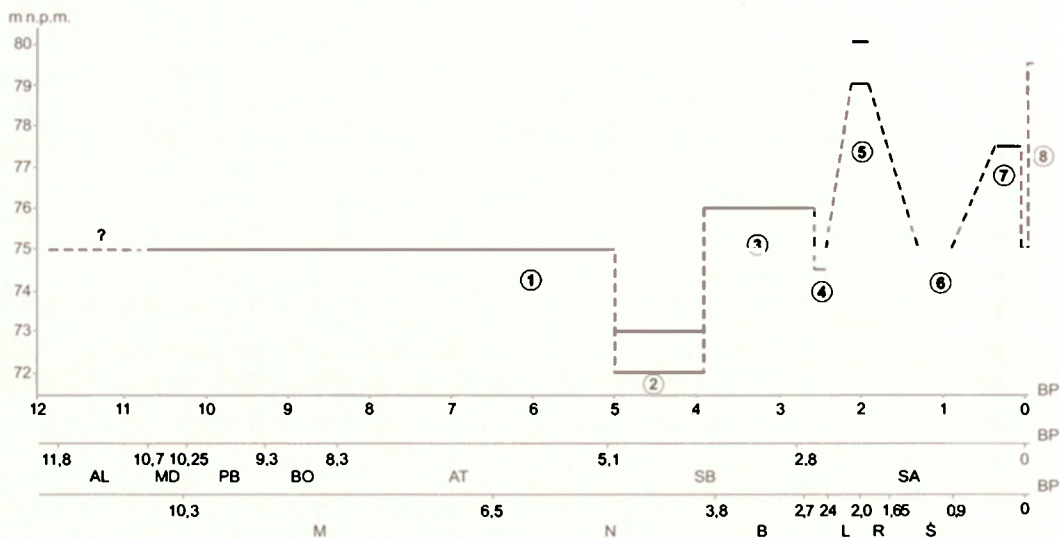
Jak już zaznaczono obserwacje zjawisk lodowych dotyczą tylko przyzaporowej części zbiornika. Obserwacje przeprowadzone w okresie prowadzonych badań, w latach 1998–2003, wykazały, że w centralnej i południowej części zbiornika ich przebieg jest odmienny. Pokrywa lodowa formuje się tam zdecydowanie później, 2–3 tygodnie, a w przypadku cieplejszych zim nie formuje się wcale. Jest to zapewne wynik nie tylko znacznych różnic występujących głębokości, ale ma związek ze zrzutem wód ciepłowniczych Janikowskich Zakładów Sodowych w środkowej części Jez. Pakoskiego Północnego, oraz zasilaniem wodami gruntowymi, których szczególnie intensywne wypływy występują w strefie brzegowej Jez. Pakoskiego Południowego. Na wpływ tych czynników na termikę wód w Jeziorach Pakoskich, jeszcze przed ich spiętrzeniem, zwrócił uwagę Cz. Pietrucień (1976). Jego badania wykazały, iż tempe-

ratura wody w okresie wiosennym (marzec 1973 r.) w północnej części Jeziora Pakoskiego Południowego na odcinku od Zatoki Kołudzkiej do zamykającego tą część akwenu mostu drogowo-kolejowego w wyniku zasilania wodami gruntowymi o temperaturze 7°C wzrosła z $2,8^{\circ}\text{C}$ do $3,6^{\circ}\text{C}$. Dalszy wzrost temperatury, do $4,7^{\circ}\text{C}$ zaobserwowano również we wspomnianej strefie zrzutu wód pochłodniczych. W ostatnich latach ich ilość została zredukowana, jednak nadal w strefie tej pokrywa lodowa pojawia się zdecydowanie później niż w innych częściach akwenu.

3. PRZEKSZTAŁCENIA STREFY BRZEGOWEJ JEZIOR PAKOSKICH W CZASACH HISTORYCZNYCH ORAZ WSPÓŁCZEŚNIE W WYNIKU DOKONANEGO SPIĘTRZENIA

Termin strefa brzegowa obejmuje przestrzeń rozciągającą się od krawędzi klifu nadwodnego bądź wyznaczającej maksymalny zasięg fal formy akumulacyjnej (wału) do podnóża stoku (skłonu) platformy przybrzeżnej. W zależności od głębokości towarzyszącej linii brzegowej, która pośrednio warunkuje jego nachylenie, mówimy o brzegu przygłębiowym i przyplyciznowym. M. Banach (1994) za brzeg przygłębiowy uznaje taki gdzie „*kąty zalanych stoków doliny są większe od 4°*”, a za przyplyciznowy taki gdzie „*kąty zalanych stoków doliny są mniejsze od 4°*” (Banach 1994, s. 20). W przypadku zbiornika pakoskiego termin ten zastosowano w mniej ścisłym ujęciu. Za brzeg przyplyciznowy uznano te jego fragmenty, którym towarzyszą połogie, szerokie powierzchnie, zalane w wyniku dokonanego spiętrzenia, a nadwodny stok towarzyszący linii brzegowej cechuje się niewielkim, kilkustopniowym nachyleniem. Natomiast brzeg przygłębiowy cechuje znaczne nachylenie stoku, zarówno w części nadwodnej jak i podwodnej. Charakter zalanego stoku i głębokości występujące wzdłuż linii brzegowej bezpośrednio po dokonanych spiętrzeniu oceniono na podstawie archiwalnych materiałów kartograficznych, głównie map topograficznych w skali 1:5 000 (*Mapa Topograficzna 1:5 000, Jezioro Pakoskie*, 1956) i panchromatycznych zdjęć lotniczych.

Naturalny poziom wody w Jeziorach Pakoskich przed ich spiętrzeniem kształtował się na wysokości około 75 m n.p.m. Jednak w przeszłości poziom ten, a tym samym zasięg strefy brzegowej, podlegał licznym zmianom. Przed spiętrzeniem w otoczeniu Jezior Pakoskich prowadzone były, zakrojone na szeroką skalę, badania paleogeograficzne, paleobotaniczne i archeologiczne (Niewiarowski 1976). Wykazały one, iż jezioro w obrębie rynny występowało już co najmniej od młodszego dryasu, tj. ok. 10,5 ka BP, a poziom jego wód kształtował się na wysokości ok. 75 m n.p.m. Jednak w jego holocenijskiej historii można wyróżnić wyraźne okresy wyższego położenia lustra wody (ryc. 7). Pierwszy – to schyłek okresu subborealnego (ok. 4 ka BP), ze zwierciadłem wód kształtującym się na poziomie 76 m n.p.m., drugi – przełom I w. p.n.e. / I w. n.e. (z poziomem wody zalegającym na wysokości 79–80 m n.p.m. a być może dochodzącym do 81 m n.p.m.) i trzeci – trwający od końca XI do 2 połowy XIX w. (kiedy to po okresie niskiego poziomu utrzymującego się



Ryc. 7. Wahania poziomu wody w Jeziorze Pakoskim od jego powstania do spiętrzenia w 1975 r., na podstawie W. Niewiarowski, 1976. Wskaźniki na podstawie których określono wysokość poziomu wody w jeziorze: 1 – ślady osadnictwa neolitycznego, 2 – torfy w rynnie pakoskiej i węgierskiej, 3 – namuł jeziorny na obrzeżach wyspy w Jankowie, powyżej warstwy “neolitycznej”, 4 – osadnictwo halsztackie (kultura łużycka) na wyspie, 5 – osadnictwo późnolateńskie i wczesnorzymskie (kultura przeworska) na obrzeżach rynny na wysokości 80 m n.p.m., 6 – osadnictwo na wyspie w okresie od VII do X/XI w., 7 – podniesienie poziomu wód jeziora trwające do 2 połowy XIX w. (przeprowadzenie melioracji), 8 – obecny poziom wód w zbiorniku. AL – alleröd, MD – młodszy dryas, PB – okres preborealny, BO – okres borealny, AT – okres atlantycki, SB – okres subborealny, SA – subatlantycki; M – mezolit, N – neolit, B – brąz, H – okres halsztacki, L – okres lateński, R – okres wczesnorzymski, Ś – średniowiecze

Water level fluctuation in Pakość Lake from its rise to 1975, base on W. Niewiarowski, 1976. Indicators historical water level elevation in lake: 1 – trace Neolithic settlement, 2 – peat in Pakość and Węgierce channels, 3 – lacustrine silt above Neolithic layer on island in Jankowo, 4 – Hallstatt period settlement on island (Lusatian Culture), 5 – late La Tene and early Middle Ages settlement (Przeworsk Culture) on channel slope on elevation 80 m a.s.l, 6 – settlement on island since VII to X/XI century, 7 – natural rise water level in lake going to middle of XIX century, 8 – present water level in reservoir, AL – Alleröd, MD – Younger Dryas, PB – pre-Boreal period, BO – Boreal period, AT – Atlantic period, SB – sub-Boreal period, SA – sub-Atlantic period; M – Mesolithic Period, N – Neolithic period, B – Bronze period, L – La Tene period, R – early Roma period, Ś – late Middle Ages

w okresie średniowiecza wody podniosły się do 77,5–78,0 m n.p.m.). Przekopanie w 1774 r. Kanału Noteckiego oraz przeprowadzenie w połowie XIX w. na obszarze Kujaw prac melioracyjnych, doprowadziło do obniżenia poziomu wód w jeziorach na tych terenach średnio o ok. 2,5 m (Skarżyńska 1963). W Jeziorze Pakoskim (Kaniecki 1997) lustro wody obniżyło się o 76 cm, a w Bronisławskim – o 66 cm (stan z roku 1861). Powierzchnia tego ostatniego zmniejszyła się o 42%. Lustro wody w Jez. Pakoskim w początku XX w. ukształtowało się na wysokości niespełna 75 m n.p.m. (Niewiarowski 1976), a jego wahania stanów wody oscylowały w granicach 0,5–0,6 m.

W 1975 roku Jezioro Pakoskie zostało spiętrzone o 4,5 m, do poziomu 79,4 m n.p.m. i obecnie pełni funkcję zbiornika retencyjnego o rocznym cyklu pracy. Poziom wody, jak już wspomniano, oscyluje w granicach 75,5–79,4 m n.p.m., a roczne wahania stanów wody dochodzą do 3,6 m.

Bezpośrednim efektem piętrzenia jeziora, jest transformacja jego strefy brzegowej, w stopniu zależnym od wysokości dokonanego piętrzenia. Według D.P. Finarova (1986) kryterium pozwalającym na określenie, z jaką sytuacją mamy do czynienia, jest stosunek długości 0,1% fali głębokowodnej występującej na jeziorze przed jego piętrzeniem do wysokości spiętrzenia. Jeśli wysokość spiętrzenia przekracza połowę długości tej fali wówczas dochodzi do całkowitego zatopienia istniejącej i kształtowania się nowej strefy brzegowej akwenu. Jezioro zostaje wówczas przekształcone w zbiornik pochodzenia jeziorowego.

Posiłkując się wspomnianymi już wzorami:

1. Adriejanova, gdzie wysokość (H) i długość fali wyliczona jest na podstawie prędkości wiatru w m/s (V) i długości rozbiegu fali w km (D):

$$H = 0,0208 V^5/4D^{1/3} ;$$

$$L = 0,304VD^{1/2} ,$$

z uwzględnieniem współczynników korygujących dla $H = 0,0112$ i $L = 0,132$ wyznaczonych przez Okulanisa dla podobnej wielkości i morfologii Jezior Raduńsko-Ostrzyckich (1981);

2. Djakovej wykorzystującej również średnią głębokość jeziora (F):

$$H = 0,0186 V^{0,71} D^{0,24} F^{0,54} ,$$

możemy stwierdzić, iż przy maksymalnych obserwowanych wartościach uwzględnianych parametrów, tj. prędkości wiatru równej 15 m/s, odległości rozbiegu fali 5,5 km oraz średniej głębokości akwenu wynoszącej przed spiętrzeniem 5,6 m, fale osiągały 0,5 m wysokości (średnia wyznaczona z dwóch wzorów) oraz długość 4,64 m. Oznacza to, iż spiętrzenie jezior w omawianym przypadku znacznie przekroczyło swą wartością górną granicę przyjmowaną przez D.P. Finarova (1986), przy której możemy mówić jeszcze o piętrzonym

jeziorze. Należy zatem spodziewać się tutaj całkowitego zatopienia istniejącej, w pełni ukształtowanej strefy brzegowej jeziora i rozpoczęcia rozwoju nowej, zbiornikowej strefy brzegowej (Grobelska 2002b).

W trakcie tworzenia zbiornika pakoskiego pod wodą znalazł się pas o szerokości od kilku metrów przy brzegach stromych do ponad 100 metrów przy brzegach łagodnych, o nachyleniu 6–7°. Czasza zbiornika tylko częściowo została przygotowana pod zalew. Po wycięciu drzew rosnących w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej jezior pozostały pnie. Są one ważnym czynnikiem modelującym przebieg i intensywność procesów obecnie zachodzących w tej strefie. Pnie te sprzyjają tworzeniu się form akumulacyjnych w bezpośrednim kontakcie z nimi. Ponadto, ograniczają tempo abrazji brzegów. W trakcie tworzenia zbiornika w jego bezpośrednim otoczeniu, powyżej poziomu piętrzenia posadzono około 90 tysięcy drzew, głównie wierzb, olszyn i lip (*Stopień wodny...*, 1971). Obecnie mają one 5–6 m wysokości. Od strony zbiornika towarzyszą im krzewy, „samosiejki”. Pas ten przy wyższych stanach wody jest podtapiany, a jego zanurzenie przekracza 1 m. Razem z pozostałymi po wycince pniami drzew pełni on funkcje ochronne brzegów zarówno poprzez system korzeniowy, jak i w wyniku wygaszania energii falowania na zanurzonych drzewach i krzewach (fot. 3).



Fot. 3. Wymyte korzenie drzew rosnących w zasięgu wahań wody, Gociwie
Trees roots growing in water fluctuation zone, Gociwie



Fot. 4. Okresowo osuszana góra część platformy przybrzeżnej pokryta kamienistym residuum, niski brzeg abrazyjny, Kołuda Mała
Periodically drying out upper part of coastal platform covered by stone residuum, abrasive low coast, Kołuda Mała



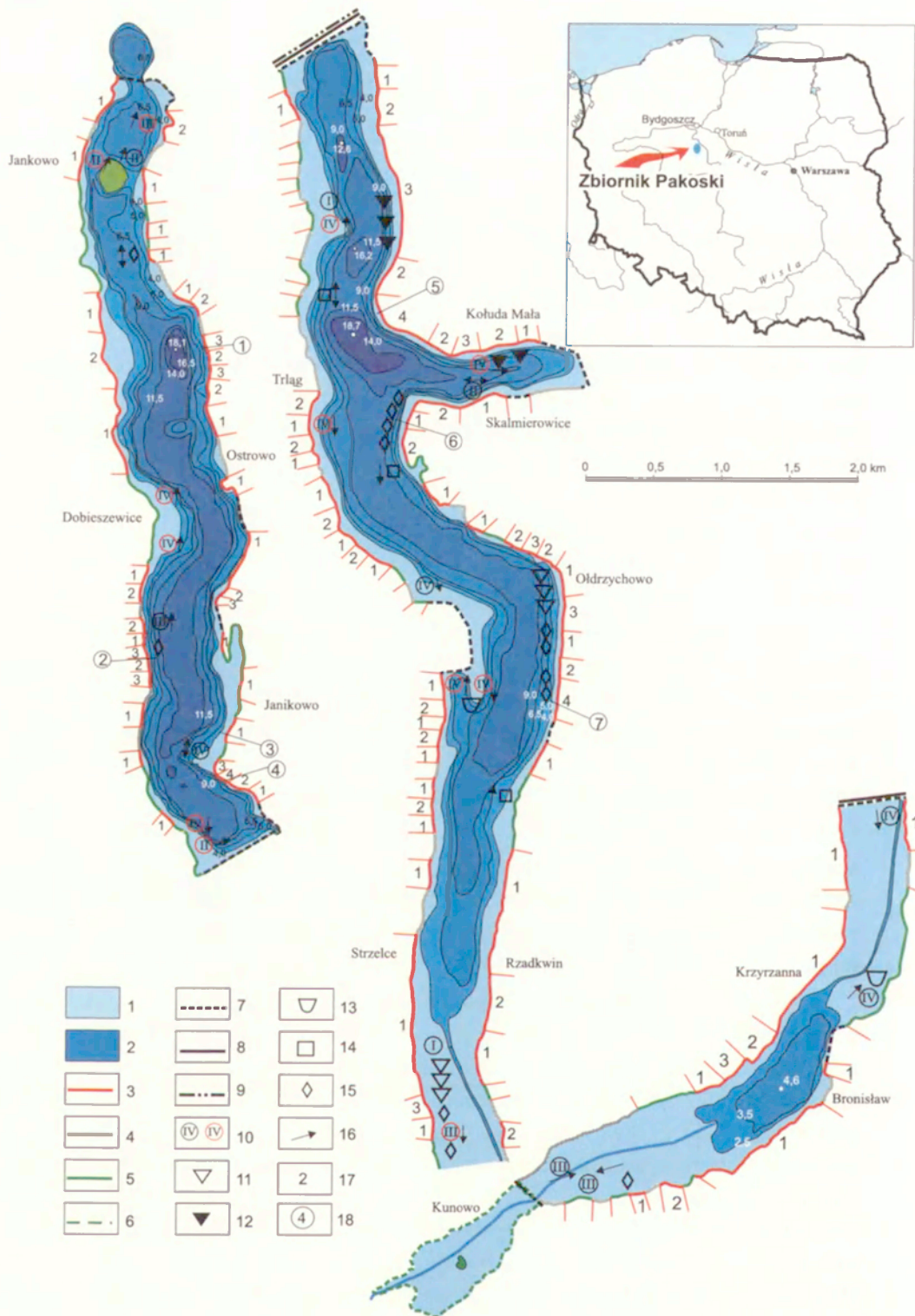
4. TYPOLOGIA BRZEGÓW ZBIORNIKA PAKOSKIEGO

W celu określenia stopnia przekształcenia strefy brzegowej zbiornika pakoskiego po blisko 30. latach jego eksploatacji oraz kierunków obecnie zachodzących w jej obrębie procesów wykonano szereg prac terenowych, m. in. kartowanie brzegów na podkładzie map w skali 1:10 000, rozpoznanie miąższości i charakteru osadów w obrębie okresowo osuszanej części platformy przybrzeżnej na podstawie wierceń świdrem ręcznym, geodezyjne pomiary okresowo osuszanej części platformy przybrzeżnej w profilach poprzecznych reprezentujących fragmenty brzegu o długości od 100 do 300 metrów. Ponadto, monitorowano zmienność platformy przybrzeżnej wzdłuż abrazyjnych odcinków brzegu, którym towarzyszą czynne klify o wysokości od 0,5 do 5 m, poprzez pomiary geodezyjne okresowo wynurzanej części platformy przybrzeżnej i sondowania podwodnej jej części, połączone z rozpoznaniem osadów powierzchniowych.

Ogólna długość brzegów zbiornika pakoskiego wyliczona z map topograficznych w skali 1:10 000 wynosi 50,55 km, z czego blisko 3,5 km stanowią brzegi pierwszej, najbardziej na południe położonej części zbiornika zwanej Jeziorem Kunowskim lub Kunowo. Obecnie ze względu na istniejącą zastawkę utrzymywany jest w nim stały poziom wody. Dlatego też przy dalszych analizach strefa brzegowa tej części akwenu została pominięta (tab. 7).

W zależności od indywidualnych uwarunkowań zbiorników, stosuje się szereg klasyfikacji brzegów uwzględniających takie cechy jak: morfometrię strefy brzegowej, litologię występujących osadów czy charakter i dynamikę zachodzących procesów. Szeroki ich przegląd i dyskusję zaprezentował w swojej pracy M. Banach (1994).

W badaniach strefy brzegowej zbiornika pakoskiego, zastosowano klasyfikację opartą na najczęściej stosowanym w tego typu badaniach kryterium genetycznym (Drwał, Gołębiwski 1964; Banach 1988, 1994; Ovčinnikov 1996; Horský, Spanila 1997). Obejmuje ona pięć, powszechnie wyróżnianych typów brzegu: 1) abrazyjny, 2) akumulacyjny, 3) neutralny, 4) umocniony i 5) biogeniczny. W przypadku zbiorników cechujących się kilkumetrowymi, cyklicznymi zmianami stanami wody, na danym fragmencie brzegu procesy zachodzące przy wysokim i niskim stanie wody nie są tożsame (Horský, Spanila 1997; Ovčinnikov 1999; Rzętała 2003), a niekiedy wręcz przeciwstawne. Przykładowo, w trakcie prowadzonych na zbiorniku pakoskim badań wzdłuż



aktywnych klifów, niszczone przy wysokich stanach wody, przy stanach niższych obserwowano sezonowe formy akumulacyjne, brzegi biogeniczne ulegały słabej abrazyj, a neutralne okresowo przybierały charakter akumulacyjny lub abrazyjny (Grobelska 1999, 2000). Dlatego też, uwzględniając powyższą zmienność, charakter poszczególnych odcinków brzegu zbiornika pakoskiego rozpatrywano całościowo, biorąc pod uwagę wypadkową procesów zachodzących na danym jego fragmencie w pełnym cyklu pracy zbiornika.

1) Za brzeg o charakterze *abrazyjnym* uznano taki jego fragment, w którym w danym, pełnym cyklu pracy zbiornika, tj. od jednego do drugiego stanu maksymalnego, obserwuje się ubytek osadów w górnej części platformy przybrzeżnej (płycizny przybrzeżnej). Na jej powierzchni zupełnie brak osadów lub występuje tylko żwirowo-kamieniste residuum (fot. 4). Najczęściej towarzyszy mu aktywny, cofający się klif. Brzeg abrazyjny w zależności od wysokości klifu rozdzielono na cztery klasy: a) poniżej 0,5 m; b) 0,5–1,0 m; c) 1,0–1,5 m i d) powyżej 1,5 m (tab. 7; ryc. 1; ryc. 8).

2) Za brzeg *akumulacyjny* przyjęto taki jego fragment, gdzie na odślanianej przy niskich stanach wody części platformy przybrzeżnej występują zakumulowane osady, najczęściej piaszczysto-żwirowe. Osady te często przyjmują postać różnorodnych form akumulacyjnych, częściowo utrwalonych roślinnością.

3) Trzeci z wyróżnionych typów to brzeg neutralny. Za taki uznano te jego fragmenty gdzie nie zauważono trwałych, zachowujących się w pełnym cyklu pracy zbiornika przejawów współcześnie zachodzącego procesu abrazyj lub akumulacji. W ich obrębie, na powierzchni okresowo wynurzanej części platformy przybrzeżnej, która ma najczęściej postać nie przekształconego pier-

Ryc. 8. Klasyfikacja brzegów zbiornika pakoskiego (Grobelska 2002a; zmienione). 1 – powierzchnia zbiornika przy maksymalnym piętrzeniu, 2 – powierzchnia jezior przed piętrzeniem, brzegi: 3 – abrazyjny, 4 – neutralny, 5 – akumulacyjny, 6 – biogeniczny, 7 – umocniony; 8 – droga, 9 – kolej; formy akumulacyjne: 10 – kosa, cyfry rzymskie wewnątrz sygnatury oznaczają wielkość formy: I – 0–5 m; II – 5–10 m; III – 10–15 m; IV – ponad 15 m, kolorem czarnym zaznaczono formy stałe, kolorem czerwonym formy sezonowe, 11 – cypel swobodny, 12 – cypel wymuszony, 13 – odsyp piaszczysty, 14 – mierzeja, 15 – wał brzegowy, 16 – kierunek przyrastania formy, 17 – wysokość aktywnego klifu towarzyszącego abrazyjnym odcinkom brzegu: 1 – 0–0,5 m, 2 – 0,5–1,0 m, 3 – 1,0–1,5 m, 4 – ponad 1,5 m, 18 – monitorowane przekroje poprzeczne platformy przybrzeżnej

Classification of the Pakość Reservoir shores (Grobelska 2002a; changed)

1 – reservoir area at maximum water level, 2 – lake area before water rise, shore: 3 – abrasive, 4 – neutral, 5 – accumulative, 6 – bioorganic, 7 – artificial; 8 – road, 9 – railway; accumulative forms: 10 – spit, Roman numerals inside signature denote form's size: I – 0–5 m, II – 5–10 m, III – 10–15 m, IV – above 15 m, 11 – natural spur, 12 – constrain spur, 13 – lateral sand bar, 14 – bay mouth bar, 15 – swash bar, 16 – direction of form increase, 17 – height of active cliffs: 1 – 0–0,5 m, 2 – 0,5–1,0 m, 3 – 1,0–1,5 m, 4 – above 1,5 m, 18 – cross section detailed

wotnego stoku, lokalnie obserwuje się kilkunastomilimetrowej miąższości, kilkumetrowej długości i szerokości płyty osadów piaszczysto-żwirowych.

4) Kolejny z wyróżnionych typów to brzeg *umocniony*. Obejmuje on sztucznie umocnione fragmenty brzegu, do chwili obecnej spełniające swoje funkcje ochronne.

5) Ostatni z wyróżnionych typów to brzeg *biogeniczny*, za który przyjęto te jego fragmenty, które porośnięte są zwartą roślinnością, głównie trzcina pospolitą (*Phragmites communis*) i pałąk szerokolistną (*Typha latifolia*).

W celu uchwycenia zmienności procesów zachodzących w obrębie strefy brzegowej zbiornika pakoskiego dwukrotnie kartowano jego brzegi, w 1999 i 2003 r. Kartowanie wykonano na podkładzie map w skali 1:10 000, przy zachowaniu tych samych kryteriów (ryc. 1). Porównanie uzyskanych wyników nie wykazało zmian charakteru poszczególnych fragmentów brzegu. Zarówno w pierwszym, jak i drugim okresie badań sumaryczna długość poszczególnych jego typów była taka sama (tab. 7). W okresie porównawczym (1999 i 2003) nie zmieniły one zatem swojego charakteru. Wskazuje to na bardzo małe tempo i stałość typu procesów kształtujących badaną strefę brzegową.

Tabela 7. Typologia brzegów zbiornika pakoskiego

Typ brzegu	Długość (całkowita 50,55 km) ¹⁾	
	km	% ²⁾
Abrazyjny	24,72	52,5 (60,6)
a/ klif o wysokości 0–0,5 m	15,32	32,5 / 62,0 brzegów abrazyjnych
b/ klif o wysokości 0,5–1,0 m	6,11	13,0 / 24,7 brzegów abrazyjnych
c/ klif o wysokości 1,0–1,5 m	2,46	5,2 / 9,9 brzegów abrazyjnych
d/ klif o wysokości > 1,5 m	0,83	1,8 / 3,4 brzegów abrazyjnych
Akumulacyjny	8,31	17,6 (20,4)
Neutralny	7,74	16,4 (19,0)
Umocniony	6,33	13,5
Biogeniczny	3,45	

¹⁾ Całkowitą długość linii brzegowej zbiornika obliczono z mapy w skali 1:10 000.

²⁾ Procentowe udziały podano w stosunku do długości linii brzegowej zbiornika pakoskiego z pominięciem południowego jego fragmentu zwanego również jeziorem Kunowskim oddzielonego obecnie od zbiornika zastawką, którego brzegi w całości uznano za biogeniczne. W takim ujęciu długość badanych brzegów wynosi 47,1 km. W nawiasach podano procentowe udziały poszczególnych typów w stosunku do brzegów nie umocnionych.

¹⁾ Total length of Pakoś Reservoir banks, base on map in scale 1:10 000.

²⁾ Percent participation calculated without south part of reservoir, called Kunowo Lake, where water level are still on this same elevation and whole banks are biogenic. Without this part banks of reservoir are 47,1 km. In brackets are percent participations related to unprotected banks.

Tabela 8. Typologia brzegów w zbiornika pakoskiego w ujęciu cząstkowym

Typ brzegu	Brzeg lewy			Brzeg prawy			Inne (brzeg północny i południowy)		Razem		
	km (w nawiasie podano długość brzegów nieumocnionych)	%		km (w nawiasie podano długość brzegów nieumocnionych)	%		km	%	km (w nawiasie podano długość brzegów nieumocnionych)	%	
		w odniesieniu do całkowitej długości analizowanego brzegu	w odniesieniu do nieumocnionej długości analizowanego brzegu		w odniesieniu do całkowitej długości analizowanego brzegu	w odniesieniu do nieumocnionej długości analizowanego brzegu				w odniesieniu do całkowitej długości analizowanego brzegu	w odniesieniu do nieumocnionej długości analizowanego brzegu
Jeziro Pakoskie Północne											
umocniony	0,0	-	-	0,82	11,9	-	1,16	8,0	1,98	13,7	-
abrazyjny	3,93	61,0	61,0	3,73	54,1	61,4	-	-	7,66	52,9	61,2
1) 0,0 – 0,5 m	2,50	38,8	38,8	2,51	36,4	41,3	-	-	5,01	34,6	40,1
2) 0,5 – 1,0 m	1,18	18,3	18,3	0,97	14,1	16,0	-	-	2,15	14,8	17,2
3) 1,0 – 1,5 m	0,25	3,9	3,9	0,19	2,7	3,1	-	-	0,44	3,1	3,5
4) > 1,5 m	-	-	-	0,06	0,9	1,0	-	-	0,06	0,4	0,5
akumulacyjny	2,07	32,2	32,2	1,42	20,6	23,4	-	-	3,49	24,0	27,9
neutralny	0,44	6,8	6,8	0,92	13,4	15,2	-	-	1,36	9,4	10,9
Razem	6,44 (6,44)	100	100	6,89 (6,07)	100	100	1,16 (0,0)	8,0	14,49 (12,51)	100	100
Jeziro Pakoskie Południowe											
umocniony	1,00	10,8	-	1,2	9,8	-	1,20	5,3	3,40	15,0	-
abrazyjny	4,33	46,8	52,4	8,70	71,1	78,9	-	-	13,03	57,4	67,5
1) 0,0 – 0,5 m	2,76	29,9	33,4	4,21	34,4	38,2	-	-	6,97	30,7	36,1
2) 0,5 – 1,0 m	1,42	15,3	17,2	2,27	18,6	20,6	-	-	3,69	16,3	19,1
3) 1,0 – 1,5 m	0,15	1,6	1,8	1,45	11,8	13,1	-	-	1,60	7,0	8,3
4) > 1,5 m	-	-	-	0,77	6,3	7,0	-	-	0,77	3,4	4,0
akumulacyjny	1,04	11,2	12,6	1,56	12,8	14,1	-	-	2,60	11,5	13,5
neutralny	2,89	31,2	35,0	0,77	6,3	7,0	-	-	3,66	16,1	19,0
Razem	9,26 (8,26)	100	100	12,23 (11,03)	100	100	-	-	22,69 (19,29)	100	100
Jeziro Bronisławskie											
umocniony	-	-	-	0,39	7,7	-	0,61	6,1	1,00	10,0	-
abrazyjny	2,04	47,6	47,6	1,99	39,3	42,5	-	-	4,03	40,4	44,9
1) 0,0 – 0,5 m	1,77	41,3	41,3	1,57	31,0	33,5	-	-	3,34	33,5	37,2
2) 0,5 – 1,0 m	0,12	2,8	2,8	0,15	3,0	3,2	-	-	0,27	2,7	3,0
3) 1,0 – 1,5 m	0,15	3,5	3,5	0,27	5,3	5,8	-	-	0,42	4,2	4,7
4) > 1,5 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
akumulacyjny	0,46	10,7	10,7	1,76	34,7	37,6	-	-	2,22	22,3	24,8
neutralny	1,79	41,7	41,7	0,93	18,3	19,9	-	-	2,72	27,3	30,3
Razem	4,29 (4,29)	100	100	5,07 (4,68)	100	100	-	-	9,97 (8,97)	100	100
Jeziro Kunowskie											
umocniony							0,25	7,2	0,25	7,2	-
biogeniczny							-	-	3,2	92,8	100
Razem									3,45 (3,20)	100	100
Łącznie – cały zbiornik z wyłączeniem Jeziora Kunowskiego											
umocniony	1,00	5,0	-	2,41	10,0	-	2,97	6,3	6,38	13,5	-
abrazyjny	10,30	51,6	54,2	14,42	59,6	66,3	-	-	24,72	52,5	60,6
1) 0,0 – 0,5 m	7,03	35,2	37,0	8,29	34,3	38,1	-	-	15,32	32,5	37,6
2) 0,5 – 1,0 m	2,72	13,6	14,3	3,39	14,0	15,6	-	-	6,11	13,0	15,0
3) 1,0 – 1,5 m	0,55	2,8	2,9	1,91	7,9	8,8	-	-	2,46	5,2	6,0
4) > 1,5 m	-	-	-	0,83	3,4	3,8	-	-	0,83	1,8	2,0
akumulacyjny	3,57	17,8	18,8	4,74	19,6	21,7	-	-	8,31	17,6	20,4
neutralny	5,12	25,6	27,0	2,62	10,8	12,0	-	-	7,74	16,4	19,0
Razem	19,99 (18,99)		100	24,19 (21,78)		100	2,97	6,3	47,15 (40,77)	100	100

Kod	Nazwa	Jednostka	Opis
1000000000	1000000000	1000000000	1000000000
1000000000	1000000000	1000000000	1000000000
1000000000	1000000000	1000000000	1000000000
1000000000	1000000000	1000000000	1000000000
1000000000	1000000000	1000000000	1000000000

Brzegi umocnione narzutem kamiennym stanowią 13,5% wszystkich brzegów zbiornika pakoskiego. Umocnione zostały głównie sztuczne jego fragmenty – nasypy drogowe i kolejowe, groble okalające utworzone stawy rybne, zapora czołowa w Pakości i boczna w Kołudzie Wielkiej oraz niewielkie odcinki znacznie nachylonych zboczy. Wzdłuż brzegów zbiornika spotykane są również pozostałości umocnień włókniną i faszyną, które obecnie ze względu na ich znaczne zniszczenie w niewielkim stopniu spełniają swoje funkcje ochronne. Umacniano nimi fragmenty brzegów, które jeszcze przed piętrzeniem przyjmowały formę stromych skarp. Obecnie są to najczęściej brzegi o charakterze abrazyjnym, podlegające intensywnemu rozmywaniu.

Obecnie, 81% długości brzegów nieumocnionych zbiornika pakoskiego jest aktywnych, tzn. akumulacyjnych bądź abrazyjnych (tab. 7). Przejawem ich aktywności są czynne klify, liczne nisze abrazyjne oraz różnorodne, najczęściej sezonowe formy akumulacyjne typu wałów, kos i cypli. Rozpatrując oddzielnie brzeg prawy i lewy zdecydowanie bardziej przekształcany jest obecnie ten pierwszy. 88% jego nie umocnionych brzegów jest obecnie aktywnych (73% w przypadku brzegu lewego) (tab. 8). Większą aktywność procesów przekształcających ten brzeg należy upatrywać w znacznym nachyleniu podwodnej części zboczy rynny, na co zwrócono już wcześniej uwagę, jak i w dominujących w tym rejonie wiatrach z sektora zachodniego.

Brzegi abrazyjne zbiornika pakoskiego najczęściej cechują się obecnością klifu o zróżnicowanej wysokości od kilku centymetrów do blisko 5 m. Zdecydowana ich większość, ponad 60%, osiąga wysokość do 0,5 m, podczas gdy zaledwie 3,4% (1,8% ogólnej długości brzegów) przekracza 1,5 m (tab. 7; fot. 5). Na niewielkich fragmentach brzegu, stanowiących łącznie około 0,5 km, klif osiąga ponad 3 m wysokości. W ich obrębie, szczególnie wzdłuż najwyższych klifów, powstają liczne obrywy, a punktowo również osuwiska (fot. 6). Brzeg przyjmuje tu postać brzegu abrazyjno-osuwiskowego i abrazyjno-obrywowego (Ovčinnikov i in. 2002; Horský, Spanila 1997). Formy związane z tymi fragmentami brzegu zostaną bliżej omówiono w dalszej części niniejszej rozprawy.

Brzegi o charakterze akumulacyjnym stanowią ponad 20% wszystkich brzegów nieumocnionych. W poszczególnych basenach zbiornika ich udział wynosi od 13 do 28% (tab. 8). Wartości najniższe, wyraźnie odbiegające od pozostałych, występują w najgłębszym basenie zbiornika – Jeziorze Pakoskim Południowym, cechującym się zarazem największym udziałem brzegów abrazyjnych. Brzegom akumulacyjnym często towarzyszą różnej wielkości formy akumulacyjne, które szczegółowo omówiono w dalszej części niniejszej rozprawy.

Poza brzegami abrazyjnymi i akumulacyjnymi na zbiorniku pakoskim wyróżniono brzegi neutralne, które stanowią blisko 1/5 długości brzegów nieumocnionych. Ten typ brzegu na nowych zbiornikach nizinnych stanowi często do 50% długości linii brzegowej (Finarov 1986). Do ich wysokiego udziału w początkowym okresie funkcjonowania zbiornika przyczyniają się niewielkie, 2–3° nachylenia powierzchni zalanych w efekcie piętrzenia, jak i często bardzo dobre pokrycie darnią. W takich warunkach brzeg jest bardzo mało podatny na abrazję. Ulegają jej znacznie później niż fragmenty brzegu o większym nachyleniu. Na niektórych zbiornikach brzegi neutralne w niezmienniej postaci zachowują się przez 10–12 lat od momentu piętrzenia, po czym stopniowo zaczynają podlegać rozmywaniu. D.P. Finarov (1986) podaje, iż brzegi o nachyleniu 1–2° na zbiorniku rybińskim zachowały swoją pierwotną morfologię przez 30 lat. Podobnie na zbiorniku brackim, gdzie w długim okresie przekształcaniu nie ulegały brzegi o nachyleniu nieprzekraczającym 4°, dopiero w ostatnich latach rozmywanie zaczęło obejmować brzegi o nachyleniu mniejszym, poniżej 2° (Ovčennikov 1996). Na zbiorniku pakoskim ten typ brzegu częściej występuje wzdłuż brzegu zachodniego, w środkowej i południowej części akwenu, oraz wzdłuż dawnej równiny zalewowej Noteci, gdzie linii wody towarzyszą rozległe, bardzo często zatorfione płycizny przybrzeżne. Ostatnim wyróżnionym typem są brzegi biogeniczne. Te porośnięte roślinnością fragmenty brzegu, występują punktowo w południowej części zbiornika. W całości okalają one najbardziej południową część zbiornika pakoskiego, zwaną Jeziorem Kunowskim. Jego brzegi, co zaznaczono już we wstępie niniejszego rozdziału, ze względu na istniejącą zastawkę i utrzymujące się stałe stany wody nie były przedmiotem dalszych badań.

Współczynnik stabilności brzegów będący stosunkiem długości odcinków akumulacyjnych do abrazyjnych w zbiornikach o ustabilizowanej strefie brzegowej powinien dążyć do jedności (Širokov i in., 1992). Na zbiorniku pakoskim po prawie 30. latach jego eksploatacji wynosi on 0,34. Dla porównania, na cechującym się dużymi wahaniami stanów wody zbiorniku Jeziorsko, po ośmiu latach jego eksploatacji wynosi on zaledwie 0,12 (Banach, Grobelska 2003), z kolei na zbiorniku Włocławek o małych waniach stanów wody po dwudziestu latach jego funkcjonowania współczynnik ten nie przekraczał 0,1 (Banach 1994).



Fot. 5. Wysoki aktywny klif o wysokości 3 m, Kołuda Mała
Active cliff 3 m high, Kołuda Mała

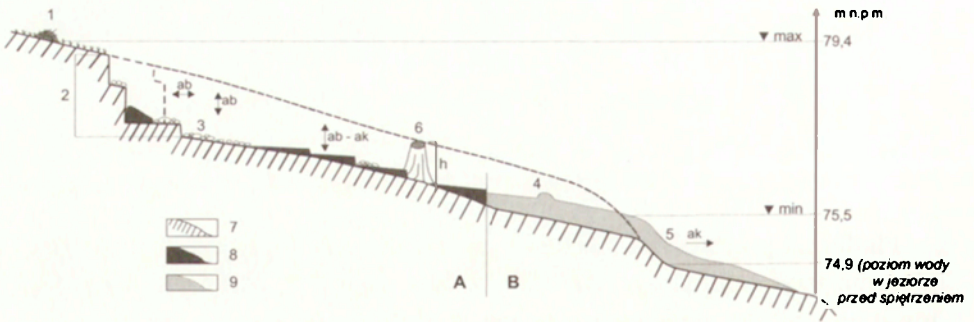


Fot. 6. Obrywy skalne wysokiego brzegu, wysokość klifu 4,5 m, Kołuda Mała
Rock falls from a cliff height 4,5 m, Kołuda Mała

5. PLATFORMA PRZYBRZEŻNA

Platforma przybrzeżna (*coastal platform*, Bird 2000) nazywana również płycizną przybrzeżną, to płytka, lekko nachylona w kierunku zbiornika strefa towarzysząca linii brzegowej akwenów wód stojących. Powstaje ona w efekcie falowania wiatrowego i wywołanego nim procesu abrazji brzegu oraz segregacji, transportu i akumulacji osadu. W ustabilizowanych, mało zmieniających się warunkach hydrodynamicznych występujących w dłuższych okresach czasu, jakie np. występują na jeziorach, strefa ta jest stabilna, w znacznym stopniu pokryta szatą roślinną (Kajak 1998; Lopuch 2002). Wahania poziomu wody, a co za tym idzie zmiana parametrów falowania uruchamia w obrębie strefy brzegowej procesy powodujące jej przekształcanie (Nowaczyk 1994; Spanilá, Simeonova 1993; Allan i in. 2002; Kirk i in. 2000; Lavalle, Lakhan 2000). Górną granicę platformy wyznacza maksymalny zasięg fal, tj. podnóże klifu bądź forma akumulacyjna – zwykle górna część wału brzegowego, zaś dolną największa głębokość rozmywającego oddziaływania fali, tj. krawędź platformy, oddzielona od otwartego akwenu skłonem. Podstawowe, powszechnie przyjęte parametry charakteryzujące platformę to jej szerokość, czyli odległość od podnóża klifu do krawędzi skłonu oraz kąt nachylenia wyznaczany z różnic położenia górnej i dolnej granicy platformy. Rzadziej, ze względu na trudności z określeniem dolnej granicy skłonu, wyznacza się kąt jego nachylenia (ryc. 9). Krawędź platformy przybrzeżnej nie jest linią lecz wąską strefą, zmieniającą swoje położenie w zależności od intensywności falowania oraz wahań lustra wody (Banach 1994).

Wyznaczenie w terenie zasięgu platformy przybrzeżnej na podstawie sondowania (Trzcinski 1976), jak również określenie na tej podstawie jej parametrów nie nastrocza zazwyczaj większych problemów. W przypadku zbiorników powstałych w efekcie spiętrzenia wody w akwencie wcześniej istniejącym na innych, niższych rzędnych, jak miało to miejsce w sytuacji zbiornika pakońskiego, jest problemem bardziej złożonym. W obręb tworzącej się strefy brzegowej została włączona stara strefa brzegowa z właściwą jej morfologią i osadami. Podlegała on późniejszemu przekształcaniu w stopniu zależnym od wysokości dokonanego piętrzenia, jak i sposobu funkcjonowania zbiornika. D.P. Finarov (1986) stwierdził, iż w przypadku piętrzeń przekraczających swoją wysokością połowę długości fali głębokowodnej występującej na akwencie przed jego piętrzeniem powstaje nowa, w pełni niezależna strefa brzegowa. Sytu-



Ryc. 9. Profil poprzeczny strefy brzegowej dominujący obecnie na zbiorniku pakoskim A – okresowo osuszana i B – subakwalna część platformy przybrzeżnej, 1 – wał akumulacji mineralno-biogenicznej, 2 – klif z wykształconymi „stopniami”, 3 – residuum, 4 – zanurzony wał wzdłuż brzegowy, 5 – skłon platformy przybrzeżnej, 6 – pień drzewa, 7 – materiał *in situ*, 8 – osady deponowane na okresowo osuszanej części platformy przybrzeżnej (inicjalna, nieciągła plaża z wyraźnymi stopniami plażowymi), 9 – osady deponowane na podwodnej części platformy, h – miąższość warstwy wyabradowanej, ab – abrazyja, ak – akumulacja, strzałki określają kierunek dominującego procesu, linią przerywaną zaznaczono pierwotny zarys stoku (Grobelska 2002a, 2004, zmienione)

Cross-section of coastal zone on Pakość Reservoir dominant. A – periodically drying out, „intertidal” („foreshore”) and B – underwater („nearshore”) part of coastal platform, 1 – mineral-bioorganic bar, 2 – cliff with „steps”, 3 – residuum, 4 – swash bar, 5 – slope of coastal platform, 6 – trunks of trees, 7 – *in situ* sediment, 8 – sediments laying on periodically drying out part of coastal platform (initial, discontinuous beach with beach steps), 9 – sediments accumulated on underwater part of coastal platform, h – thickness of sediment layer abrasive out, ab – abrasion, ak – accumulation, arrows designate direction of dominating process, dashed line marked original slope (Grobelska 2002a, 2004, changed)

ację taką, jak już wcześniej wspomniano, obserwujemy na zbiorniku pakoskim (Grobelska 2002b). Wyznaczenie parametrów platformy przybrzeżnej w takim przypadku wymaga wielostronnego podejścia uwzględniającego nie tylko morfologię obecnie funkcjonującej, kształtującej się platformy przybrzeżnej, ale również zatopionej, jeziornej strefy brzegowej. Ponadto, na co wskazują przeprowadzone badania, w rozgraniczeniu tych elementów niezbędna wydaje się również znajomość pierwotnej morfologii badanej strefy brzegowej oraz rozkład i zmienność występujących tu obecnie osadów powierzchniowych.

5.1. ROZWÓJ PLATFORMY PRZYBRZEŻNEJ

Platformy sztucznych zbiorników wodnych rozwijają się w trzech zasadniczych typach: abrazyjnym, akumulacyjnym i abrazyjno-akumulacyjnym, przy czym w swoim rozwoju mogą one ewoluować poprzez różne typy (Finarov 1986; Ovčinnikov 1999). Sposób, w jaki następuje ich rozwój zależy jest od wielu czynników, m.in. od pierwotnego nachylenia przekształcanego stoku,

głębokości występujących w bliskim sąsiedztwie linii brzegowej, osadów budujących brzeg, charakteru prowadzonej na zbiorniku gospodarki wodnej, jak i warunków anemobarycznych w otoczeniu zbiornika.

Zdecydowanie najrzadziej na sztucznych zbiornikach wodnych możemy obserwować rozwój abrazyjnego typu platformy. Cechuje się on brakiem na powierzchni platformy przybrzeżnej, powyżej pierwotnego podłoża, warstwy zakumulowanych osadów. Taki charakter przyjmuje najczęściej platforma w początkowym, trwającym kilka lat, etapie kształtowania strefy brzegowej zbiornika. Występuje ona wzdłuż fragmentów brzegu, którym towarzyszą duże głębokości, a przekształcany stok zbudowany jest z osadów mało podatnych na niszczenie. W takich warunkach cały wymyty materiał wynoszony jest poza strefę brzegową. Wzdłuż brzegów zbudowanych ze skał szczególnie odpornych na wymywanie sytuacja taka może utrzymywać się bardzo długo. Przykładowo, po ponad 30-letnim okresie eksploatacji, ten typ rozwoju platformy przybrzeżnej nadal obserwowany jest na niektórych fragmentach brzegów zbiornika brackiego i irkuckiego na rzece Angarze (Ovčinnikov 1999). Na zbiorniku pakoskim, którego strefa brzegowa rozwija się głównie w utworach gliniastych, obecnie nie obserwuje się tego typu rozwoju platformy przybrzeżnej. Trudno natomiast wykluczyć taką możliwość w pierwszych latach jego eksploatacji, szczególnie wzdłuż brzegów przygłębiowych.

Drugi wyróżniany typ rozwoju platformy przybrzeżnej to typ akumulacyjny, będący w zasadzie przeciwieństwem omówionego. W tym przypadku ilość materiału dostarczanego i akumulowanego na powierzchni platformy przewyższa jego straty. Na zbiorniku pakoskim typ ten występuje wzdłuż 20% nieumocnionych brzegów zbiornika pakoskiego (Grobelska 2001a, b, 2002a). Materiał akumulowany na powierzchni platformy przybrzeżnej w tych fragmentach pochodzi z przyległych odcinków abrazyjnych, skąd jest transportowany dzięki prądom wzdłużbrzegowym. Często tym fragmentom brzegu towarzyszą formy akumulacyjne, z reguły o stałym charakterze. W przeciwieństwie do form obserwowanych wzdłuż fragmentów abrazyjnych osiągają one znaczne rozmiary. Najczęściej są to formy wieloetapowe – rozległe, 3–4-ramienne kosy bądź mierzeje, częściowo utrwalone roślinnością krzewiastą. Formy te, przy wysokich stanach wody ulegają tylko częściowemu rozmyciu i w kolejnej, opadającej fazie cyklu pracy zbiornika są odbudowywane. Przy względnie stałym reżimie eksploatacyjnym zbiornika udział platformy przybrzeżnej o charakterze akumulacyjnym wzrasta wraz z rozwojem strefy brzegowej, która dąży do osiągnięcia stanu dynamicznej równowagi (Finarov 1986).

Najczęściej na sztucznych zbiornikach wodnych obserwujemy jednak pośredni, abrazyjno-akumulacyjny typ rozwoju platformy przybrzeżnej. W jej obrębie wyróżniamy trzy, kolejno następujące po sobie i zazębiające się strefy

fy: abrazyjną, tranzytową abrazyjno-akumulacyjną i zewnętrzną akumulacyjną. Materiał stanowiący pierwotne podłoże w wewnętrznej, abrazyjnej części platformy jest wymywany i transportowany w kierunku zbiornika, a następnie akumulowany w jej zewnętrznej, akumulacyjnej części oraz na jej skłonie, będącym przedłużeniem strefy akumulacji bezfalowej. W efekcie falowania wiatrowego u podstawy klifu zachodzi rozmywanie skał brzegu macierzystego przez potok przyboju, a następnie ich transport w kierunku zbiornika przez powrotny prąd przydenny. Cofanie się klifu i przyrastanie osadów na skłonie platformy prowadzi do wzrostu jej szerokość. W czasie transportu materiał jest segregowany, a jego średnia średnica generalnie maleje w kierunku zbiornika. Najdrobniejsze cząstki, transportowane w formie zawiesiny, wynoszone są poza platformę, na otwarty akwen. Miąższość serii akumulacyjnej w przekroju poprzecznym wzrasta w kierunku krawędzi platformy.

W początkowym okresie funkcjonowania zbiornika najintensywniej przekształcane są brzegi przygłębiowe, zbudowane ze skał mało odpornych na rozmywanie. Znacznie później proces abrazji obejmuje brzegi przypląciznowe, o niewielkim nachyleniu, do 2–3°, często dodatkowo chronione zwartą darnią. Te łagodnie nachylone brzegi przez wiele lat zachowują się w swojej niezmienionej postaci. Na zbiorniku rybińskim występowały one przez 30 lat (Finarov 1986), podobnie na zbiornikach irkuckim i brackim, gdzie dopiero po 40 latach eksploatacji proces abrazji objął brzegi o nachyleniu nie przekraczającym 2° (Ovcinnikov, Trzcinskij, Pavlov 1997; Wika i in. 2000; Ovcinnikov 2003). Platformy towarzyszące brzegom przypląciznowym są zdecydowanie szersze i łagodniejsze niż występujące przy brzegach przygłębiowych. Przykładowo, na zbiorniku włocławskim po 22 latach eksploatacji szerokość platformy wahała się od 10 do 110 m, a jej nachylenia, uśrednione dla poszczególnych fragmentów, wynosiły od 4° do 0,3°. Na brzegach przygłębiowych platforma była 2 razy węższa i 2–3 razy bardziej nachylona niż wzdłuż brzegów niskich (Banach 1994).

Abrazyjno-akumulacyjny typ rozwoju platformy przybrzeżnej wyraźnie dominuje obecnie na zbiorniku pakoskim. Towarzyszy on 60% nieumocnionych brzegów tego akwenu. Proces abrazji obejmuje tutaj zarówno brzegi o znacznym, jak i niewielkim nachyleniu, rzędu 1–2°. Ponadto, abrazji podlegają zarówno stoki pozbawione szaty roślinnej, jak i pokryte zwartą darnią.

Przy względnie stałym reżimie eksploatacyjnym zbiornika i niewielkich wahaniach stanów wody z upływem czasu platforma przybrzeżna zbiornika, podobnie jak i cała strefa brzegowa, stabilizuje się dążąc do osiągnięcia stanu dynamicznej równowagi (Finarov 1986). Wielkość wahań stanów wody bezpośrednio warunkuje szerokość strefy podlegającej przekształceniu. Dynamika zachodzących w tej strefie procesów po kilkuletnim etapie początkowego

intensywnego narastania wyraźnie zmniejsza się. V.E. Levkevič i P.S. Lopuch (2003) stwierdzają, iż przy wahaniach mniejszych niż 0,5 m okres ten trwa 5–10 lat, podczas gdy przy zmienności stanów wody rzędu 1,5 m wydłuża się już do 15–25 lat (Levkevič, Lopuch 2003). Badania prowadzone na zbiorniku wrocławskim, należącym do zbiorników o małych wahaniami stanów wody (0,5 m), wykazały, iż okres początkowego narastania tempa rozwoju procesów brzegowych trwał od 3 do 8 lat, a wzdłuż brzegów wysokich niespełna 2 lata. Po tym okresie, przy cyklicznej zmienności, intensywność ta wyraźnie obniżyła się, by po 12–20 latach strefa brzegowa osiągnęła stan dynamicznej równowagi (Banach 1994, 2004).

Inaczej przebiega ewolucja strefy brzegowej zbiorników o dużych, kilkumetrowych wahaniami stanów wody. W takim przypadku dynamika zachodzących w obrębie strefy brzegowej procesów po bardzo intensywnym kilkuletnim okresie początkowego narastania stabilizuje się, jednak nie zmniejsza, a niekiedy wręcz przeciwnie – sukcesywnie wzrasta. Sytuację taką obserwuje się na niektórych fragmentach brzegów zbiorników na rz. Angarze, po blisko 40 latach ich funkcjonowania. Przy bardzo dużych wahaniami stanów wody osiągnięcie przez strefę brzegową zbiornika stanu dojrzałości czy stabilizacji znacznie wydłuża się (Rydzik 1978; Spanilá 1994, 1996, 1998; Spanilá, Simonova 1993; Horsky, Spanilá 1997; Ovčinnikov i in. 1997; Banach, Spanilá, 2000; Banach, Grobelska 2003; Ovčinnikov 1999, 2003).

Bardzo wyraźnym przejawem stabilizacji strefy brzegowej jest pojawiająca się w tym obszarze roślinność. Akwen wkracza wówczas w etap zrównoważonego rozwoju, o cechach zbliżonych do obserwowanych na dojrzałych ekosystemach naturalnych (Lopuch 2002). Sytuacji takiej nie obserwuje się w przypadku zbiorników cechujących się dużymi, kilkumetrowymi, cyklicznie zachodzącymi wahaniami stanów wody.

Podobną zależność zdaje się potwierdzać również strefa brzegowa zbiornika pakoskiego. W jej obrębie nie stwierdzono cech mogących wskazywać na jej stabilizację. Po 28 latach funkcjonowania zbiornika parametry jego platformy przybrzeżnej, dominujący abrazyjno-akumulacyjny typ jej rozwoju, dynamika, charakter i zmienność osadów powierzchniowych, jak i brak na jej powierzchni roślinności, wskazują na jej ciągły rozwój.

5.2. PARAMETRY I MORFOMETRIA

Prowadzone przez autorkę od 1999 r. badania platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego pozwoliły na scharakteryzowanie parametrów i określenie jej dynamiki w dwóch przedziałach czasowych: po 28 latach od rozpoczęcia eksploatacji zbiornika, 1975–2003 r., oraz obecnie, podczas prowadzonych badań, 1999–2003 r.

W celu określenia charakteru platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego po 24 latach jego eksploatacji, w 1999 r., wykonano jej jednorazowe sondowanie w 37 reprezentatywnych przekrojach poprzecznych. W części wynurzona została ona uzupełniona pomiarami geodezyjnymi. Na ich podstawie określono parametry platformy przybrzeżnej oraz wytypowano 7 przekrojów reperowych do dalszych badań nad jej dynamiką (ryc. 10; przekroje nr 1–7). Ze względu na zastosowaną metodykę badań, przekroje reperowe wyznaczono wyłącznie wzdłuż brzegów o charakterze abrazyjnym, którym towarzyszy kłifio wysokości od 0,5 do 5 m. Kształtują się one w zwięzłych glinach pylastych, często przewarstwionych piaskami (przekroje 1–6), bądź rzadziej w piaskach gruboziarnistych z wkładkami gliny piaszczystej (przekrój 7). Przekroje umiejscowiono na przygłębionych oraz na przyptyciznowych fragmentach brzegu, o prostoliniowym jak i wypukłym zarysie. Dwa przekroje zlokalizowano u wlotu do Zatoki Kołudzkiej, o szerokości ponad 0,3 km. W wytypowanych 7 przekrojach, w okresach wiosenno-jesiennych wykonano 16 serii pomiarowych przy różnych stanach wody. Obejmowały one pomiary zmienności morfologii platformy przybrzeżnej oraz pobór osadów powierzchniowych. W latach 1999–2001 wykonano pięć serii pomiarowych, a w latach 2002–2003 kolejnych jedenaście (ryc. 5). W całym okresie badań zastosowano jednakową metodykę. W okresowo osuszanej części platformy pomiary geodezyjne wykonywano z wykorzystaniem elektronicznego niwelatora Compulevel z dokładnością 0,1 cm. Były one połączone z rozpoznaniem miąższości i charakteru osadów dokonany za pomocą szurfów i wierceń świdrem ręcznym. Sondowania podwodnej części platformy były natomiast wykonywane z łódki, przy bezwietrznej pogodzie, wzdłuż zakotwiczonej i naprężonej, nacechowanej liny, w odstępach 1,0–0,5 m w zależności od morfologii platformy. Jednocześnie, podczas wykonywania pomiarów, z powierzchni platformy pobierano próby osadów powierzchniowych do analiz laboratoryjnych.

Platforma przybrzeżna zbiornika pakoskiego wyznaczona na podstawie sondowań i pomiarów geodezyjnych połączonych z makroskopową oceną występujących na jej powierzchni osadów jest stosunkowo wąska i stroma. Ma 21–55 m szerokości i nachylenie w przedziale $2^{\circ}30'$ – $8^{\circ}30'$ (ryc. 10; tab. 9). Najlepiej została rozpoznana platforma przybrzeżna rozwijająca się w typie abrazyjno-akumulacyjnym, która występuje wzdłuż abrazyjnych odcinków brzegu, dominujących na tym zbiorniku. Najwęższa i najbardziej stroma platforma występuje wzdłuż przygłębionych fragmentów brzegu w Ostrowie, Kołudzie Małej i Janikowie na prawym brzegu oraz Strzelcach i Głogówcu na brzegu lewym. W obrębie przekształcanych stoków występują tu gliny piaszczyste z przewarstwieniem piasków. Platforma osiąga od 21 do 45 m szerokości przy znacznym nachyleniu 6 – 8° . Wysokość towarzyszącej jej, aktywne-



Ryc. 10. Lokalizacja przekrojów poprzecznych platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego. Przekroje 1–7 wytypowano do dalszych badań

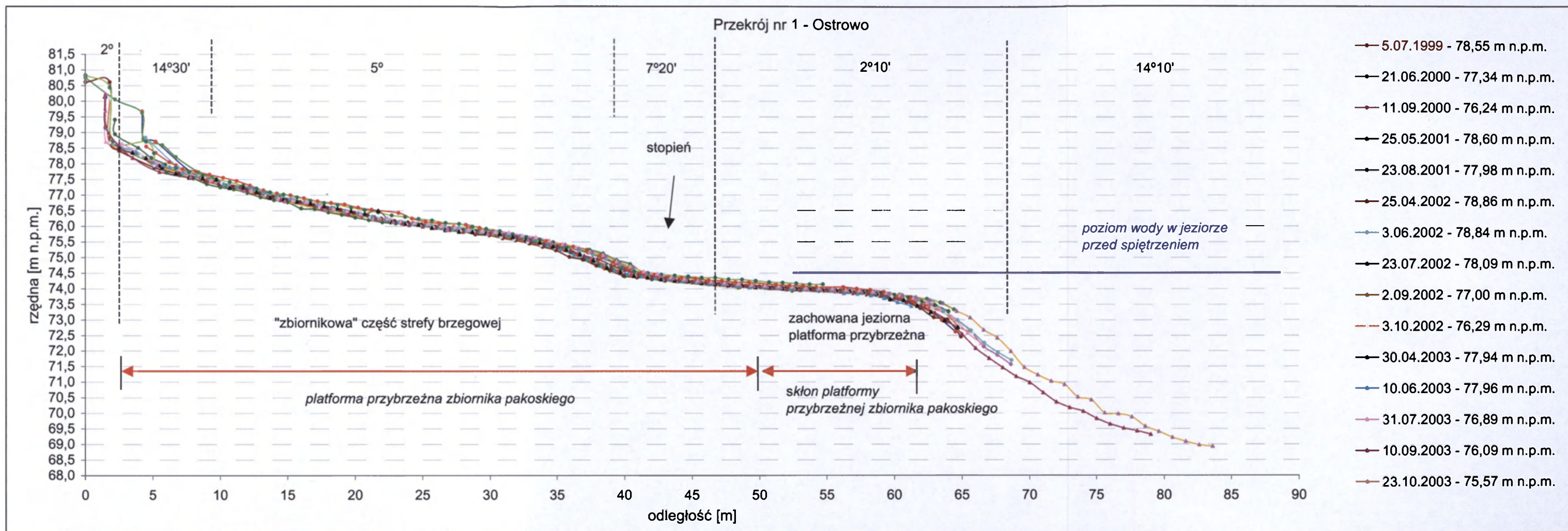
Cross section of coastal platform Pakość Reservoir – location. Cross section numbers 1–7 choose for sequel detailed research

go klifu waha się od 0,8 do 5 m. Szersza i nieco łagodniejsza platforma towarzyszy brzegom abrazyjnym niskim, łagodnie opadającym w kierunku zbiornika. Ma ona tam od 40 do 55 m szerokości i nachylenie od 3° do 7° , najczęściej 5° . Wysokość towarzyszącego klifu nie przekracza 0,7 m.

Pozostałe pomiary platformy przybrzeżnej na zbiorniku pakoskim zostały wykonane wzdłuż akumulacyjnych i neutralnych odcinków brzegu. Towarzysząca mu platforma osiąga tam od 27 do 54 m szerokości i niewielkie nachylenie w bardzo wąskim przedziale $2^\circ 30' - 3^\circ$.

W morfologii platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego zaznaczają się dwie generacje poziomów, odrębne genetycznie i wielkościowo. Generację pierwszą, nadrzędną, stanowią dwa poziomy, rozdzielone stopniem o wysokości około 1 m (ryc. 11). Poziom wyższy rozciąga się od maksymalnego zasięgu linii wody bądź podstawy aktywnego klifu kształtującej się na wysokości 78,8 m n.p.m., do poziomu 76,0–75,5 m n.p.m., który nawiązuje do strefy minimalnych stanów wody występujących na zbiorniku. Poziom drugi, niższy, rozciąga się poniżej 74,9 m n.p.m. i łagodnie obniża do 73 m n.p.m., po czym przechodzi w strefę stoku misy jeziornej (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 1998), nazywanego również sublitoralem (Choiński 1995a). Na rzędnej 74,9 m n.p.m. utrzymywało się lustro wody w Jeziorach Pakoskich od początku XX w. do momentu ich spiętrzenia w 1975 r. (Niewierowski 1976; *Stopień wodny i węzeł hydrotechniczny...*, 1971). Powyższa zbieżność, jak i niewielkie nachylenie tego poziomu, sięgające zaledwie $2-3^\circ$, wyjątkowo 5° , już na tym etapie rozważań pozwalają przypuszczać, iż poziom ten jest pozostałością zatopionej jeziornej platformy przybrzeżnej. Natomiast poziom wyższy jest współcześnie tworzącą się częścią platformy przybrzeżnej, której geneza związana jest z funkcjonującym zbiornikiem.

Stopień wykształcenia wyróżnionych w rzeźbie platformy przybrzeżnej poziomów jest bardzo zróżnicowany. O ile poziom wyższy zaznacza się we wszystkich wykonanych przekrojach poprzecznych o tyle poziom niższy nie zawsze. Poziom niższy najstąbiej zaznacza się wzdłuż fragmentów brzegu o charakterze neutralnym, z rozległą płycizną przybrzeżną, najlepiej natomiast wzdłuż abrazyjnych odcinków brzegu. W 7 monitorowanych przekrojach poprzecznych, w których, jak już wcześniej wspomniano, platforma przybrzeżna rozwija się w typie abrazyjno-akumulacyjnym, poziom górny jest szerszy, najczęściej 20–45 m i bardziej nachylony, $35-3^\circ$, od poziomu niższego, którego szerokość sporadycznie osiąga 20 m przy bardzo małym nachyleniu od 2 do 4° . Rozdzielający poziomy stopień ma 6–12 m szerokości i nachylenie od 5° do 12° , zwykle 2 razy większe od nachylenia w obrębie przylegających do niego poziomów (ryc. 12; tab. 10). Wyjątek stanowią brzegi przygłębione o bardzo dużej intensywności procesu abrazyji, gdzie zarówno stopień, jak i



Ryc. 11. Pomiary platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego w przekroju nr 1, w latach 1999-2003, na tle jej morfologii
 Measurements of coastal platform Pakość Reservoir in cross section nr 1, detail researched in 1998-2003 years, with their morphology

Zasięg platformy przybrzeżnej i jej skłonu wyznaczono na podstawie granulometrii osadów powierzchniowych (patrz ryc. 14). Coastal platform range and their slope marked base on survey sediment components (look fig. 14).

—●— termin sondowania i odpowiadający mu stan wody - lines marked measurement series with probe points, for which give date of this and water level.; 7°20' - nachylenie fragmentu strefy brzegowej - in degrees give gradient of different cross section fragments.

Tabela 9. Parametry platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego

Numer profilu	Szerokość platformy przybrzeżnej	Kąt nachylenia platformy przybrzeżnej	Typ brzegu	Wysokość klifu
1	36	6°40'	abrazyjny	1,4
2	26,5	7°50'	abrazyjny	1,3
3	44,5	4°10'	abrazyjny	-
4	39	5°30'	abrazyjny	1,4
5	54	4°40'	abrazyjny	5,0
6	45	4°10'	abrazyjny	0,4
7	52,6	4°30'	abrazyjny	0,6
8	27,2	4°30'	abrazyjny	0,1
9	18	7°10'	abrazyjny	0,6
10	30 (?)	7°20'	abrazyjny	-
11	25 (25)	6°20'	abrazyjny	-
12	32 (32)	8°00'	abrazyjny	0,3
13	36 (36)	6°50'	neutralny	-
14	35 (35)	7°00'	abrazyjny	0,3
15	54	4°30'	neutralny	-
16	36	5°40'	abrazyjny	0,3
17	28	4°40'	neutralny	0,1
18	38	3°50'	neutralny	-
19	35	5°30'	neutralny	-
20	24	8°30'	abrazyjny	-
21	32	5°00'	neutralny	-
22	21	7°40'	abrazyjny	0,8
23	44,5	5°20'	abrazyjny	0,5
24	27	8°10'	abrazyjny	0,8
25	25	6°00'	abrazyjny	1,0
26	28	6°50'	abrazyjny	0,9
27	41	5°50'	abrazyjny	0,4
28	52	5°20'	abrazyjny	0,7
29	55	4°40'	akumulacyjny	-
30	49	3°40'	neutralny	-
31	47	3°40'	abrazyjny	0,3
32	37,5	5°00'	abrazyjny	0,4
33	20	6°00'	abrazyjny	0,3
34	34	3°00'	abrazyjny	-
35	33	2°30'	akumulacyjny	-
36	54	4°10'	abrazyjny	-
37	25	6°30''	abrazyjny	-

Pomiary wykonano na przelomie czerwca i lipca 1999 r. Przekroje 1–7 wytypowano do dalszych badań.

(?) – zasięg platformy przybrzeżnej niepewny.

Tabela 10. Morfometria platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego w wybranych przekrojach poprzecznych, monitorowanych w latach 1999–2003

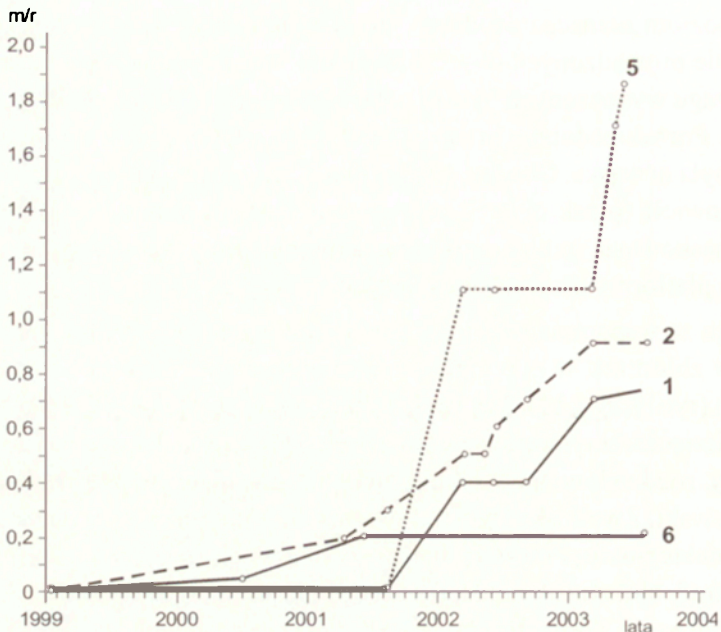
Numer i lokalizacja przekroju	Nachylenie stoku powyżej krawędzi klifu [°]	Wysokość kilfu [m]	Parametry wyróżnionych elementów								
			Część górna, „zbiornikowa”			„Stopień”			Część dolna, „jeziorna”		
			rzędna [m n.p.m.]	szerokość d [m]	nachylenie α [°]	rzędna [m n.p.m.]	szerokość d [m]	nachylenie α [°]	rzędna [m n.p.m.]	szerokość d [m]	nachylenie α [°]
1. Ostrowo	2°	1,6	78,7–77,7 77,7–75,45	4 30	14°00' 5°00'	75,4–74,5	7	7°00'	74,5–73,7	20	2°00'
2. Dobieszewice	7°40'	0,9	77,9–76,5 76,5–76,0	10,4 6	7°48' 4°30'	76,0–74,5	7,4	11°54'	74,5–74,2	2,8	6°6'
3. Janikowo - Cukrownia	6°24'	0	78,8–76,2 76,2–75,7	28,5 9	5°12' 3°06'	75,7–74,5	12	5°48'	74,5–73,5	15	3°24'
4. Janikowo – Pompownia	3°40'	1,4	78,7–76,5 76,5–75,8	15 15,4	8°24' 2°36'	75,8–75,0	8,6	5°18'	75,0–74,2	15	2°54'
5. Kołuda Mała	2°20'	5	78,8–76,6 76,6–74,0	15,6 40,4	35°30' 3°42'	-	-	-	-	-	-
6. Skalmierowice	2°42'	0,4	78,7–77,0 77,0–75,4	19,2 21,50	5°48' 4°12'	75,4–74,5	6	8°42'	74,5–73,9	5	4°36'
7. Gociwie	5°12'	0,46	78,8–76,1 76,1–75,6	32,2 10,6	4°48' 2°42'	75,6–74,6	9	6°12'	74,6–73,9	16,4	2°24'

niższy poziom zaznacza się słabo – przekrój nr 2, bądź wcale – przekrój nr 5. W okresie prowadzonych obserwacji średnio rocznie z jednego metra bieżącego brzegu wynoszonych było tu odpowiednio 0,3 i 2,12 m³ osadów (ryc. 12; tab. 11). Prawdopodobnie jeszcze przed spiętrzeniem platforma przybrzeżna jeziora była tu wąska. Obecnie została ona w znacznym stopniu (przekrój nr 2) lub całkowicie (przekrój nr 5) pokryta współcześnie akumulowanymi osadami i zamaskowana, stanowiąc podłoże akumulacyjnej części obecnie kształtującej się platformy przybrzeżnej zbiornika.

Druga ze wspomnianych generacji stopni występuje wzdłuż abrazyjnych brzegów zbiornika, w obrębie okresowo wynurzanej części platformy przybrzeżnej (ryc. 9; ryc. 11). Tworzą ją schodzące w kierunku zbiornika poziomy kilkudziesięciocentymetrowej szerokości, łagodnie nachylone w kierunku linii wody, rozdzielone niewielkimi progami, zwanymi również mikroklifami (Kostrzewski, Zwoliński 1985c). Poziomy są formami o charakterze abrazyjno-akumulacyjnym. Powstają one na styku z wodą, w efekcie przemieszczania się strefy abrazji i akumulacji po jej powierzchni wraz ze zmieniającym się poziomem wody. Formy te, określane również mianem mikroteras (Kieraś i in. 1973) są swoistą, wskaźnikową cechą stref brzegowych sztucznych zbiorników wodnych cechujących się znacznymi wahaniami poziomu wody. Są one zminiaturyzowanym odpowiednikiem półek występujących w obrębie dojrzałych, w pełni ukształtowanych stref brzegowych jezior, w których poziom wody podlegał wyraźnym zmianom, najczęściej o charakterze długookresowym (Bogoslovskij 1960; Nowaczyk 1994; Marsz 1971, Adams, Wesnousky 1998, Prieto 1995). W przypadku sztucznych zbiorników wodnych geneza tego typu stopni wiązana jest z okresowym wzrostem intensywności falowania (Banach, Grobelska 2003; Ovčinnikov, Karnauchova 1985) często korelowanym z opadającym (Rydzik 1978), bądź dłużej utrzymującym się niezmiennym poziomem wody (Finarov 1986; Spanila, Simeonova 1993). Niekiedy ich powsta-

Tabela 11. Tempo cofania się klifu i objętość wyniesionego materiału w monitorowanych przekrojach poprzecznych (nr 1, 2, 5 i 6) w latach 1999–2003

Numer przekroju	Odległość (d)		Wysokość klifu h [m]	Objętość wyniesionego materiału z 1 metra bieżącego brzegu (O)	
	Całkowita [m]	średnia [m/r]		całkowita [m ³ /1 mb]	średnia [m ³ /mb/r]
1	0,7	0,17	1,6	1,12	0,28
2	0,9	0,22	1,3	1,17	0,3
5	1,85	0,46	4,61	8,53	2,12
6	0,2	0,05	0,39	0,08	0,02



Ryc. 12. Tempo cofania się klifu w monitorowanych przekrojach poprzecznych (nr 1, 2, 5 i 6) w latach 1999–2003. 1 – wykonane pomiary

Dynamic of cliff recession in cross section researched (number 1, 2, 5 and 6), 1999–2003 years. 1 – measurement point

nie jest wyłącznie wynikiem skokowych zmian stanów wody, których wielkość bezpośrednio warunkuje wysokość powstałego stopnia (Jaguś 2000; Rzętała 2003). W przypadku zbiornika pakoskiego, w którym w całym cyklu eksploatacyjnym poziom wody zmienia się w sposób ciągły, jednostajny, o 1–2 cm na dobę, bezpośrednią przyczyną powstawania stopni są okresowe wzrosty intensywności falowania. Parametry powstających poziomów i rozdzielających je progów uzależnione są z jednej strony od intensywności falowania oraz częstotliwości występowania i długości trwania sytuacji sztormowych na zbiorniku, z drugiej natomiast nachylenia przekształcanej platformy przybrzeżnej oraz podatności osadów na abrazję i ich miąższości. W górnej, abrazyjnej części platformy przybrzeżnej stopnie powstają w materiale *in situ*, najczęściej zwięzłych glinach pylastych (fot. 7).

Na ich powierzchni często występuje kamieniste lub rzadziej żwirowopiaszczyste *residuum* (fot. 8). Natomiast stopnie położone w niższych częściach platform powstają w zakumulowanych tam, podatnych na rozmywanie, osadach piaszczysto-żwirowych, często tworzących okresową plażę o zróżnicowanym stopniu wykształcenia (fot. 9).

Pomiary platformy przybrzeżnej wykonywane w siedmiu monitorowanych przekrojach poprzecznych, w latach 1999–2003 wykazały, iż stopnie utwo-



Fot. 7. Abrazyjna część platformy przybrzeżnej ze stopniami wykształconymi w macierzystym podłożu – zwięzłych glinach pylastych, Janikowo-Pompownia
Abrasive part of coastal platform with steps developed in concise silt till, Janikowo-Pomp Station



Fot. 8. Residuum żwirowo-kamieniste poniżej 40 cm wysokości stopnia wykształconego w macierzystym podłożu, Zatoka Kołudzka
Stone and gravel residuum laying below step, high 40 centimetres, development in silt till, Kołudzka Bay



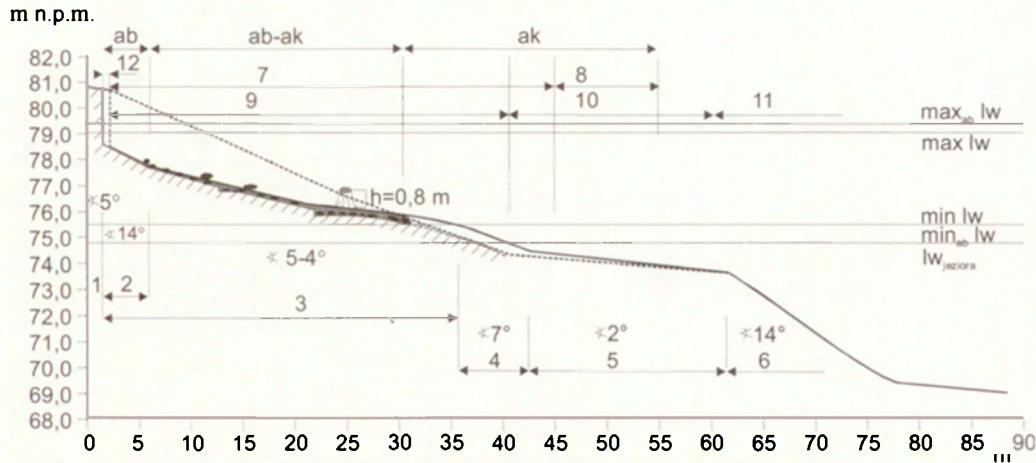
Fot. 9. Stopień w obrębie osadów zdeponowanych w akumulacyjnej części platformy przybrzeżnej, Broniewice
Step in sediments at accumulative part of coastal platform, Boniewicc



Fot. 10. Odkryte pnie na powierzchni platformy przybrzeżnej; miąższość usuniętej warstwy osadów wynosi 0,2–0,4 m, Trląg
Uncovered trees roots at coastal platform, thickness of removed sediments are 0,2–0,4 metres, Trląg

rzony w macierzystym podłożu, są względnie stałym elementem jej morfologii i podlegają tylko niewielkim przekształceniom związanym z rozwojem klifu. W niezmiennym kształcie zachowują się przez cały sezon, a nawet dłużej. Natomiast poziomy występujące w dolnej, zewnętrznej, bardzo krótko wynurzonej części platformy, wykształcone w redeponowanym, zakumulowanym materiale piaszczysto-żwirowym mają charakter sezonowy. Ich trwałość jest wypadkową zarówno lokalizacji, jak i sytuacji hydrodynamicznej występującej na zbiorniku w danym cyklu pomiarowym. Często w związku z bardzo krótkim okresem wynurzenia, zachowują się zaledwie kilka, kilkanaście dni. Wysokość zarówno pierwszych jak i drugich stopni waha się od kilku centymetrów do maksymalnie 0,5 m, z tendencją malejącą w kierunku zewnętrznej części platformy przybrzeżnej. Sprzyja temu malejące w kierunku zbiornika nachylenie platformy oraz zmiana podlegających abrazji osadów z gliniastych na mniej odporne piaszczysto-żwirowe. Często kolejne stopnie pojawiające się wraz z opadającym poziomem wody w zbiorniku rozdzielone są progami o coraz mniejszej wysokości i jednocześnie większej szerokości. Półki osiągnają najczęściej kilkadziesiąt centymetrów szerokości, sporadycznie 1–2 m. Szczególnie w zewnętrznej części platformy parametr ten uzależniony jest od częstotliwości występowania na zbiorniku okresów o większej intensywności falowania. W zależności od sytuacji hydrodynamicznej oraz zakresu stanów wody w danym cyklu eksploatacyjnym, warunkującego szerokość odsłoniętej części platformy przybrzeżnej, w danym sezonie w jednym przekroju poprzecznym obserwowano od 1 do 5 takich poziomów (fot. 7).

Wiercenia wykonane w obrębie platformy przybrzeżnej wskazują również, iż poziomy wykształcone w pierwotnym podłożu niekiedy zachowały się również w formie kopalnej. Poza zmiennością sezonową, uwarunkowaną wahaniami stanów wody, cofanie (poszerzanie) górnej części platformy przybrzeżnej powoduje przemieszczenie strefy abrazji i akumulacji ku lądowi, a tym samym jakościową zmianę zachodzących tam procesów. Wzdłuż brzegów, którym towarzyszy aktywny klif o wysokości nie przekraczającej 2–2,5 m, strefa abrazji sukcesywnie przemieszcza się w kierunku zbiornika i stopniowo zostaje włączona w obręb strefy abrazyjno-akumulacyjnej. Stopnie wykształcone w zalegających *in situ* osadach gliniastych zostają przykryte i zamaskowane zakumulowanymi osadami piaszczysto-żwirowymi, obecnie nie zaznaczają się w morfologii platformy. Sytuację taką obserwujemy m.in. w przekroju nr 1 w Ostrowie, wzdłuż abrazyjnego fragmentu brzegu z aktywnym klifem o wysokości 1,6 m. W formie kopalnej zachowały się tam dwa stopnie (ryc. 13). Pierwszy, wewnętrzny, o podstawie w poziomie 76,64 m n.p.m. ma 15 cm wysokości, natomiast drugi z podstawą w poziomie 76,20 m n.p.m. osiąga wysokość około 25 cm. Występują one w odległości 11,5 i 20,5 m od obecnej



Ryc. 13. Przekrój poprzeczny strefy brzegowej zbiornika pakoskiego w Ostrowie (przekrój numer 1).

1 – pierwotny stok, 2 – abrazyjny fragment platformy przybrzeżnej, 3 – fragment platformy przybrzeżnej powyżej zbocza towarzyszącego linii brzegowej jeziora przed piętrzeniem, 4 – dawne zbocze towarzyszące linii brzegowej jeziora przed piętrzeniem w 1975 r., obecnie nadbudowywane osadami, 5 – zachowana, zatopiona platforma jeziorna, 6 – stok misy jeziornej, 7 – współczesna, zbiornikowa platforma przybrzeżna i 8 – jej skłon, 9 – fragment zbiornikowej platformy przybrzeżnej ukształtowanej powyżej dawnego zasięgu jeziora, 10 – przypuszczalny zasięg jeziornej platformy przybrzeżnej i 11 – jej skłonu, 12 – wyabradowany w okresie badań 1999-2003 fragment pierwotnego stoku, h – wysokość wymycia zachowanych na powierzchni platformy pni drzew; fragment brzegu o dominującym charakterze: ab – abrazyjny, ab-ak – abrazyjno-akumulacyjny, ak – akumulacyjny; poziom wody: $\max_{ab} lw$ – maksymalny dopuszczalny na zbiorniku, $\max lw$ – maksymalny, obserwowany w okresie prowadzonych badań, $\min_{ab} lw$ – minimalny dopuszczalny na zbiorniku, $\min lw$ – minimalny, obserwowany w okresie prowadzonych badań, $lw_{jeziorna}$ – występujący na jeziorach przed ich spiętrzeniem; linią przerywaną oznaczono przypuszczalny pierwotny zarys stoku

The cross section of coastal zone Paokoś Reservoir in Ostrowo (cross section number 1).

1 – original slope, 2 – abrasive part of coastal platform, 3 – part of coastal platform above small slope connected with lake before raise water level in 1975 y, present zone accumulation of sediments, 4 – small slope connected with lake before raise water level, 5 – keeping, sinking lake costal platform, 6 – slope of lake basin, 7 – contemporary, coastal platform of reservoir and 8 – their slope, 9 – part of reservoir coastal platform above old lake coastal platform, 10 – presumable range lake coastal platform and 11 – their slope, 12 – abraded part of slope in 1999-2003 y, h – thickness of abraded layer; part of coastal platform: ab – abrasive, ab-ak – abrasive-accumulative, ak – accumulative; water level: $\max_{ab} lw$ – maximum possibility on reservoir, $\max lw$ – maximum observed in research period, $\min lw$ – minimum observed in research period, $\min_{ab} lw$ – minimum possibility on reservoir, $lw_{jeziorna}$ – water level in lake before raise water level in this, dashed line – possibility, original contour of slope above rising water level in lake

(2003 r.) ściany klifu. Formy te współcześnie nie zaznaczają się w powierzchni terenu. Wypełniają je utwory gruboziarniste z kilkucentymetrowymi prze warstwieniami utworów gliniastych występujących na głębokości poniżej 10–15 cm. W spągu, osady te zakończone są wyraźną warstwą bruku, żwirów i głazów o średnicy dochodzącej do 5 cm, które zalegają bezpośrednio na macierzystym podłożu.

Rzeźbę okresowo odsłanianej części platformy przybrzeżnej poza opisanymi poziomami urozmaicają również formy akumulacyjne o zróżnicowanej wielkości i trwałości. Występują one zarówno wzdłuż akumulacyjnych, jak i przy niższych stanach wody, wzdłuż abrazyjnych fragmentów brzegu.

5.3. ROZKŁAD I ZMIENNOŚĆ GRANULOMETRYCZNA OSADÓW

W rozkładzie osadów na platformie przybrzeżnej sztucznych zbiorników wodnych o kilkumetrowych wahanich stanów wody, podobnie jak na zbiornikach o wahanich niewielkich (Banach, 1994), obserwuje się zmniejszanie średniej średnicy ziarna wraz z oddalaniem się od linii wody, tj. wzrostem głębokości. Osad najgrubszy występuje na proksymalnym, zewnętrznym stoku plaży oraz w górnej części stoku płycizny przybrzeżnej. Jednocześnie, wraz z oddalaniem się od linii brzegowej pogarsza się stopień ich wysortowania. Ponadto, powierzchnię platformy przybrzeżnej zbiorników o dużych wahanich stanów wody często urozmaicają podwodne wały wzdłużbrzegowe, zbudowane najczęściej z utworów piaszczystych. Na dużych zbiornikach syberyjskich, brackim i nowosybirskim, do głębokości 3,5–4 m z reguły obserwuje się 3–4 ciągi tych form, z których najwyżej położona znajduje się w bliskim sąsiedztwie linii wody. Wysokość wałów wynosi od 10 do 50 cm. W stosunku do linii brzegowej przebiegają one pod kątem 15–30°. W takich przypadkach, na powierzchni platformy przybrzeżnej, poza opisanym drobnieniem i pogorszeniem wysortowania materiału wraz ze wzrostem głębokości, obserwuje się także strefową zmienność osadów. Wały są bowiem zbudowane z osadów wyraźnie drobniejszych w stosunku do osadów występujących w rozdzielających je obniżeniach międzywałowych, gdzie poza wyraźnym wzrostem średniej średnicy ziarn jednocześnie zaznacza się lepsze ich wysortowanie (Ovčinnikov, Karnauchova 1985; Habidov 1999a).

Parametry osadów na platformie przybrzeżnej zbiorników zmieniają się w zależności od wielkości wahań stanów wody w wieloleciu, jak i jednym cyklu eksploatacyjnym fazy pracy zbiornika, tj. opadania bądź wzrastania poziomu wody oraz intensywności falowania, które bezpośrednio warunkuje miąższość aktywnie przekształcanej serii osadów (Habidov 1999a, 1999b; Ovčinnikov 1999, 2003; Ovčinnikov, Karnauchova 1985; Ovčinnikov i in.

2002). Najintensywniejszy ruch osadów na powierzchni platformy następuje do głębokości 0,5–1 m poniżej poziomu wody, przy czym miąższość ruchomej, kilkucentymetrowej warstwy spada wraz z oddalaniem się od brzegu (Banach 1994; Ovčinnikov, Karnauchova 1985; Finarov 1986). Na zbiorniku brackim G.I. Ovčinnikov i G.A. Karnauchova (1985) podają, iż przy fali o wysokości 0,5 m miąższość ruchomej warstwy osadów wynosi 20 cm w strefie do głębokości 10–15 cm, 15 cm na głębokości 0,4–0,6 m i zaledwie 6 cm na głębokości 0,9 m.

Przy wysokim stanie wody, osiągającym podstawę aktywnego klifu w obręb platformy przybrzeżnej dostarczany jest świeży, nie wysortowany materiał, który podlega rozmywaniu. Depozycja i przemieszczanie osadów zachodzi w związku ze zmianami przepływu wody. Początkowo osadzone są frakcje grubsze, żwiry oraz piaski średnio i drobnoziarniste, które akumulowane są w górnej, wewnętrznej części platformy. Osady najgrubsze, jak wcześniej wspomniano, występują w strefie bezpośrednio towarzyszącej linii brzegowej. Frakcje drobniejsze, piaski bardzo drobnoziarniste oraz mułki i ropy, są transportowane i akumulowane w zewnętrznej części platformy przybrzeżnej, na jej skronie jak i poza nią, w strefie głębokowodnej. Wraz z opadaniem poziomu wody, rozmywaniu podlegają wcześniej złożone osady. Wymywanie frakcji mobilnych prowadzi do poprawy wysortowania osadu oraz wzrostu średniej średnicy ziarn. Podobna zależność zachodzi również w początkowej fazie piętrzenia wody w zbiorniku, kiedy to rozmywaniu podlegają osady wcześniej tu złożone. Ich usunięcie umożliwia rozpoczęcie rozmywania podścielających je osadów stanowiących macierzyste podłoże platformy, co zaznacza się wyraźnym pogorszeniem stopnia wysortowania przemieszczanych osadów oraz zaburzeniem rozkładu ich uziarnienia (Habidov 1999a, b; Ovčinnikov 1999).

Przy przemiennie występujących niskich i wysokich stanach wody, osady sukcesywnie przemieszczane są na większe głębokości, ku krawędzi platformy przybrzeżnej. W dłuższym okresie, wraz z kolejnymi cyklami pracy zbiornika, skład osadów na platformie przybrzeżnej zmienia się w kierunku ich większej jednorodności i wzrostu udziału cząsteczek grubszych w efekcie wymywania cząsteczek drobnych, które transportowane są na większe głębokości (Ovčinnikov 1999, 2003). Ponadto, obniżanie poziomu wody sprzyja spadkowi udziału w strefie brzegowej frakcji mobilnych, tj. piasków średnio- i drobnoziarnistych, \varnothing 0,5–0,25 i 0,25–0,1 mm. Zostają one zdeponowane i zatrzymane w tworzących się formach akumulacyjnych (Habidov i in. 1999). Ma to bardzo ważne znaczenie dla intensywności procesu przekształcania strefy brzegowej w dłuższych okresach czasu. Nie wszystkie bowiem formy akumulacyjne, powstałe w fazie obniżania wody przy średnim i niskim jej stanie, w kolejnej fazie piętrzenia zbiornika ulegają rozmyciu. Złożony w nich mate-

riał zostaje tam okresowo bądź trwale zatrzymany, m.in. w efekcie ich stabilizacji pokrywają roślinną. Prowadzi to do deficytu mobilnych frakcji w przerabianym osadzie, co może być jedną z przyczyn nasilenia intensywności abrazyj brzegu. Ponadto, w miejscach gdzie frakcje mobilne są domieszką materiałów grubszych, ich odprowadzenie z osadu powoduje wzrost kąta nachylenia platformy przybrzeżnej, również powodując wzrost aktywności procesów brzegowych przy kolejnym podniesieniu poziomu wody (Habidov 1999a).

Osady złożone w wewnętrznej, okresowo wynurzanej części platformy przybrzeżnej prezentują bardzo złożoną budowę. Warstwy różnoziarniste, akumulowane przy niskich stanach wody występują przemiennie z warstwami bardziej jednorodnymi, akumulowanymi przy stanach wysokich (Ovčinnikov, Karnauchova 1985).

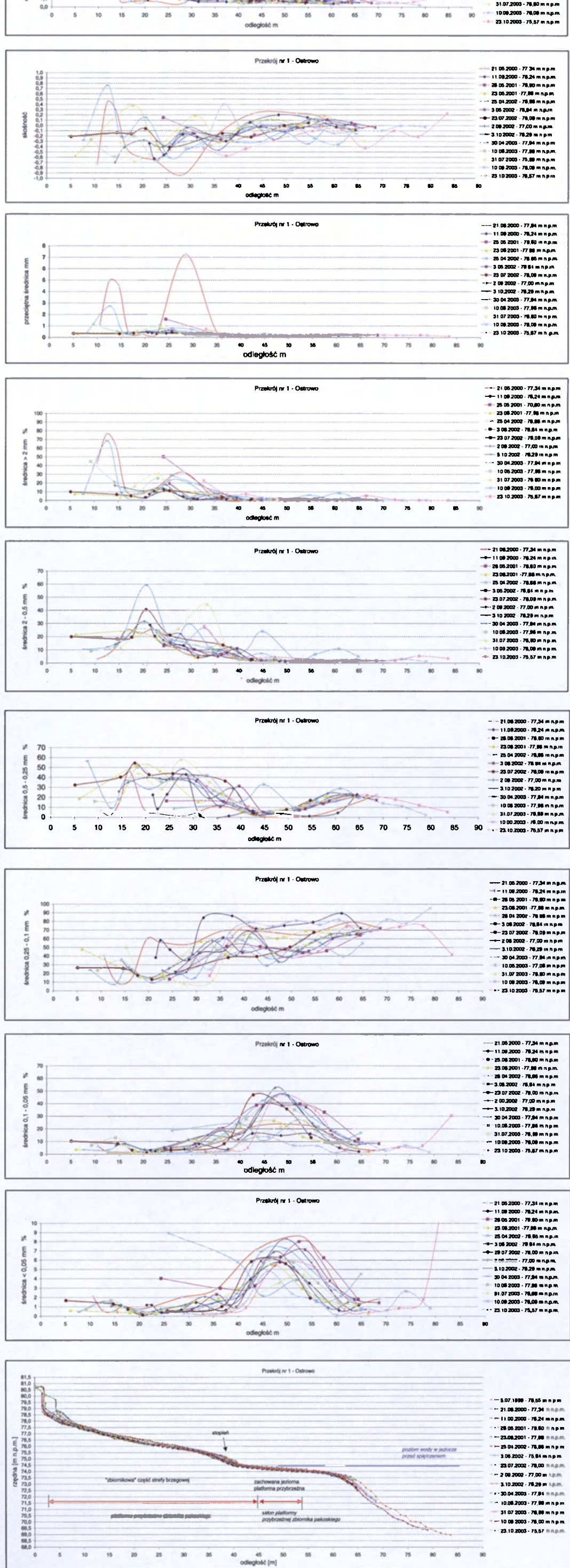
Okresowo, na stopień wysortowania osadów wpływa również wielkość falowania występującego na zbiorniku. Przy jego niewielkiej intensywności wymywaniu podlegają drobne frakcje z warstwy osadów o niewielkiej, kilkucentymetrowej miąższości, co prowadzi do lepszego ich wysortowania. Wraz ze wzrostem falowania, parametr ten pogarsza się w związku ze wzrostem miąższości rozmywanej warstwy osadów oraz średnicą unoszonych cząstek. Ponadto, w okresach intensywnej falowania, następuje przebudowa platformy przybrzeżnej będąca wynikiem przemieszczenia oraz częściowego, bądź całkowitego rozmycia występujących na jej powierzchni, wspomnianych już, różnoskalowych, podwodnych, najczęściej piaszczystych wałów wzdłużbrzegowych (Ovčinnikov, Karnauchova 1985; Habidov 1999a; Hejns, Tosteson 1999).

Na rozkład osadów wpływają również lokalne warunki, w jakich kształtuje się dany fragment brzegu, tj.: pierwotne nachylenie stoku, głębokość wody w bliskim sąsiedztwie łądu czy charakter rozwinięcia linii brzegowej, m.in. obecność dużych półwyspów lub zatok.

Analizę rozkładu i zmienności osadów powierzchniowych występujących w obrębie platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego oparto na badaniach wykonanych w siedmiu monitorowanych w latach 1999–2003 przekrojach poprzecznych, rozmieszczonych wzdłuż abrazyjnych fragmentów brzegu. Pomiar zmienności morfologii platformy przybrzeżnej został tam połączony z poborem prób osadów. W całym okresie badań zastosowano jednakową metodykę. Z podwodnej części platformy pobór prób był wykonywany z łódki, czerpakiem typu Eckmana-Bridge'a, z częstością 0,5–5,0 m. Natomiast w osuszonej części platformy badania osadów objęły zarówno rozpoznanie ich litologii, jak i miąższości.

Poboru osadów dokonywano w bezlodowych okresach wiosenno-jesien-nych, od połowy kwietnia do połowy listopada. Ze względu na brak stabilnej pokrywy lodowej osadów nie pobierano w okresie zimowym. Częstotliwość poboru prób w poszczególnych sezonach była zróżnicowana, z tendencją wzrostową. W roku 1999 wykonano jedną serię pomiarową, w latach 2000 i 2001 po dwie, a w latach 2002 i 2003 już odpowiednio 6 i 5 serii pomiarowych, w odstępach około 1,5 miesięcznych (ryc. 5). Niewielka ilość prób pobranych w początkowym okresie badań wynikała z istniejących ograniczeń technicznych i finansowych. W okresie późniejszym częstotliwości oraz termin wykonywanych badań dostosowano do zmienności stanów wody w zbiorniku. Zmienność ta uzależniona jest od zaistniałej w danym okresie sytuacji hydrologicznej w całej zlewni Noteci. Uniemożliwia to wcześniejsze zaplanowanie terminów poboru prób, jak również prognozowanie maksymalnego i minimalnego stanu wody na zbiorniku, jaki wystąpi w danym roku hydrologicznym. Łącznie wykonano szesnaście serii pomiarowych przy różnych stanach wody. Objęły one cały zakres stanów wody, jakie wystąpiły w okresie prowadzonych badań, od maksymalnego 78,86 m n.p.m. w kwietniu 2002 r., do najniższego w październiku 2003 r. wynoszącego 75,58 m n.p.m. Pomiarów wykonywano w różnych fazach cyklu eksploatacyjnego: przed i po wystąpieniu na zbiorniku stanu maksymalnego (lata 2001–2003) oraz w czasie opadania poziomu wody. Jak już wspomniano, brak stabilnej pokrywy lodowej uniemożliwił pobór prób w okresie zimowym, na który przypada początkowa faza piętrzenia wody w zbiorniku. Utrudnia to ocenę zmienności osadów w tej fazie. Czteroletni okres poboru prób pozwolił na rozpoznanie cech osadów na powierzchni platformy przybrzeżnej w różnych sytuacjach, zarówno po osiągnięciu przez linię wody podstawy aktywnego klifu, co zwykle wiąże się z dostawą w obręb platformy świeżego, niewysortowanego materiału, jak i po dłuższym okresie niskich stanów wody, gdy po raz kolejny przerabianiu podlega materiał wcześniej zdeponowany na jej powierzchni (2000 r.).

Łącznie w latach 1999–2003 pobrano 1048 prób osadów i laboratoryjnie określono ich cechy teksturalne. Ze względu na brak, bądź znikomą zawartość frakcji ilastej, jak również małą przydatność wskaźnikową dla rozpatrywanych zagadnień, analizę uziarnienia ograniczono do standardowej metody sitowej (Mycielska-Dowgiałło 1995; Racinowski, Szczypek 1985). Po uprzednim wysuszeniu prób, badania wykonano na zestawie sit firmy Fritz o wymiarach oczek: 5; 2; 1; 0,8; 0,5 ; 0,25; 0,125; 0,045 mm, a następnie przeliczono na przedziały umożliwiające ich analizę w sześciu, najczęściej wykorzystywanych w tego typu badaniach frakcjach uziarnienia (Habidov 1999a, 1999b; Habidov i in. 1999; Ovčinnikov, Karnauchova 1985). W klasyfikacji Państwowego Instytutu Geologicznego (Racinowski, Szczypek 1985)



Ryc. 14. Zmienność osadów powierzchniowych na platformie przybrzeżnej zbiornika pakoskiego w przekroju poprzecznym nr 1, w latach 2000–2003, na tle jej morfologii

Changing of survey sediments on coastal platform of the Pakość Reservoir in cross section number 1 researched in 1999–2003 years, with their morphology

są to: 1) kamienie i żwiry o średnicy $\varnothing > 2$ mm, 2) piaski bardzo gruboziarniste i gruboziarniste $\varnothing 2-0,5$ mm, 3) piaski średnioziarniste $\varnothing 0,5-0,25$ mm, 4) piaski drobnoziarniste $\varnothing 0,25-0,1$ mm, 5) pył (mułek) gruboziarnisty (piasek bardzo drobnoziarnisty) $\varnothing 0,1-0,05$ oraz 6) pył (mułek) drobnoziarnisty i il $\varnothing < 0,05$. Dla analizowanych prób, z wykorzystaniem programu komputerowego Siewca (BJB software house), wyznaczono, a następnie zinterpretowano podstawowe, stosowane w literaturze graficzne wskaźniki uziarnienia w milimetrach i skali phi: średnia średnica ziarna M_z , odchylenie standardowe δ_1 , będące miarą wysortowania oraz skośność Sk określającą stopień asymetrii rozkładu (Mycielska-Dowgiałło 1995; Racinowski, Szczypek 1985; Leeder 1986). Początkowo, w latach 1999–2000, analizy uziarnienia 188 prób wykonano w Laboratorium Sedymentologicznym Instytutu Geografii UMK w Toruniu. Od 2001 r. analizy te wykonywała autorka w Laboratorium Instytutu Geografii i PZ PAN w Toruniu.

Na powierzchni platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego przeważają osady piaszczyste o średniej średnicy ziarn $0,1-1$ mm, najczęściej $0,2-0,4$ mm, które cechują się średnim bądź słabym wysortowaniem (odchylenie standardowe δ_1 $0,5-2,0$ phi) i bardzo zróżnicowaną, przeważnie ujemną skośnością (ryc. 14). Średnica osadu, wraz ze wzrostem głębokości sukcesywnie maleje przy jednoczesnym nieznacznym pogorszeniu wysortowania. Pomimo zbliżonej morfologii platformy przybrzeżnej osady występujące na jej powierzchni w blisko sąsiadujących ze sobą przekrojach wykazują zasadnicze różnice. Sytuację taką obserwujemy w oddalonych od siebie o zaledwie 150 m przekrojach poprzecznych umiejscowionych w Janikowie. W przekroju nr 3 (Janikowo – Cukrownia) o wyraźnie słabszej intensywności procesu abrazji przeważają osady o średniej średnicy $0,2-0,3$ mm, podczas gdy w sąsiadującym przekroju nr 4 (Janikowo – Pompownia) dominują osady wyraźnie drobniejsze, o średniej średnicy $0,15-0,2$ mm. Jest to najprawdopodobniej wynik nadal istniejącej, charakterystycznej dla początkowego etapu rozwoju strefy brzegowej zbiornika, ścisłej zależności pomiędzy budową geologiczną brzegu a osadami występującymi na bezpośrednio towarzyszącej mu platformie przybrzeżnej. Zależność ta jest wynikiem dominacji w strefie brzegowej poprzecznego nad wzdłużbrzegowym kierunkiem przemieszczania osadów (Ikonnikov 1972). W przypadku zbiorników cechujących się niewielkimi wahaniami stanów wody sytuacja taka utrzymuje się zaledwie przez kilka pierwszych lat funkcjonowania zbiornika i odpowiada pierwszej, najbardziej intensywnej fazie rozwoju strefy brzegowej. Przykładowo na zbiorniku wrocławskim zależność taka zachodziła w okresie krótszym niż 10 lat (Banach 1994).

Szczegółowo zależności występujące pomiędzy rozmieszczeniem osadów na platformie przybrzeżnej zbiornika pakoskiego a jej morfologią zostaną omówione na podstawie przekroju nr 1. Jest on zlokalizowany w północnej części zbiornika, w pobliżu głębozka w Ostrowie, na prawym, abrazyjnym fragmencie brzegu (ryc. 13). Podobnie jak w pozostałych monitorowanych przekrojach poprzecznych towarzyszy mu platforma przybrzeżna rozwijająca się w typie abrazyjno-akumulacyjnym. W zboczu rynny, której nachylenie wynosi tu niespełna 5° , występują gliny pylaste i piaszczyste, obecnie podlegające bardzo intensywnej abrazji. Aktywny klif o wysokości 1,6 m, o podstawie w poziomie 78,70 m n.p.m., w okresie prowadzonych w latach 1999–2003 badań, cofnął się o 0,70 m, tj. średnio 0,18 m/rok! W czteroletnim okresie badawczym z 1 mb (mb – metra bieżącego) brzegu zostało tu odprowadzone ponad $1,1 \text{ m}^3$ utworów. Na podstawie położenia zachowanych na powierzchni platformy przybrzeżnej pni drzew, rosnących w pobliżu jezior przed ich spiętrzeniem, w stosunku do aktywnego klifu, wielkość cofnięcia się klifu w całym 28-letnim okresie eksploatacji zbiornika oszacowano na nie mniej niż 25 m. W takiej odległości od aktywnego klifu znajdują się obecnie wspomniane pnie (Grobelska 2004). Uwzględniając jednak ich położenie, dystans ten jest prawdopodobnie znacznie większy. Pnie występują, bowiem w poziomie 76,3 m n.p.m. i obecnie są odkryte na 0,8 m. Pierwotnie drzewa te rosły, zatem na wysokości 77,10 m n.p.m., tj. ponad 2 m powyżej poziomu jezior przed ich spiętrzeniem i ponad 1,5 m powyżej minimalnego poziomu wody na zbiorniku. Uwzględniając położenie i wielkość odślonięcia wspomnianych pni, jak również rzędne terenu, zmienność osadów oraz kąt nachylenia platformy przybrzeżnej i pierwotnego stoku, można przypuszczać, iż obecny klif w stosunku do początkowej linii brzegowej zbiornika cofnął się nawet o 40 m (ryc. 14)!

W morfologii strefy brzegowej w analizowanym przekroju poprzecznym, podobnie, jak i w pozostałych przekrojach, można wyróżnić zarówno fragmenty związane z funkcjonowaniem zbiornika pakoskiego, jak i nadal zachowane elementy dawnej strefy brzegowej spiętrzonych jezior – zasięg linii brzegowej i towarzyszącej jej strefę oraz platformę przybrzeżną wraz z jej skłonem. W morfologii platformy zaznaczają się tu wyraźnie dwa poziomy spłaszczenia. Poziom wewnętrzny, wyżej położony, o szerokości 34 m, rozciąga się od podstawy aktywnego klifu, tj. 78,70 m n.p.m. do około 75,50 m n.p.m., tj. powyżej minimalnych stanów występujących na zbiorniku. Ten fragment platformy przybrzeżnej, związany jest z utworzeniem i funkcjonowaniem zbiornika (ryc. 13). Poziom ten ma zróżnicowane nachylenie. Największe występuje w skrajnie wewnętrznej, abrazyjnej strefie o szerokości 4 metrów, gdzie wynosi ponad 14° . Rozciąga się ona od podstawy klifu do rzędnej 77,70 m n.p.m. Pozostała część tego poziomu nachylona jest pod kątem zaledwie 5° .

Poniżej, na wysokościach 75,50–74,50 m n.p.m., w rzeźbie platformy przybrzeżnej zaznacza się wyraźny stopień o szerokości 7 m, nachylony pod kątem ponad 7°. Poniżej, na rzędnych 74,50–73,70 m n.p.m., rozciąga się drugi ze wspomnianych poziomów. Ma on 20 m szerokości i nachylenie zaledwie 2°. Parametry oraz położenie zaznaczającego się w rzeźbie platformy przybrzeżnej stopnia wraz z towarzyszącym mu poniżej poziomem, wskazuje na ich reliktowy charakter. Elementy te są pozostałością dawnej strefy brzegowej jezior inkorporowanej w obręb strefy brzegowej zbiornika. Stopień odpowiada strefie towarzyszącej linii brzegowej jezior sprzed ich spiętrzenia, natomiast towarzyszący mu poziom jest pozostałością platformy przybrzeżnej jeziora. Poniżej opisanych poziomów rozciąga się wyraźne, 17-metrowej długości zbocze o nachyleniu 14°, które w poziomie 69,60 m n.p.m. przechodzi w strefę profundalu misy zbiornika.

W osadach występujących w analizowanym przekroju poprzecznym (ryc. 14) zaznaczają się wyraźnie dwie strefy nawiązujące do wyżej opisanych poziomów morfologicznych. Strefa pierwsza, wewnętrzna, rozciąga się od podstawy klifu i osiąga 38,50 m szerokości. Pokrywa się ona z zasięgiem nowopowstałej części platformy przybrzeżnej zbiornika i obecnie podlega intensywnemu przekształcaniu. Na jej powierzchni dominują osady grubsze o średniej średnicy ziarn od 0,2 do 0,6 mm i średnim bądź słabym wysortowaniu, δ_1 od 0,5 do 2. Ich miąższość, stwierdzona w wierceniach i szurfach wykonanych przy niskich stanach wody, wynosi przeciętnie 10–15 cm i waha się od 0,0 do 0,35 m (ryc. 13). Największe miąższości osadów są tu związane z dwoma, obecnie już „kopalnymi” stopniami wykształconymi w macierzystym podłożu kształtującej się platformy przybrzeżnej. Pierwszy, wewnętrzny, o podstawie w poziomie 76,64 m n.p.m. miał 15 cm wysokości, natomiast drugi z podstawą w poziomie 76,20 m n.p.m. osiągał wysokość około 25 cm. Występują one w odległości 11,50 i 20,50 m od podstawy aktywnego klifu. Formy te, jak już wcześniej wspomniano, obecnie nie zaznaczają się w powierzchni terenu. „Kopalne” stopnie wypełniają utwory gruboziarniste z kilkucentymetrowymi przewarstwieniami utworów gliniastych występujących na głębokości poniżej 10–15 cm. Zarówno w obrębie stopni, jak i na pozostałej części tego fragmentu platformy przybrzeżnej w spągu osadów występuje wyraźna warstwa bruku, żwirów i kamieni o średnicy dochodzącej do 5 cm. Zalegają one bezpośrednio na macierzystym podłożu.

Odmienne cechy wykazują osady występujące w dolnej części platformy przybrzeżnej, poniżej 74,50 m n.p.m., utożsamianej z inkorporowaną platformą jeziorną. W stosunku do wyżej leżącej strefy pierwszej, występujące tu osady są zdecydowanie drobniejsze, o średniej średnicy 0,1–0,2 mm i wyraźnie lepszym, średnim wysortowaniu, δ_1 od 0,5 do 1. Podobne zależności w roz-

kładzie osadów obserwujemy również w pozostałych przekrojach poprzecznych, z wyłączeniem przekroju nr 5, zlokalizowanego w Kołudzie Małej, gdzie w obrębie platformy przybrzeżnej nie zaznaczają się elementy starej platformy jeziornej.

Bardziej szczegółowych informacji na temat platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego, kierunków i dynamiki zachodzących w jej obrębie procesów, dostarcza analiza osadów powierzchniowych w poszczególnych frakcjach, ich wzajemnych relacji, jak i zmienności w zależności od wahań stanów wody w zbiorniku.

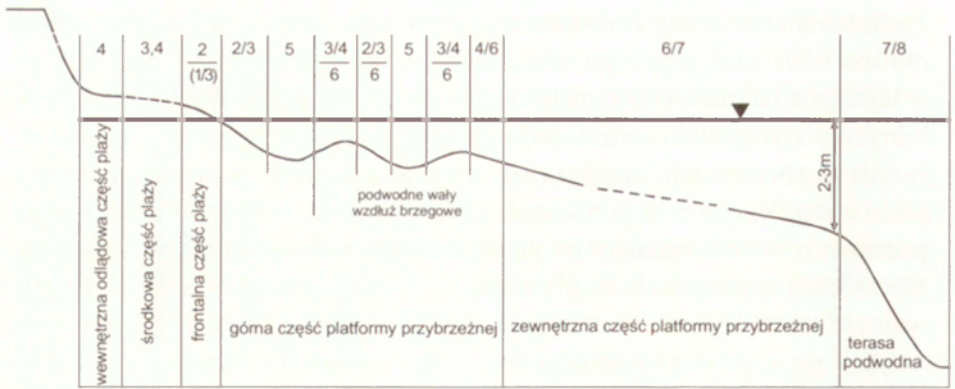
Fracja najgrubsza, o średnicy > 2 mm stanowi najczęściej około 5–10% wszystkich osadów. W poszczególnych przekrojach jej udział waha się od 4–6% w przekroju nr 4 (Janikowo – Pompownia) do 30% w przekroju nr 7 (Gociwie). W pojedynczych próbach wartość ta może dochodzić nawet do 90%.

W omawianym bliżej przekroju poprzecznym nr 1, udział frakcji o średnicy > 2 mm jest bardzo zróżnicowany i generalnie maleje wraz z głębokością od ponad 75 do blisko 0% (ryc.14). Zdecydowanie wyższe wartości notowane były w seriach pobieranych przy wysokich stanach wody, w okresach bezpośrednio poprzedzających osiągnięcie przez linię wody klifu i leżącego u jego podstawy materiału. Szczególnie wyraźnie zależność ta zaznacza się w osadach pobieranych w czerwcu 2000 r. i kwietniu 2003 r. Większy udział frakcji gruboziarnistej jest następstwem wymywania frakcji drobniejszych, najbardziej mobilnych, tj. piasków średnio- i drobnoziarnistych, które przenoszone są w dół po platformie przybrzeżnej, na większe głębokości. Osady te ulegają wymywaniu już przy prędkościach 0,18–0,23 m/s. Frakcje gruboziarniste jak i silnie kohezyjne osady pyłaste, w związku ze znacznymi prędkościami niezbędnymi do ich uruchomienia, np. 0,65 m/s dla $\varnothing > 5$ mm, 0,6 m/s dla $\varnothing 0,01$ mm, rzadziej ulegają przemieszczeniu (Kačjugin 1975, za Finarov 1986). W odległości dalszej niż 38,5 m od podstawy klifu udział frakcji grubszej bardzo wyraźnie spada poniżej 2%, a w próbach pobieranych z głębokości większej niż 3 m od powierzchni wody często zaznacza się zupełny jej brak. Ponadto w rozkładzie omawianej frakcji kamienisto-żwirowej wyraźnie zaznaczają się dwie strefy jej większego udziału. W odległości około 13–15 m od ściany klifu, gdzie notowano wartości maksymalne, i ponownie w strefie oddalonej o 20–30 m z 10–30%, maksymalnie 50% udziałem. Współwystępują z nimi, a na niższych rzędnych bezpośrednio przylegają do nich, obszary podwyższonego udziału piasków grubo- i średnioziarnistych.

Powyzsza strefowość występuje również w pozostałych przekrojach poprzecznych, przy czym frakcję najgrubszą zamiast żwirów często stanowią piaski gruboziarniste. Zróżnicowanie to, należy wiązać z dynamiką falowania w strefie brzegowej oraz powiązanych z nią formami dna. W przypadku du-

zych zbiorników wodnych, o znacznych wahaniami stanów wody, o czym wspomniano wcześniej, tego typu zmienność osadów wiąże się z występującymi w tej strefie kilkunastocentymetrowej wysokości, najczęściej 0,1–0,5 m, mobilnymi piaszczystymi wałami podwodnymi. Pomiedzy wałami, w rozdzielających je obniżeniach, zaznacza się wyraźne grubienie osadu. Frakcje najgrubsze znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie wału od strony akwenu, u jego podstawy i wraz z oddalaniem się od niej materiał wyraźnie drobnieje. Na zbiornikach syberyjskich, do głębokości 3,5–4 m poniżej lustra wody, obserwuje się najczęściej od 1 do 4 ciągów tych form, z których najwyższej położona znajduje się w bliskim kontakcie z linią wody (Ovčinnikov, Karnauchova 1985; Habidov 1999a) (ryc. 15). W przypadku zbiornika pakoskiego, prawdopodobnie ze względu na zdecydowanie mniejsze jego rozmiary, jak i skalę zachodzących w obrębie strefy brzegowej procesów, formy te są dużo mniejsze, bądź nie zaznaczają się wcale. Poza wałem występującym w bezpośrednim sąsiedztwie linii wody, formy te są bardzo słabo wykształcone. Zaznaczają się okresowo i to najczęściej w postaci jednego, rzadziej dwóch lub trzech wałów o wysokości 5–10 cm. Najlepiej wykształcone są one wzdłuż brzegów łagodnie nachylonych, w okresie średnich i niskich stanów wody, gdy przekształcaniu podlega akumulacyjna część platformy przybrzeżnej. Wraz z opadającym poziomem wody, formy te często wynurzają się, urozmaicając powierzchnię osuszonej części platformy przybrzeżnej. W wykonanych przekrojach poprzecznych ich obecność zaznacza się nie tyle w postaci wałów, co niewielkich spłaszczeń. Prawdopodobnie jednak, najczęściej formy te są tak słabo wykształcone, że przy zastosowanej metodzie pomiarów, sondowań punktowych z dokładnością do 1 centymetra, nie zaznaczają się w morfologii platformy przybrzeżnej. Na ich obecność w wykonywanych przekrojach poprzecznych wskazuje wówczas nie tyle rzeźba platformy przybrzeżnej, co strefowa zmienność osadów powierzchniowych.

We wszystkich badanych przekrojach poprzecznych frakcją dominującą są piaski. Ich udział często przekracza 90% wszystkich osadów. O ile piaski gruboziarniste, najczęściej towarzyszące bądź współwystępujące z frakcją grubszą, kamienistą i żwirową, związane są z procesem wymywania, o tyle obszar podwyższonego udziału piasków średnio- i drobnoziarnistych, \varnothing 0,25–0,1 mm, odpowiada strefie akumulacji. Podobnie w analizowanym przekroju nr 1 frakcja piaszczysta jest frakcją dominującą. Piaski stanowią od 20 do blisko 100% osadów, a ich udział wzrasta wraz z oddalaniem się od brzegu. Piaski gruboziarniste, \varnothing 2–0,5 mm, stanowią 5–60% osadów. Występują przeważnie do 40 m przekroju poprzecznego. Podobnie jak w przypadku frakcji kamienisto-żwirowej, w ich rozmieszczeniu, w wykonanych seriach pomiarowych, wyraźnie zaznaczają się dwa pasy większego ich udziału. Pasy te, na nieco niż-



Ryc. 15. Rozkład osadów na platformie przybrzeżnej zbiornika Nowosybirskiego cechującego się znacznymi wahaniami stanów wody (wg. Habidov 1999a). 1 – kamienie i żwiry, 2 – piasek gruboziarnisty, 3 – piasek średnioziarnisty, 4 – piasek drobnoziarnisty, 5 – piasek różnoziarnisty, 6 – pył gruby, 7 – pył drobny; w liczniku frakcja dominująca, w mianowniku frakcja uzupełniająca.

Distribution of sediment on coastal platform Novosibirsk Reservoir, characterize big water level fluctuations. 1 – stones and gravels, 2 – coarse-grained sand, 3 – medium-grained sand, 4 – fine-grained sand, 5 – different-grained sand, 6 – coarse loam, 7 – fine loam, in numerator are dominated fraction and in denominator are fill up sediment fraction class.

szych rzędnych, przylegają bezpośrednio do stref o podwyższonym udziale kamieni i żwirów. W strefie wewnętrznej, w odległości 15–25 m od ściany klifu, osiagają 20–60%, natomiast w strefie niżej położonej, w odległości 30–40 m stanowią 5–15%, sporadycznie 40% całości osadów. W dalszej części przekroju frakcja grubopiaszczysta występuje w ilościach śladowych, 2–3%.

O ile występujące w obrębie platformy przybrzeżnej strefy podwyższonego udziału frakcji grubszych, kamieni i żwirów oraz towarzyszących im piasków gruboziarnistych odnoszą się do obszarów o charakterze abrazyjnym bądź tranzytowym, o tyle obszary występowania utworów drobniejszych, zarówno piasków oraz mułków i iłów, wskazują na obszar akumulacji osadów. Piaski średnioziarniste i drobnoziarniste, \varnothing 0,5–0,1 mm, są najłatwiej uruchamianą grupą osadów. Ich rozmyw zachodzi już przy prędkości wody 0,18–0,23 m/s (Kačiuigin, 1975 za Finarov, 1986). Przy bardzo dużym zróżnicowaniu przestrzennym, w prezentowanym przekroju poprzecznym stanowią one od zaledwie 15 do blisko 100% osadów, przy czym w części wewnętrznej dominują piaski średnioziarniste, a w zewnętrznej drobnoziarniste. Wartości minimalne występują w górnej, skrajnie wewnętrznej części platformy przybrzeżnej i odnoszą się do okresów dłuższego braku dostawy materiału z abradowanego klifu (serie z czerwca 2000 r. i kwietnia 2003 r.). W dalszej części przekroju, w pasie 30–40 m, wartości te wzrastają do 60–90%, po czym w strefie 45–55 m zaznacza się wyraźny, 20–40% jej spadek we wszystkich obserwowanych seriach. Obszar podwyższonego udziału tej frakcji to strefa jej depo-

zycji. Po uprzednim wymyciu i odtransportowaniu z górnej, wewnętrznej części platformy przybrzeżnej osady te są tu akumulowane. Przy bardzo niskich stanach wody w strefie tej tworzą się pojedyncze wały brzegowe o zaledwie kilkucentymetrowej wysokości i szerokości. Ze względu na znaczne głębokości towarzyszące linii brzegowej, pomimo stosunkowo długiego, blisko 30-letniego okresu funkcjonowania zbiornika i znacznej objętości dostarczanego z abradowanego brzegu materiału brak tu oraz w najbliższym jego sąsiedztwie większych form akumulacyjnych. Podobna sytuacja występuje również w pozostałych monitorowanych przekrojach poprzecznych.

Ponowny wzrost udziału piasków średnio-i drobnoziarnistych zaznacza się na rzędnej 74,5–74 m n.p.m., tj. poniżej dawnego poziomu jezior, w strefie położonej w odległości 55–65 m od podstawy klifu, z maksimum w jej części końcowej. Występują tutaj maksymalne notowane w przekroju wartości dochodzące do 90% (!), przy wyraźnej dominacji piasków drobnoziarnistych, których udział dochodzi do 70%. Występują one poza strefą podwyższonego udziału frakcji najdrobniejszych korelowanych z końcową częścią platformy przybrzeżnej. Strefa ta, nawet przy najniższych występujących na zbiorniku stanach wody znajduje się na głębokości przekraczającej 1,5 m, a przy stanach maksymalnych ponad 5 m. Podobne zgrubienie osadów w tej strefie obserwujemy również w pozostałych przekrojach poprzecznych. W przypadku innych opisywanych w literaturze stref brzegowych sztucznych zbiorników wodnych sytuacja taka nie jest notowana. Najprawdopodobniej jest to, pozostałość jeziornej strefy brzegowej. Analizowany fragment odpowiada końcowej, przykrawędziowej, a zatem akumulacyjnej części starej jeziornej platformy przybrzeżnej, gdzie podobnie jak w przypadku platform zbiornikowych akumulowany był piasek średnio- i drobnoziarnisty (Finarov 1986).

Interesującą sytuację obserwujemy w przekroju nr 2, zlokalizowanym w Dobieszewicach. Na rzędnych 74–72 m n.p.m., tj. minimum 1,5 m poniżej najniższego poziomu wody w zbiorniku, w pasie kilkumetrowej szerokości, położonym w odległości 32–38 m od początku przekroju, występuje maksymalne w przekroju nagromadzenie frakcji gruboziarnistej, $\varnothing > 2$ mm, dochodzące do 45%! Poniżej towarzyszą im piaski grubo- i średnioziarniste. Frakcją gruboziarnistą, zaburzającą rozkład osadu, stanowi martwica wapienna (trawertyn), która towarzyszy powszechnym w tym rejonie wypływom wód podziemnych. Mały ciężar właściwy martwicy wapiennej sprzyja jej transportowi na odległości większe niż skał krystalicznych o porównywalnych rozmiarach.

Obszar występowania osadów bardzo drobnych, $\varnothing < 0,1$ mm, wskazuje na strefę akumulacji i powolnej, bezfalowej sedymentacji. Odpowiada ona końcowej, zewnętrznej części platformy przybrzeżnej i jej skłonu. W przekroju nr 1, w pasie o szerokości 10 m, oddalonym o 43–53 m od ściany aktywnego klifu,

na rzędnych około 74 m n.p.m. (w obrębie starej platformy jeziornej) lokalnie zaznacza się wyraźny spadek udziału piasków średnio- i drobnoziarnistych. Bardzo dobrze koreluje on ze wzrostem udziału piasków bardzo drobnoziarnistych \varnothing 0,1–0,05 mm oraz mułków i iłów \varnothing <0,05 mm. O ile na przeważającej części platformy przybrzeżnej stanowią one zaledwie 0–10% w przypadku piasków i 1–2% w przypadku iłów i mułków, to we wspomnianym obszarze ich udział radykalnie wzrasta, odpowiednio do 40–50% i 5–8%. Strefę tą można uznać za skłon obecnie funkcjonującej platformy przybrzeżnej.

Morfologia strefy brzegowej, jak i miąższość, charakter i zmienność osadów wskazuje, iż platforma przybrzeżna w analizowanym przekroju poprzecznym nr 1 ma obecnie 43,5 m szerokości i nadal podlega intensywnemu przekształcaniu. Można ją podzielić na trzy części. Część zasadniczą, najwyżej położoną i najszerzą (34 m), stanowi spłaszczenie wykształcone w efekcie funkcjonowania zbiornika. Jej nachylenie zmniejsza się od 14° w części górnej do 5° w części dolnej. Część drugą stanowi 7-metrowej szerokości strefa pomiędzy wyżej opisanym poziomem a dawnym zasięgiem linii brzegowej jezior. Strefa ta obecnie nadbudowywana jest osadami. Sięga ona do 40–41 m przekroju poprzecznego. Jest to charakterystyczny, zaznaczający się prawie we wszystkich monitorowanych przekrojach poprzecznych element platformy przybrzeżnej. Bez kompleksowej znajomości morfologii całej strefy brzegowej może być on błędnie interpretowany jako skłon platformy przybrzeżnej. Ostatni, trzeci i zarazem najwęższy element platformy stanowi wąska strefa obejmująca górny fragment starej platformy przybrzeżnej jezior o nachyleniu 2°. Strefa ta ma niespełna 3–4 m szerokości i sięga do 45 metra przekroju poprzecznego. Jej zasięg nie wyróżnia się w rzeźbie strefy brzegowej, natomiast wyraźnie zaznacza się w występujących tu osadach i ich zmienności. Strefę tą należy uznać za krawędź platformy przybrzeżnej. Poniżej rozciąga się, również zaznaczający się jedynie w osadach powierzchniowych, skłon platformy przybrzeżnej, o szerokości 10 m. Kończy się on w środkowej części starej płycizny jeziornej, w odległości 55 m od początku przekroju, w poziomie 74,0 m n.p.m. Słabe morfologiczne wyrażenie skłonu platformy przybrzeżnej jest efektem jego znacznego rozciągnięcia, związanego z obecnością na tym poziomie prawie horyzontalnej, starej, zatopionej płycizny jeziornej.

Podobne relacje pomiędzy morfologią strefy brzegowej a rozmieszczeniem osadów występują również w pozostałych monitorowanych przekrojach poprzecznych. Poziom nachylony w kierunku akwenu, którego geneza związana jest z funkcjonującym zbiornikiem, rozciągający się od maksymalnego zasięgu linii wody do maksymalnej głębokości oddziaływania fal, wraz z ograniczającym go stopniem występującym na wysokości około 75–74,5 m n.p.m., nie może być jednoznacznie utożsamiany z platformą przybrzeżną i jej skłono-

nem. Dokonana analiza rozmieszczenia osadów wykazuje bowiem, iż platforma przybrzeżna, rozumiana jako strefa w której zachodzi abrazja, transport i ostatecznie akumulacja osadów, ma swoje przedłużenie w obrębie zachowanej starej platformy jeziornej, której część stała się obecnie strefą akumulacji osadów. Tym samym zaznaczający się w morfologii strefy brzegowej wspomniany stopień występujący pomiędzy dwoma wyróżnionymi poziomami nie może być utożsamiany z wyznaczającą zasięg platformy przybrzeżnej krawędzią i towarzyszącym jej skłonem. Rozkład osadów wskazuje, iż strefa ta stanowi integralną część obecnie funkcjonującej platformy przybrzeżnej stanowiąc najczęściej jej akumulacyjny fragment. Należy oczekiwać, iż wraz z rozwojem strefy brzegowej wspomniany stopień w efekcie sukcesywnej akumulacji osadów zostanie zupełnie zniwelowany, a platforma przybrzeżna w przekroju poprzecznym uzyska „standardowy” wyrównany profil zakończony dobrze wykształconym skłonem. Taką sytuację obserwujemy obecnie w przekroju nr 5 w Kołudzie Małej zlokalizowanym wzdłuż bardzo aktywnego, blisko kilometrowej długości abrazyjnego fragmentu brzegu z towarzyszącym mu klifem o wysokości blisko 5 m. Platforma przybrzeżna o wyrównanym profilu poprzecznym, która osiąga tutaj 45 m szerokości i nachylenie od 35°30' w części wewnętrznej do 3°42' w strefie przykrawędziowej, zakończona jest skłonem przechodzącym w zbocze misy jeziornej, którego nachylenie wynosi tu blisko 12°. W przekroju tym zanotowano maksymalne na zbiorniku pakoskim objętości wniesionego z brzegu materiału. W całym okresie funkcjonowania zbiornika jego kubatura wyniosła nie mniej niż 43,6 m³/mb, a w okresie prowadzonych w latach 1999–2003 badań 2,12 m³/l mb/l rok (ryc. 12; tab. 11).

Podsumowując, za najważniejsze cechy osadów występujących na powierzchni platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego należy uznać:

- duże zróżnicowanie granulometryczne osadów w blisko sąsiadujących ze sobą przekrojach poprzecznych. Wskazuje to na dominację poprzecznego kierunku przemieszczania osadów, który jest charakterystyczny dla początkowego etapu rozwoju strefy brzegowej akwenu;

- powszechnie zaznaczające się w górnej, wewnętrznej części platformy przybrzeżnej, dwie strefy zgrubienia materiału, znajdujące się w dynamicznym układzie przestrzennym. Są one rozmieszczone względem siebie w odległości 10–15 m. W ich obrębie średnia średnica ziaren jest wyraźnie większa niż w najbliższym sąsiedztwie. Strefy te są odpowiednikiem obniżeń międzywałowych obserwowanych na dużych zbiornikach wodnych cechujących się znacznymi wahaniami stanów wody;

– okresową zmienność osadów związaną z fazą cyklu pracy zbiornika oraz dostawą materiału z niszczonego klifu. W fazie piętrzenia zbiornika, w okresach poprzedzających dostawę świeżego materiału z aktywnego klifu, w górnej części platformy przybrzeżnej następuje wyraźne grubienie osadów będące wynikiem wymywania frakcji mobilnych;

– brak zgodności pomiędzy osadami a rzeźbą platformy przybrzeżnej, szczególnie nie pokrywanie się strefy akumulacji osadów drobnoziarnistych korelowanej ze skłonem platformy przybrzeżnej z zaznaczającym się w jej rzeźbie wyraźnym stopniem oraz ponowne zgrubienie osadów poniżej tej strefy, dostarcza kolejnych argumentów wskazujących na zachowanie się w jej obrębie elementów starej strefy brzegowej jezior.

5.4. ZMIENNOŚĆ MORFOLOGICZNO-LITOLOGICZNA PLATFORMY PRZYBRZEŻNEJ

Platforma przybrzeżna rozwija się w dwóch płaszczyznach, poziomej i pionowej. W płaszczyźnie poziomej rozwój platformy przybrzeżnej zachodzi zarówno w efekcie cofania się w kierunku lądu ściany klifu, jak i w kierunku otwartego akwenu, poprzez wynoszenie osadów, a następnie ich akumulację. Zdzieranie materiału, jego segregacja, transport i w ostateczności depozycja prowadzą także do zmian pionowych w obrębie platformy. Wraz z rozwojem płycizny jej szerokość wzrasta, a nachylenie zmniejsza się. Generalnie można wskazać, że jej górna, odlądowa część jest obniżana, natomiast część zewnętrzna, odzbiornikowa przeciwnie, nadbudowywana zarówno w poziomie jak i pionie.

W morfologii podwodnej części platformy przybrzeżnej (ryc. 11), na co zwrócono już uwagę, zaznaczają się dwa poziomy rozdzielone kilkumetrowej szerokości strefą o wyraźnie większym nachyleniu. Poziom górny, rozciągający się od 78,5–78 do 75–74,5 m n.p.m. to właściwa, „zbiornikowa” płycizna przybrzeżna powstała w wyniku utworzenia zbiornika, od momentu rozpoczęcia jego funkcjonowania. Natomiast poziom niższy, 74,5–73,5 m n.p.m., to pozostałość dawnej platformy jeziornej, obecnie stanowiący przedłużenie właściwej płycizny przybrzeżnej. Wyraźny stok rozdzielający te półki rozciąga się od linii dawnego zasięgu jezior, przed ich piętrzeniem do obecnej maksymalnej głębokości oddziaływania fal. Poziom wody, przed piętrzeniem, utrzymywał się na wysokości około 74,9 m n.p.m. Obecnie strefa ta jest nadbudowywana osadami. Obok skłonu i skrajnie wewnętrznej, najwyższej części platformy przybrzeżnej jest to najintensywniej przekształcany jej fragment. Na obecnym etapie rozwoju platformy przybrzeżnej stopień ten nie został jeszcze w pełni zamaskowany osadami. Zmiany pionowe w okresie prowadzo-

nych badań, lata 1999–2003, dochodziły tu do 10–15 cm w jednym cyklu pracy zbiornika, podczas gdy w środkowej, typowo abrazyjnej części platformy, wahania te oscylowały w granicach 2–3 cm, co przy stosowanej metodzie badań mieści się w granicach błędu pomiaru. Zmienność ta ma również odzwierciedlenie w budowie geologicznej platformy przybrzeżnej. Wiercenia wykonane w obrębie okresowo osuszanej części platformy przybrzeżnej wskazują, iż miąższość występujących tu osadów waha się od wielkości śladowych do 0,6 m, punktowo 1 m, w części akumulacyjnej. W profilu pionowym akumulowanych osadów serii piasków gruboziarnistych, na głębokości 10–20 cm występuje bardzo wyraźny poziom bruku składający się ze żwirów i głazów o średnicy dochodzącej do 10–15 cm (ryc. 13). W górnej, abrazyjnej części platformy poziom ten leży bezpośrednio na pierwotnym podłożu, natomiast w niższej, abrazyjno-akumulacyjnej części jest podścielony kilkunastocentymetrową serią piaszczystą. Występującą na powierzchni serię o wyraźnie podwyższonym udziale frakcji grubszej można utożsamiać z okresowo uruchamianą warstwą osadów, pozbawianych w ten sposób najdrobniejszych frakcji.

Interesujących danych dotyczących wielkości przekształceń w obrębie powstającej platformy przybrzeżnej, w jej wewnętrznej, okresowo osuszanej części dostarczyły pomiary położenia oraz wielkości odkrycia bądź przysypiania zachowanych na całej jej szerokości pni drzew. Są one pozostałością drzew rosnących w sąsiedztwie jezior przed ich piętrzeniem, a następnie wyciętych w okresie przygotowywania czaszy zbiornika do zalania. Wielkość ocenionych w ten sposób przekształceń dochodzi do kilkudziesięciu centymetrów. Najczęściej występująca wielkość odsłonięcia pni i korzeni, a co za tym idzie miąższość usuniętej warstwy osadów wynosi 0,4–0,8 m, maksymalnie 1,2 m (fot. 10). Wartości maksymalne, w granicach metra i powyżej, najczęściej notowane są punktowo, bądź na niewielkich, szczególnie predysponowanych fragmentach brzegu, m.in. w Bronisławiu (fot. 11), gdzie w zboczu rynny występują torfy; w bliskim sąsiedztwie nisz źródłiskowych, jak np. w Ostrowie, Trłagu i Gociwiu, czy na silnie rozmywanych półwyspach, co np. obserwujemy u wlotu do Zatoki Kołudzkiej.

Tylko w dwóch przypadkach, gdzie całkowitemu zatopieniu uległy nisko położone półwyspy, usunięcie dużej miąższości osadów objęło większe przestrzenie współczesnej platformy przybrzeżnej. Sytuację taką udokumentowano w Głogówcu, na zachodnim brzegu Jeziora Pakoskiego Południowego, gdzie zatopiony został półwysep, którego powierzchnia oszacowana na podstawie mapy w skali 1:5000, położona powyżej 74,9 m n.p.m., wynosiła 0,023 km², oraz na zdecydowanie mniejszym obszarze w Dobieszewicach. Zachowane na ich powierzchniach pnie drzew odkryte są na około 1,0 m.

Generalnie można przyjąć, iż po 28 letnim okresie eksploatacji zbiornika abrazyjna część jego platformy przybrzeżnej w odległości około 15–20 m od podnóża obecnego klifu obniżyła się o 0,4–0,8 m w stosunku do swojego pierwotnego położenia. Wielkość zasypania pni występujących na powierzchni platformy przybrzeżnej maksymalnie dochodzi do 0,4 m.

Poszerzanie platformy przybrzeżnej zachodzi dwukierunkowo, poprzez jej przyrastanie w kierunku akwenu oraz cofanie się klifu nadwodnego. W przypadku zbiornika pakoskiego, ze względu na krótki okres prowadzonych badań w relacji do intensywności zachodzących procesów, zagadnienie to ograniczono do określenia tempa cofania się klifu nadwodnego i zaprezentowano w kolejnym rozdziale rozprawy.

6. BRZEG ABRAZYJNY

Obecnie, po blisko 30 latach funkcjonowania, 80% nieumocnionych brzegów zbiornika pakoskiego jest nadal aktywna, tj. akumulacyjna bądź abrazyjna, ze zdecydowaną dominacją tych ostatnich. Brzegi o charakterze abrazyjnym stanowią blisko 25 km, tj. 60% długości linii brzegowej. Brzeg abrazyjny cechuje ujemny bilans osadów, utrzymujący się w dłuższych okresach czasu. Cofanie nadwodnej części brzegu, najczęściej ograniczonej aktywnym klifem zachodzi przy jednoczesnym obniżaniu się górnej, przyplażowej części platformy przybrzeżnej oraz zarówno pionowym, jak i poziomym nadbudowywaniu jej części zewnętrznej (Banach 1994). Rozwój tego typu brzegu jest wynikiem jego abrazji przy jednoczesnym zachodzeniu charakterystycznych dla powierzchni stokowych procesów, głównie ruchów masowych i splukiwania. Procesy te, podobnie jak w przypadku wybrzeży morskich, mają charakter cykliczny, związany z sezonową i wieloletnią zmiennością panujących w obrębie rozwijającej się strefy brzegowej warunków pogodowych i hydrologicznych, zarówno o charakterze naturalnym, jak i uwarunkowanych działalnością człowieka (Kostrzewski, Zwoliński 1983, 1998), która determinuje m.in. zmienność stanów wody na zbiorniku.

Przebieg abrazji, wg M. Banacha (1994), uwarunkowany jest kształtem i rozmiarem stoku, głębokościami w przybrzeżnej części akwenu, zarysem linii brzegowej, budową geologiczną i litologią stoków, charakterem występującej roślinności oraz ustrojem stanów wody. W przypadku zbiornika pakoskiego budowa geologiczna i litologia osadów występujących w obrębie całej przekształcanej jego strefy brzegowej, podobnie jak i pokrycie roślinnością, nie wykazują większego zróżnicowania przestrzennego.

6.1. MECHANIZM ROZWOJU BRZEGU ABRAZYJNEGO

Na podstawie, przeprowadzonych w latach 1999–2003 badań, w zależności od pierwotnego nachylenia zbocza i towarzyszących mu głębokości oraz obecnej wysokości klifu rozwój brzegu abrazyjnego ujęto w dwa podstawowe schematy.

Schemat 1.

Schemat pierwszy obejmuje rozwój abrazyjnego brzegu przypłyicznowego, pokrytego darnią, o nachyleniu nie przekraczającym $2-3^{\circ}$, z towarzyszącym mu aktywnym klifem o wysokości 0,3–0,6 m. Jest to dominujący typ brzegu abrazyjnego na zbiorniku pakoskim. Jego rozwój zachodzi w trzech, zasadniczych etapach (ryc. 16; A–C). W etapie pierwszym (ryc. 16A), następuje rozczłonkowanie jednolitej, wyrównanej ściany niewysokiego klifu. Woda wdzierając się pomiędzy mniej zwarte płyty darni stopniowo wymywa materiał z macierzystego brzegu tworząc wąskie, kilkudziesięciocentymetrowej szerokości przesmyki o długości dochodzącej do 1 m (fot. 12).

Początkowo rozcinają one tylko warstwę powierzchniową o głębokości 20–30 cm. Wraz z ich poszerzaniem rozmywanie obejmuje coraz głębsze warstwy tak, iż ostatecznie podlega mu seria o miąższości równej wysokości abradowanego klifu. Podstawową cechą morfometryczną tych rozcięć jest wyraźna przewaga ich długości nad szerokością i głębokością. Najczęściej występują one w odstępach 1–1,5 m. Ich długość jak i szerokość sukcesywnie powiększa się, „kosztem” rozmywanych przyległych do nich fragmentów brzegu. Niekiedy obserwuje się poprzeczne, bądź ukośne w stosunku do linii brzegowej łączenie się przyległych przesmyków, co prowadzi do odrywania dużych, zwartych bloków materiału. Ich efektem, podobnie jak i powolnego rozmywania materiału pomiędzy przesmykami jest wyraźny wzrost ich szerokości, która ostatecznie osiąga większe wartości niż długość. Prowadzi to do przekształcenia przesmyków w niewielkie zatoki. Fazę tę przyjęto za początek drugiego etapu rozwoju brzegu (ryc. 16B). W zależności od częstotliwości występowania formy te są rozdzielone niewielkimi, około metrowymi, rzadziej większymi fragmentami brzegu. Wraz z poszerzaniem zatok przyjmują one postać wąskich przyłądków połączonych z macierzystym brzegiem kilkucentymetrowymi przesmykami (fot. 13).

W kolejnym, trzecim i zarazem ostatnim już etapie rozwoju brzegu (ryc. 16C), formy te ulegają całkowitemu zniszczeniu. Pokryte darnią, szczątkowe przyłądki około 1–1,5 m szerokości i zbliżonej długości ulegają oderwaniu od macierzystego brzegu na całej wysokości klifu, co prowadzi do powstania niewielkich ostańców abrazyjnych. Formy te są zminiaturyzowanymi odpowiednikami wyróżnianych w strefach brzegowych mórz kieurów (Leontiew i in. 1982). Sporadycznie przyłądki mogą również ulegać powolnemu rozmywaniu. Rozmycie tych form prowadzi do wyrównania linii brzegowej i zamknięcia jego jednego cyklu rozwojowego. Równocześnie wzrasta intensywność abrazyj na bezpośrednio przyległym fragmencie brzegu, który zachował wypukły, rzadziej prostoliniowy kształt (fot. 14).



Fot. 11. Odkryte pnie w wyniku abrazji brzegu kształtującego się na powierzchni torfowej; miąższość wymytej warstwy osadów wynosi 1,2 m, Bronisław
Uncovered trees roots as result abrasion processes in peat, thickness of removed sediments are 1,2 metres, Bronisław



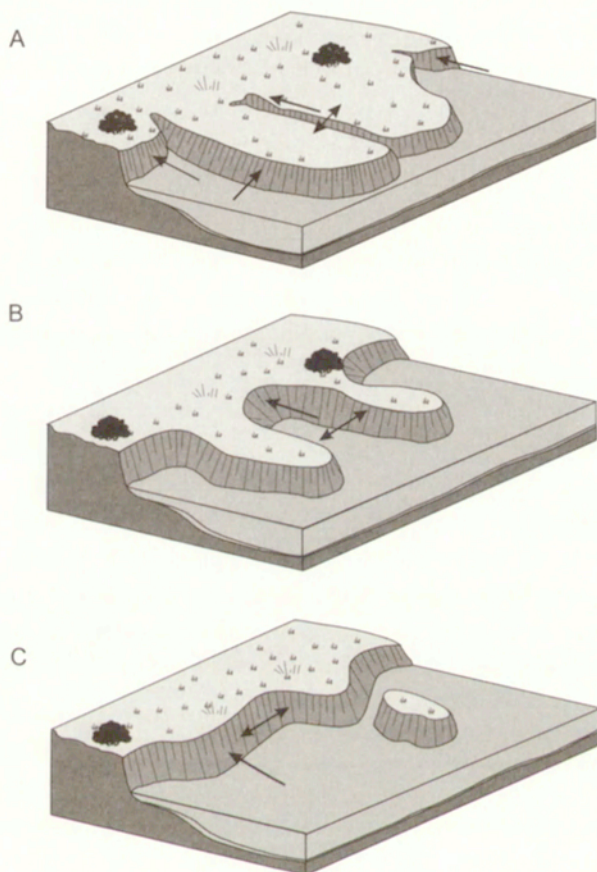
Fot. 12. Pierwszy etap rozwoju brzegu abrazyjnego, przyplączynowego, Skalmicowice
Development of low, abrasive near-shallow coast, first stage, Skalmicowice



Fot. 13. Niewielkie zatoki i rozdzielające je przylądki, Skalmierowice. Drugi etap rozwoju brzegu abrazyjnego, przyplyciznowego
Small bays and separated capes, Skalmierowice. Development of low, abrasive near-shallow coast, second stage



Fot. 14. Trzeci etap rozwoju brzegu abrazyjnego, przyplyciznowego, Skalmierowice
Development of low, abrasive near-shallow coast, third stage, Skalmierowice

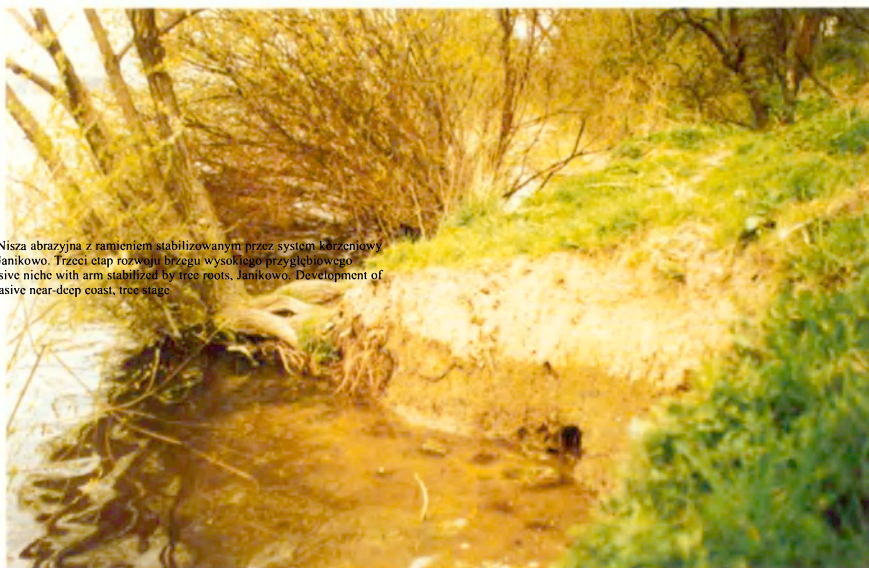


Ryc. 16. Rozwój brzegu abrazyjnego, przytłaczynowego, na zbiorniku pakoskim. Objasnienia w tekście
Development of low, abrasive near-shore coast on Pakość Reservoir. Interpretation in text

Schemat 2.

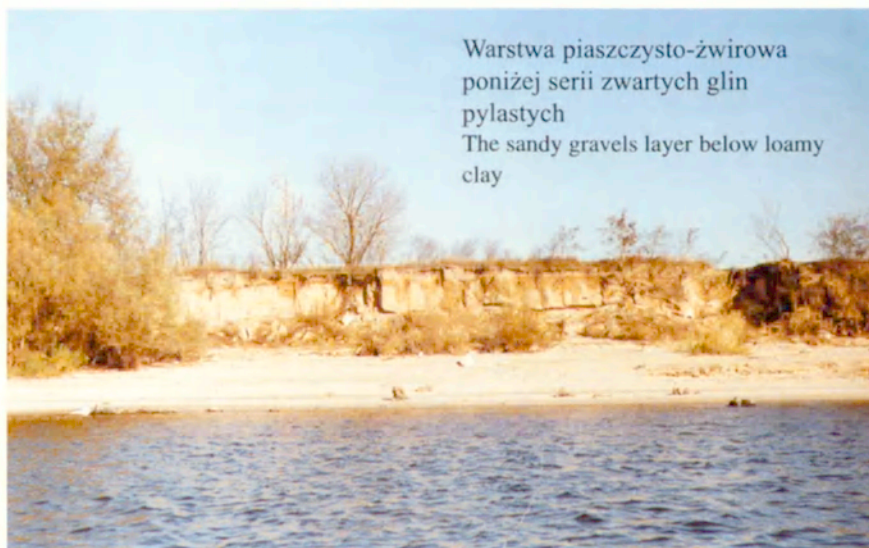
Schemat drugi ujmuje przekształcanie abrazyjnych, wysokich brzegów przygłębiowych, pokrytych darnią, o znacznym nachyleniu, przekraczającym 15° . Rozwój tego typu brzegu ujęto w pięć etapów (ryc. 17). W etapie pierwszym – wstępnym, u podstawy przekształcanego stoku, na linii wody tworzy się niewysoki, 20–30-centymetrowy stopień (mikroklif), którego zasięg najczęściej ograniczają występujące wzdłuż brzegu krzewy, rzadziej drzewa (ryc. 17A). Lokalnie przyjmuje on formę klasycznego podciosu brzegowego (Jaroszewski i in. 1985), którego strop stanowią sukcesywnie wymywane zwarte systemy korzeniowe krzewów bądź drzew. W kolejnym, drugim etapie rozwoju brzegu, proces abrazji, poza liniowym, przyjmuje również charakter punktowy (ryc. 17B). Wyraźnie intensywniejszemu rozmywaniu ulegają fragmenty brzegu pozbawione drzew i krzewów, tym samym pełnionej przez nie funkcji ochronnej. Często brak już jednego drzewa lub krzewu w kilkudziesięciometrowym ich zwartym szeregu jest wystarczający dla wyraźnego wzrostu intensywności procesu abrazji i wzmoczonego niszczenia brzegu w danym miejscu. Wymywanie materiału z czasem prowadzi tu do powstawania nisz abrazyjnych, a tym samym przejścia brzegu w kolejny, trzeci etap rozwoju (ryc. 17C). Abrazja ponownie zaczyna przyjmować cechy procesu o charakterze liniowym. Parametry nisz sukcesywnie powiększają się, choć ich rozwój jest wyraźnie hamowany korzeniami rosnących w obrębie przekształcanego zbocza drzew bądź rzadziej krzewów, które łatwo ulegają wymywaniu. Ponadto, wyznaczają one przebieg ramion nisz i jednocześnie je stabilizują. Obecnie na zbiorniku pakoskim dominują nisze o długości 10–30 m i szerokości 5–15 m, z klifem o wysokości 0,5–1,5 m (fot. 15).

Wraz ze wzrostem wysokości klifu, w jego rozwoju coraz większą rolę poza abrazją odgrywają ruchy masowe. Już w obrębie brzegów z klifem o wysokości 1–1,5 m, obserwuje się obrywanie i odpadanie materiału. Ten typ brzegu jest odpowiednikiem abrazyjno-obrywego i abrazyjno-osypiskowego typu brzegu (Ovčennikov i in. 2002; Horský, Spanila 1997). Materiał skalny gromadzi się u podstawy klifu tworząc różnego typu formy akumulacyjne. Sklasyfikowano je na podstawie ich cech morfologicznych, z wykorzystaniem bardzo szczegółowego podziału zaproponowanego przez A. Kostrzewskiego i Z. Zwolińskiego, dla form występujących w obrębie wybrzeża klifowego wyspy Wolin (Kostrzewski, Zwoliński 1984, 1985a, 1985b, 1988). W obrębie rozpatrywanego typu brzegu abrazyjnego na zbiorniku pakoskim wyróżniono pokrywy i stożki usypiskowe oraz wały i bryły obrywowe. Formy te, głównie w efekcie oddziaływania wód zbiornikowych, szybko ulegają degradacji. Ich kontakt z linią wody przyjmuje postać progu abrazyjnego, powszechnie obserwowanego w przypadku tego typu form występujących w strefach brze-

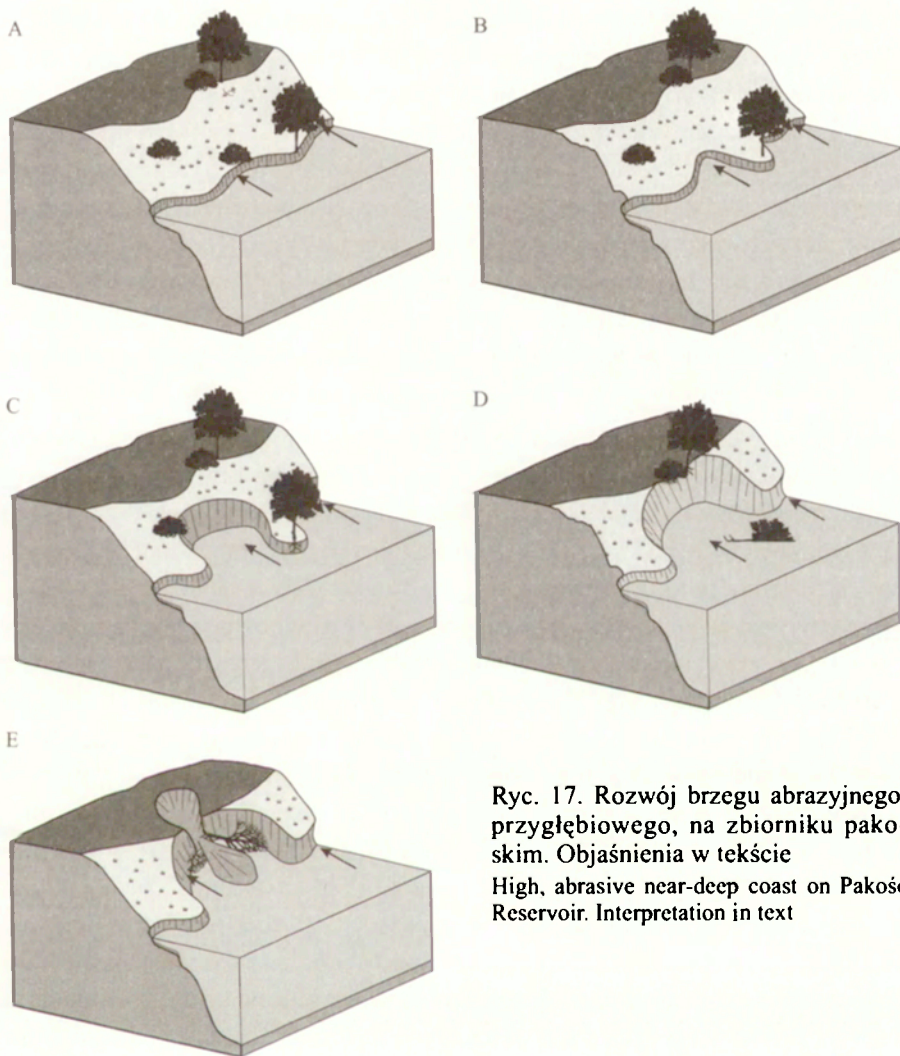


Fot. 15. Nisza abrazyjna z ramieniem stabilizowanym przez system korzeniowy drzewa, Janikowo. Trzeci etap rozwoju brzegu wysokiego przygłębiowego
The abrasive niche with arm stabilized by tree roots, Janikowo. Development of high, abrasive near-deep coast, tree stage

Fot. 16. Wysoki brzeg przygłębiowy, z klifem o wysokości 4,5 m, osiągający krawędź rynny (piąty etap rozwoju), Kolumbia Mała. Z prawej strony zdjęcia – nisza osuwiskowa i pozostałość jeziora osuwiskowego, po jednym cyklu pracy zbiornika
High, abrasive near-deep coast with cliff high 4.5 m, achieve edge of glacial channel, Kolumbia Mała. Five stage. On right side of photo is earth slide niche with remains tongue of this after one fool cycle of reservoir work



Warstwa piaszczysto-żwirowa
poniżej serii zwartych glin
pylastych
The sandy gravels layer below loamy
clay



Ryc. 17. Rozwój brzegu abrazyjnego, przygłębionego, na zbiorniku pako-skim. Objasnienia w tekście
 High, abrasive near-deep coast on Pakość Reservoir. Interpretation in text

wych mórz (Subotowicz, Janta 1998). Wraz ze wzrastającym poziomem wody w zbiorniku i postępującą abrazją, próg ten przy jednoczesnym wzrastaniu wysokości, sukcesywnie przemieszcza się w kierunku klifu.

Postępująca abrazja brzegu prowadzi nie tylko do powiększania istniejących już nisz, ale i większej częstotliwości ich występowania. Często formy te występują grupowo, rozdzielone zaledwie kilkunastometrowymi fragmentami brzegu, które wraz z powiększaniem się nisz ulegają stopniowej redukcji. Ostatecznie fragmenty te zostają całkowicie rozmyte wraz z porastającymi je krzewami i drzewami. Prowadzi to do połączenia sąsiadujących ze sobą nisz i przejścia brzegu do kolejnego, czwartego już stadium rozwoju (ryc. 17D). Podobnie jak w poprzednim, tak i w tym oraz następnym etapie rozwoju brzegu, w obrębie aktywnego klifu występują liczne obrywy skalne, które stają się istotnym, dodatkowym źródłem dostawy materiału mineralnego w obręb platformy przybrzeżnej. W przekroju podłużnym linia brzegowa ponownie stopniowo wyrównuje się. Jednocześnie wysokość klifu wzrasta do maksymalnie możliwych rozmiarów. Korona klifu osiąga górną krawędź przekształcanego zbocza, która jest zarazem krawędzią rynny subglacialnej (fot. 16).

„Wyjście” klifu poza krawędź rynny rozpoczyna piąty, ostatni z wyróżnionych etap rozwoju brzegu (ryc. 17E). Poza krawędzią rynny rozciąga się wysoczyzna morenowa płaska, o nachyleniu nie przekraczającym $1-2^{\circ}$. Jest to obszar intensywnie wykorzystywany rolniczo. Grunty orne niemal bezpośrednio „przylegają” do korony klifu, który w efekcie jego cofania się, jak i wskutek uprawy gruntów, został znacznie lub całkowicie pozbawiony ochraniających go drzew i zarośli. Intensywne zabiegi agrotechniczne – szczególnie głęboka orka, prowadzona w odległości zaledwie 0,5–1 m (!) od aktywnego klifu, sprzyja rozwojowi w jego obrębie ruchów masowych. Poza zachodzącym w obrębie niższych klifów obrywaniem i odpadaniem materiału, w obrębie najwyższego klifu zachodzi również jego osuwanie oraz sporadycznie spływanie. Ich efektem są formujące się u podstawy klifu stożki osuwiskowe i osuwiskowo-napływowe. Ponadto, rozwojowi osuwisk dodatkowo sprzyjają niewielkie niecki denudacyjne występujące w strefie przykrawędziowej. W nieckach okresowo koncentrują się wody powierzchniowe, spływające w kierunku krawędzi rynny, będącą jednocześnie koroną klifu. Rozcinając ją stają się pośrednią przyczyną powstających na ich linii osuwisk. Szczególnie intensywny rozwój tych procesów obserwowano w obrębie badanej strefy brzegowej w lutym 2003 r., w obrębie wysokiego, przygłębionego, abrazyjnego brzegu w Kołudzie Małej, gdzie 5-metrowej wysokości klifosiągnął już górną krawędź zbocza. Występują tam gliny pylaste zwięzłe, które na głębokości 3 m przewarstwione są serią piasków drobno- i średnioziarnistych o miąższości 1 m. Wzdłuż pozbawionej naturalnej ochrony krawędzi, na linii osi niecki



Fot. 17. Nisza osuwiskowa, Kołuda Mała
The slide niche, Kołuda Mała



Fot. 18. Jezor osuwiskowy wkraczający do zbiornika, Kołuda Mała
The slide entered in reservoir, Kołuda Mała



Fot. 19. Obryw górnej części klifu, Kołuda Mała

The falls in upper part of cliff, Kołuda Mała



Fot. 20. Obryw w dolnej części klifu, Kołuda Mała

The falls in lower part of cliff, Kołuda Mała



Fot. 21. Złuszczenie materiału w wyniku procesów mrozowych, niski brzeg abrazyjny, Skalmierowice

Peeling of material as a result freeze processes, low abrasive coast, Skalmierowice

denudacyjnej powstało tam, obejmujące całą wysokość zbocza osuwisko o szerokości 7 m i głębokości w stosunku do pierwotnej krawędzi, 6 m. U jego wylotu, na powierzchni platformy utworzył się częściowo zatopiony stożek osuwiskowy długości 21 m i maksymalnej szerokości 15 m (fot. 17, 18).

W obrębie tego fragmentu brzegu obserwowano również liczne obrywy skalne obejmujące tylko fragment zbocza o szerokości kilku metrów. Obrywy te występują zarówno w górnej części, jak i u podstawy aktywnego klifu (fot. 19, 20).

Obserwowano powstałe w ten sposób, nisze o wysokości 1–3,5 m i szerokości 1–3 m. Materiał zdeponowany w wyniku powyższych procesów u podnóża klifu przy wysokim stanie wody jest wynoszony, w wyniku działania falowania oraz prądów przybrzeżnych, i przenoszony w kierunku stoku platformy przybrzeżnej.

W rozwoju brzegu wysokiego, przygłębiowego, na zbiorniku pakoskim trudno mówić o zamknięciu jednego cyklu rozwojowego i rozpoczęciu kolejnego, jak ma to miejsce w przypadku brzegu przypłyiczynowego. Klif po osiągnięciu górnej krawędzi rynny, którego pośrednim efektem jest całkowite usunięcie ochraniających niszczonej stoku drzew i krzewów zarówno w jego dolnej partii, jak i powyżej górnej krawędzi, najprawdopodobniej będzie się rozwijał w „klasyczny”, znany z literatury sposób (Finarow 1986; Banach 1994). Cofanie się brzegu będzie następowało głównie w wyniku obrywów i osuwisk powstających w efekcie abrazyjnego podcięcia podstawy klifu, jak i procesów geodynamicznych w obrębie klifu, a następnie abrazyjnego rozmycia koluwiów, przy jednoczesnym zachowaniu wyrównanej linii brzegowej. W jego kolejnych cyklach rozwojowych zabraknie obecnie dominujących na zbiorniku pakoskim etapów początkowych, związanych z powstawaniem nisz, ich rozwojem i łączeniem się.

Przebieg pełnego, opisanego cyklu rozwojowego przygłębiowego brzegu abrazyjnego, można obecnie prześledzić wzdłuż wschodniego brzegu zbiornika pakoskiego, na odcinku od Janikowa do Zatoki Kołudzkiej. Towarzyszące linii brzegowej głębokości, zarazem największe na zbiorniku, wzrastają z północy na południe, podobnie jak i częstość występowania oraz stopień rozwinięcia nisz abrazyjnych. Podobnie wzrasta również stopień zaawansowania przekształcenia brzegu. W części północnej brzeg znajduje się w pierwszych trzech etapach rozwoju. Początkowo niewielkie, izolowane nisze ku południowi coraz częściej łączą się, co doprowadziło do powstania w Kołudzie Wielkiej około 1,0 km długości jednolitego, aktywnego klifu o wysokości 3–5 m. Podlega on obecnie przekształceniom nie tylko w wyniku abrazyj, ale również procesów stokowych. Znajduje się on w czwartym etapie rozwoju. W etapie piątym, ostatnim z wyróżnionych, gdzie rozmycia uległ już cały stok rynny,

a aktywny klif wykroczył poza jej krawędź, obecnie znajduje się zaledwie kilkusetmetrowy odcinek brzegu. Występuje on wzdłuż niewielkiego, łukowatego wygięcia linii brzegowej, któremu towarzyszą największe głębokości występujące na zbiorniku. Na podstawie zaobserwowanych zależności można zatem wysunąć wniosek, że procesowi abrazji sukcesywnie podlegają fragmenty brzegu o coraz słabszej predyspozycji, a cały cykl rozwoju wysokiego brzegu przygłębiowego jest procesem długotrwałym, trwającym kilkanaście jeśli nie kilkadziesiąt lat !

6.2. TEMPO ZACHODZĄCYCH PROCESÓW

Znaczne wahania stanów wody w cyklu rocznym sprawiają, iż na zbiorniku pakoskim przekształcanie klifu jest nie tylko wynikiem abrazji, ale również towarzyszących jej procesów stokowych, szczególnie w obrębie klifów wyższych, o wysokości przekraczającej 2–3 m.

Aktywna krawędź klifu wyznaczająca zasięg linii brzegowej w monitorowanych przekrojach po 28 letnim okresie funkcjonowania zbiornika cofnęła się minimum od 12 do 35 m (tab. 12). Wartość ta odpowiada odległości, w jakiej obecnie znajdują się odsłonięte, nienaruszone, pozostające w pierwotnej pozycji, maksymalnie oddalone od linii brzegowej pnie drzew. Najniższe wartości liniowe występują wzdłuż przygłębiowego brzegu w Kołudzie Małej (ryc. 12; tab. 12; przekrój 5) z towarzyszącym blisko 5-metrowej wysokości klifem. Średnie tempo jego cofania w rozpatrywanym okresie wyniosło 0,43 m/rok. Najwyższe wartości zanotowano natomiast wzdłuż brzegu przyplyciznowego z niewielkim, zaledwie 0,4 metrowej wysokości klifem (ryc. 12; tab. 12; przekrój 6), który cofnął się o 35 m. Średnie tempo jego cofania się wyniosło tu aż 1,25 m/rok! Oczywiście, nie należy zapominać, że ze względu na brak jakichkolwiek pośrednich pomiarów przekształceń strefy brzegowej są to średnie wartości z całego okresu funkcjonowania zbiornika. Nie upoważniają one do wypowiedzania się na temat okresowych tendencji czy zmian w natężeniu tego procesu, jakie były obserwowane w rozwoju stref brzegowych innych zbiorników, których strefy brzegowe są obiektem kilkudziesięcioletnich, systematycznych badań (Banach 1988, 1994, 2004; Spanila 1998; Ovcinnikov 2003).

Obecne tempo cofania się klifu również wykazuje wyraźne zróżnicowanie. W okresie prowadzonych badań, lata 1999–2003, w poszczególnych sezonach i przekrojach wynosiło do 1,1 m, a średnio, w całym okresie badawczym od 0,05 do 0,46 m/rok (tab. 12). Przy ocenie tempa cofania się brzegów nie należy jednak zapominać, iż jest to proces zachodzący w pierwszej fazie punktowo, czego przejawem są powszechnie występujące i rozwijające się nisze

Tabela 12. Tempo cofania się aktywnego klifu na zbiorniku pakoskim w wybranych przekrojach poprzecznych

Numer przekroju	Obecna wysokość aktywnego klifu [m]	Tempo abrazji	
		1975–2003*	w okresie badań
1. Ostrowo	1,42–1,6	przemieszczenie – całkowite: 25 m – średnie: 0,89 m/r	1999 – 0 m 2000 – 0 m 2001 – 0 m 2001/2002 – 0,4 m zima 2001/2003 – 0,3 m 0,7 m/4 lata, średnio 0,18 m/r
2. Dobieszewice	1,3	–	1,1 m – górna części klifu 0,9 m – dolna część klifu
Dobieszewice *	0,84	przemieszczenie – całkowite: 22,1 m – średnie: 0,79 m/r	10.2001–3.2003 – 0,05 m/r
3. Cukrownia	–	–	–
5. Kołuda Mała	4,61	przemieszczenie – całkowite: 12m – średnie: 0,43 m/r	1990 – 0 m 2000 – 0 m 2001 – 0 m 8.2001–4.2002 – 1,1 m 4.2003.–6.2003 – 0,6 m 8.2003–9.2003 – 0,15 m 1,85 m/ 4 lata, średnio 0,46 m/r
6. Skalmierowice	0,39	przemieszczenie – całkowite: 35 m – średnie: 1,25 m/r	1999/2000 – 0,05 m 2000/2001 – 0,15 m 0,2 m/4 lata, średnio 0,05 m/r
7. Gociwie	0,44	przemieszczenie – całkowite: 32,8 m – średnie: 1,17 m/r	–

Wielkość całkowitego cofnięcia się klifu została wyznaczona jako odległość pomiędzy okresowo osuszonymi pniami drzew otaczającymi jeziora przed ich piętrzeniem a obecnym aktywnym klifem.

* (przekrój pomocniczy, położony 200 m na północ od przekroju nr 2)

abrazyjne. Dopiero w dalszym etapie, po ich połączeniu abrazja przyjmuje charakter liniowy. Wykonana, zaledwie czteroletnia seria pomiarowa wskazuje na epizodyczny, skokowy charakter jego przebiegu. Długie, czasami nawet kilkuletnie okresy stagnacji aktywnej ściany klifu, kiedy to wynoszony jest materiał zgromadzony u jej podstawy, przeplatają się z epizodami bardzo efektywnymi, podczas których dochodzi do odrywania znacznych fragmentów ściany. Największe przekształcenia w obrębie klifu zachodzą w okresie wczesnowiosennym, kiedy to zaznacza się intensywny rozwój ruchów masowych. Ponadto, należy pamiętać o niewielkiej długości wykonanej serii pomiarowej, szczególnie w świetle małego tempa przekształceń zachodzących w obrębie tej strefy brzegowej. Dlatego też pełne rozwiązanie powyższego problemu badawczego wymaga kontynuacji badań w tym zakresie, a uzyskane wartości należy traktować z dużą ostrożnością.

6.3. WPŁYW PROCESÓW MROZOWYCH I ZJAWISK LODOWYCH

W rozwoju brzegu abrazyjnego znaczącą rolę odgrywają również procesy mrozowe, które w badaniach stref brzegowych często są zupełnie niedoceniane. Ich przejawy były przedmiotem badań prowadzonych w obrębie strefy brzegowej zbiornika pakoskiego w okresie wczesnowiosennym 2003 r. Najważniejszymi efektami ich działania, mającymi bezpośredni skutek morfologiczny jest złuszczenie materiału z powierzchni ściany klifu oraz powstawanie licznych szczelin mrozowych. Materiał o charakterystycznej, łuskowej strukturze gromadzony jest u jego podstawy w formie bardzo wyraźnych wałów, o kilkudziesięciocentymetrowej szerokości i wysokości (fot. 21).

Wykonane w terenie pomiary ich objętości wskazują, iż bezpośrednio w wyniku tego procesu ściany klifu tylko w ciągu jednego sezonu zimowo-wiosennego cofnęły się o 0,7–2,0 cm. Drugim wyraźnym morfologicznym przejawem działalności wietrzenia mrozowego są szczeliny mrozowe, przebiegające równoległe do krawędzi zbocza. Obserwowano bardzo wyraźne zespoły pęknięć, o szerokości 3–4 cm, położone maksymalnie w odległości 0,5 m od krawędzi klifu. Zainicjowana w ten sposób dezintegracja blokowa, w obrębie tej warstwy materiału, przyczynia się do jego odpadania oraz wzrostu efektywności pozostałych procesów stokowych i abrazji brzegu (fot. 22).

W strefie brzegowej zbiornika pakoskiego, mimo corocznego występowania zwartej pokrywy lodowej (tab. 6; ryc. 6), nie zaobserwowano natomiast, powszechnych na innych zbiornikach jak i jeziorach, form związanych z termicznym naporem lodu na brzeg. Zjawiska takie, powszechnie występujące na akwenach położonych w wyższych szerokościach geograficznych (Hellsten 1998; Tavast, Raukas 2002) spotykane są również na akwenach występujących w naszych warunkach klimatycznych. Występują one zarówno na akwenach bardzo dużych jak zbiornik wrocławski, gdzie P. Gierszewski (1988) opisał wały ziemne, o wysokości dochodzącej do 1,5 m, powstałe w efekcie naporu lodu na brzeg zbudowany z materiału piaszczystego, jak i zbiornikach małych, jak choćby lodowe wały egzaracyjne, obserwowane na brzegach antropogenicznych zbiorników Wyżyny Śląskiej (Jaguś 2000). Efektem abrazji lodowej są tam formy wałów brzeżnych i przemieszczone płyty piaszczyste (Rzętała 2003). W strefie brzegowej zbiornika pakoskiego sporadycznie, na kontakcie z lądem spotyka się zaledwie kilkucentymetrowe spiętrzenia lodu, które nie mają większego wpływu na morfologię i osady w strefie brzegowej. Jest to zapewne wynik specyfiki gospodarki wodnej prowadzonej na tym akwencie. Wzrastająca objętość i powierzchnia lodu jest w znacznym stopniu neutralizowana przez podnoszący się w tym okresie o 1–3 cm na dobę poziom wody w zbiorniku pakoskim, w związku z przypadającym na okres zimowy



Fot. 22. Wysoki czynny klif po okresie zimowym pozostający jeszcze poza zasięgiem wody
High active cliff after winter



Fot. 23. Powstający wał wzdłużbrzegowy, Rzadkwin
Growing up along shore ridge (bank bar), Rzadkwin

<http://rcin.org.pl>



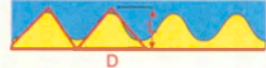




jego napełnianiem. Stałe podnoszenie poziomu wody w tym zbiorniku uniemożliwia również przymarzanie osadów występujących na powierzchni platformy przybrzeżnej do spągu pokrywy lodowej. Zjawisko takie powszechnie występuje na akwenach zarówno naturalnych jak i sztucznych, w których w okresie zimowym dochodzi do obniżenia poziomu wody. Efektywność tego procesu zależy głównie od temperatury powietrza, składu mineralnego i granulometrii osadów na powierzchni platformy przybrzeżnej oraz wielkości wahań stanów wody. Na regulowanych jeziorach Finlandii, gdzie w okresie zimowym poziom wody jest obniżany o 2–4 m, podczas gdy na jeziorach naturalnych wartość ta nie przekracza 1,5 m, serie osadów przymarzniętych do spągu pokrywy lodowej osiągają średnio miąższość 20–30 cm. Zarówno miąższość tej serii, jak i szerokość objętej przymarzaniem strefy, jest tu 3, 4-krotnie większa niż na jeziorach naturalnych (Hellsten 1998).

7. FORMY AKUMULACYJNE

Przejawem rozwoju strefy brzegowej zbiornika są nie tylko formy związane z abrazyjnym jej przekształcaniem, ale również stowarzyszone z nimi formy akumulacyjne, bowiem jak pisze M. Banach (1994, s. 84) „*tworzenie się akumulacyjnych form jest ściśle związane z abrazją, która dostarcza materiał do podstawy stoku (klifu)*”. Proces gromadzenia osadów jest efektem spadku energii transportujących je prądów. Nadbudowują one kształtującą się platformę przybrzeżną. Początkowo proces depozycji przebiega głównie w poziomie, poszerzając w kierunku akwenu istniejącą płyciznę, a później również w pionie, co prowadzi do powstania form akumulacyjnych.

Strefa brzegowa akwenów cechujących się niewielkimi wahaniami stanów wody po początkowym okresie intensywnego rozwoju szybko stabilizuje się, osiągając stan względnej dojrzałości, odnoszącej się do konkretnych warunków, w jakich zbiornik ten funkcjonuje (Banach 1992; Finarov 1986; Spanila, Simeonova 1993). W efekcie poprzecznego, a następnie również wzdłużbrzegowego transportu osadów, w jej obrębie sukcesywnie pojawiają się formy akumulacyjne, od bardzo prostych, niezamkniętych, towarzyszących linii brzegowej, do bardziej rozbudowanych, oddzielających poszczególne zatoki od zasadniczego akwenu. Prowadzi to do wyrównywania linii brzegowej (Lopuch 2002; Širokov, Lopuch, Levkevič 1992). W przypadku zbiorników cechujących się znacznymi wahaniami stanów wody, jakiego przykładem jest zbiornik pakoski, zagadnienie to jest bardziej złożone, a przedstawiony powyżej model rozwoju nie ma zastosowania (Ovčinnikov 1996; Ovčinnikov i in. 2002).

Formy akumulacyjne występujące w obrębie strefy brzegowej zbiornika pakoskiego były przedmiotem badań terenowych prowadzonych w latach 1999–2003, przy szczególnym ich nasileniu w okresach jesiennych. Prowadzono je na nieumocnionych brzegach zbiornika, których długość wynosi ponad 47 km. Badania objęły morfometrię i dynamikę zaobserwowanych form na całej osuszanej części platformy przybrzeżnej. Analizowano „żywność” form, rozumianą jako długość czasu ich występowania, umiejscowienie na platformie przybrzeżnej w zależności od jej nachylenia, stanów wody w zbiorniku, jak i w stosunku do linii brzegowej oraz wzajemne relacje pomiędzy nimi. Ponadto określono charakter i miąższość osadów budujących poszczególne formy. Zakres prowadzonych badań był uzależniony od najniższych stanów wody wy-

Grupa form	Parametr	Cechy charakterystyczne
<p>1. Formy przystające - na całej swojej długości przylegają do macierzystego brzegu</p> <p>1) plaża - wał brzegowy / wał plażowy - terasa</p>  <p>- festony (sierpy plażowe)*</p> 	<p>pojedynczy wał brzegowy D - 0,5-1,5 m L - 5-1000 m H - 0,15-0,4 m</p> <p>plaża D - 1-20 m</p> <p>festony D - 3- 5 m L - 0,5 - 2 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> - plażę najczęściej tworzy kilka równoległych wałów plażowych często rozdzielonych niewielkimi, okresowymi lagunami - wały plażowe to najczęściej wynurzone, w związku z obniżeniem poziomu wody w zbiorniku, wały brzegowe; w ich profilu poprzecznym bardzo często brak wykształconego słopnia plażowego - zarówno wały plażowe jak i cypłe akumulacyjne, mimo iż są formami nie utrwalonymi, bez pokrywy roślinnej, rozmywanymi przy wzrastających stanach wody odtwarzają się w kolejnych okresach ich obniżania
<p>2) cypel jedno- i dwustronnego zasilania, swobodny i wymuszony</p> 	<p>D - 1,5 - 3 m L - 1,5 - 3 m H - 0,2 - 0,8 m, średnio 0,4 m</p>	
<p>3) wypełnienie wgłębienia brzegowej</p> 	<p>D - 150 m L - 20 m H - 0,15 - 0,3 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> - zespół wałów brzegowych i niewielkich kos wypełniających wgłębienie linii brzegowej na rzędnej odpowiadającej najczęściej występującym stanom wody, od 76,84 - 76,33 m n. p. m - rozdzielają one abrazyjny fragment brzegu
<p>4) odsyp</p> 	<p>D - 10 - 60 m L - 10 - 40 m H - 0,2 - 1,4 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> - zlokalizowany na wgłębieniu linii brzegowej zespół okalających wałów i kos jedno- bądź dwustronnego zasilania, nadbudowujący wyniosłość podłoża - rozdziela abrazyjny odcinek brzegu - powierzchnia formy jest płaska, o nachyleniu poniżej 1° - forma jako całość odwarza się w kolejnych okresach opadania poziomu wody choć sposób jej wykształcenia i morfologia powierzchni zmienia się - na powierzchni tego typu form brak pokrywy roślinnej
<p>2. Formy swobodne - połączone z brzegiem jednym końcem</p> <p>1) kosa</p> 	<p>D - 1 - 60 m L - 5 - 250 m H - 0,2 - 1,4 m (średnio 0,5-0,8m)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - szeroka grupa form od prostych do bardzo złożonych, zarówno o charakterze sezonowym jak i stałym - występują wzdłuż brzegów przyplycinowych na różnych rzędnych zarówno wzdłuż odcinków prostoliniowych, wklęsłych jak i wypukłych - formy stale są większe, zlokalizowane na wypukłościach linii brzegowej na przedłużeniu abrazyjnych odcinków brzegu, przekształcaniem podlegają tylko końcowe ich fragmenty (ramiona) natomiast pozostała część jest zwykle utrwalona roślinnością
<p>3. Formy zamykające - połączone z brzegiem dwoma końcami</p> <p>1) mierzeja</p> 	<p>D - 30 m L - 150 m H - 0,3 - 0,9 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> - na zbiorniku pakoskim występuje tylko jedna tego typu forma - jest to forma stała, częściowo utrwalona krzewami - oddziela ona zatokę od zasadniczej części akwenu - w okresie prowadzonych badań, poza kilkumetrowym odcinkiem końcowym jej zarys nie podlegał przekształcaniu

Ryc. 18. Formy akumulacyjne występujące na zbiorniku pakoskim
Accumulative forms occurrences in coastal zone of Pakość Reservoir

stępujących na zbiorniku w danym cyklu jego pracy. Niskie poziomy wody poprzez dużą szerokość odsłanianej części platformy przybrzeżnej, zwiększały możliwości obserwacji form. W okresie prowadzonych badań poziom wody był bardzo zróżnicowany, od najwyższego w 2001 r., kiedy to najniższy poziom wody na zbiorniku wynosił 77,43–75,57 m n.p.m., w roku 2003 (ryc. 3; tab. 5), a więc zaledwie kilka centymetrów powyżej dopuszczalnego na zbiorniku minimum.

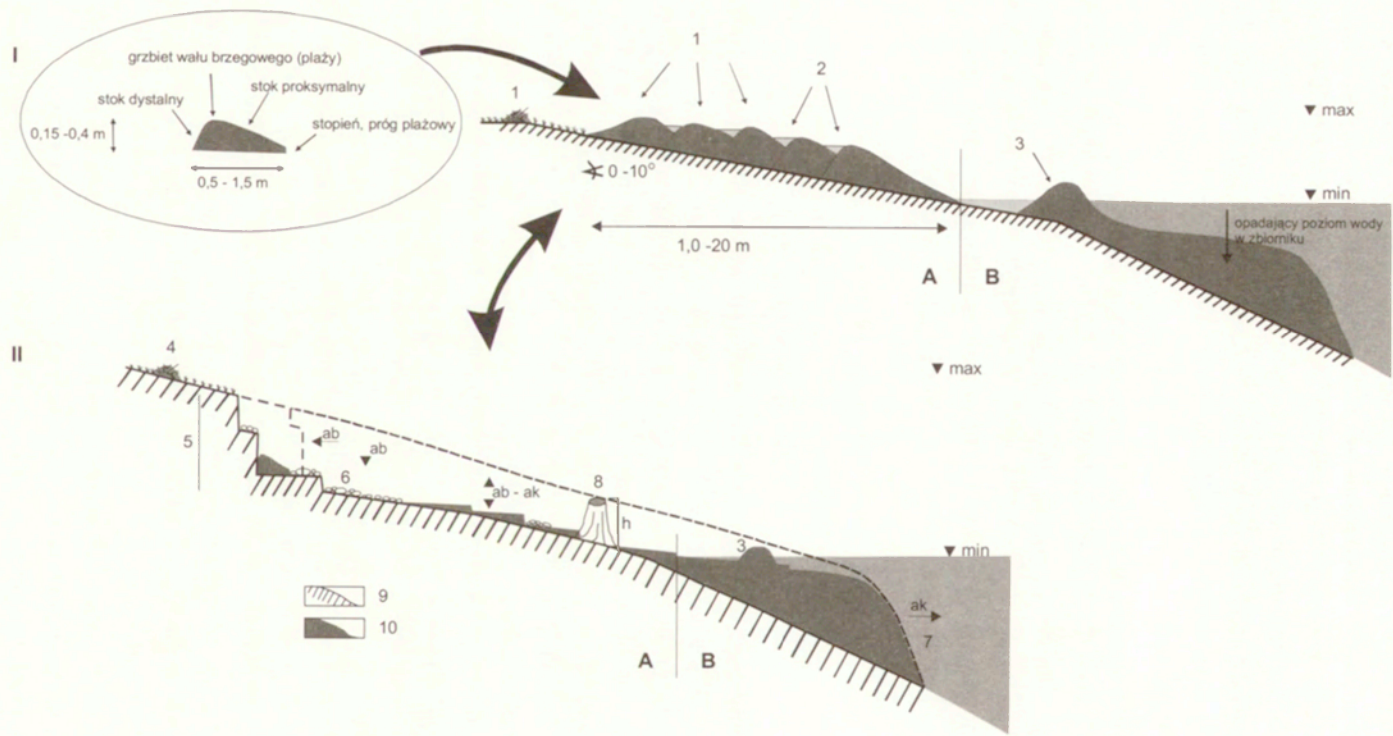
Opierając się na cechach morfogenetycznych, przy wykorzystaniu istniejących klasyfikacji zaproponowanych dla form występujących w strefach brzegowych mórz (Zenkovic 1962) czy sztucznych zbiorników wodnych o niewielkich wahaniach stanów wody (Širokov, Lopuch, Levkevic 1992), formy akumulacyjne obserwowane na zbiorniku pakoskim można podzielić na trzy grupy: przystające, swobodne i zamykające (ryc. 18).

7.1. FORMY PRYZYTAJĄCE

Plaża / wał brzegowy

Najczęściej występującą formą akumulacyjną na zbiorniku pakoskim jest plaża. W klasycznym ujęciu formę tę rozumiemy jako wał piaszczysty tworzący się powyżej zasięgu wód stojących. Posiada on wyraźny grzbiet wyznaczający zasięg oddziaływania strefy zmywu, oraz stoki: 1) wewnętrzny, odładowy (dystalny), który zalewany jest tylko okresowo podczas sztormów, będący zarazem częścią plaży wewnętrznej oraz 2) zwrócony w kierunku akwenu stok zewnętrzny, proksymalny (czoło plaży, Gradziński i in. 1986), zakończony wyraźnym progiem plażowym (Kurowski 2002a, 2002b), czyli plaża zewnętrzna. Tak wykształconą plażę spotykamy na brzegach akwenów morskich i dużych akwenów śródlądowych o niewielkich wahaniach stanów wody. W przypadku zbiornika pakoskiego gdzie mamy do czynienia z dużymi, średnio wynoszącymi 2,4 m, sezonowymi zmianami położenia lustra wody, morfologia plaży jest bardziej złożona (ryc. 19). Najpełniej wykształconą plażę, ciągnącą się setkami metrów możemy obserwować wzdłuż prostolinijnych, przypłydzynowych odcinków brzegu. Wraz z opadającym lustrem wody strefa zmywu, będąca strefą aktywnego kształtowania linii brzegowej ulega sukcesywnemu przemieszczaniu ku zewnętrznej części platformy przybrzeżnej.

Przy dostatku materiału zarówno zgromadzonego na powierzchni platformy, jak i transportowanego w jej obrębie, wraz ze zmieniającymi się warunkami hydrodynamicznymi na zbiorniku, tj. wzrostem lub osłabieniem intensywno-



ności falowania, w jej obrębie powstają kolejne generacje stosunkowo wąskich, niewysokich wałów brzegowych (fot. 23). Z czasem, osuszane i odizolowywane poszerzają i rozbudowują istniejącą plażę stając się tym samym typowymi wałami plażowymi (beach ridge, Otvos 2000). W efekcie, na znacznych odcinkach brzegu, zwłaszcza przytłocznego, o stosunkowo niewielkim nachyleniu, plażę tworzy kilka, najczęściej 5–6 choć nierzadko 10–12 równoległych wałów (fot. 24) (*beach ridge plain*, Otvos 2000).

Podobne do opisanych sekwencje wałów plażowych bardzo często obserwowane są w obrębie stref brzegowych akwenów o wyraźnie obniżonym położeniu lustra wody w stosunku do istniejącego w przeszłości. Są one osuszone i utrwalone roślinnością. Obecnie są one wskaźnikami historycznych stanów wody (Korolec 1968; Drwal, Gołębiewski, 1968). Wały plażowe obserwowane na zbiorniku pakoskim w odróżnieniu od powyższych form są mobilne, nieutrwalone. Ulegają ciągłemu przekształcaniu w kolejnych cyklach pracy zbiornika. Ich trwałość jest wypadkową położenia (rzędnej), na jakiej zostały ukształtowane oraz wahań poziomu wody w zbiorniku. Im dana forma powstała bliżej zewnętrznej krawędzi platformy, tj. na niższej rzędnej, tym krócej się zachowuje i odwrotnie, im wyższe położenie tym czas do ponownego osiągnięcia tego stanu wody w zbiorniku dłuższy, a tym samym żywotność formy większa. Trwałość form obserwowanych w okresie prowadzonych badań wynosiła od kilku dni, tygodni do maksymalnie 1 roku, tj. czasu pomiędzy dwoma następującymi po sobie wysokimi stanami wody. Tylko w sporadycznych przypadkach, gdy w następujących po sobie cyklach pracy zbiornika stany maksymalne były niższe niż w cyklu poprzedzającym, istnieje możliwość ich dłuższego istnienia. Na podstawie diagramu stanów wody (ryc. 3)

Ryc. 19. Profil poprzeczny strefy brzegowej dominującej obecnie na zbiorniku pakoskim z wykształconą plażą w postaci wałów plażowych (I) bądź rzadziej, stopni plażowych (II). A – okresowo osuszana i B – trwale subakwalna część platformy przybrzeżnej, 1 – plaża, zespół wałów plażowych, 2 – efemeryczne laguny, 3 – zanurzony wał brzegowy, 4 – wał akumulacji mineralno-biogenicznej, 5 – klif z wykształconymi „stopniami”, 6 – residuum, 7 – skłon platformy przybrzeżnej, 8 – pień drzewa, 9 – materiał in situ, 10 – osady tworzące platformę przybrzeżną, w jej części nadwodnej tworzące wały plażowe lub stopnie plażowe, h – miąższość warstwy wybradowanych osadów, ab – abrazja, ak – akumulacja, strzałki określają kierunek dominującego procesu, linią przerywaną zaznaczono pierwotny zarys stoku

Dominant cross-section of coastal zone on Pakość Reservoir with beach developed into a ridge plain (I) or rarely into a beach stairs. A – periodically drying out, „intertidal” („foreshore”) and B – underwater („nearshore”) part of coastal platform, 1 – beach, beach ridge plain, 2 – seasonal lagoons, 3 – swash bar, 4 – mineral-bioorganic bar, 5 – cliff with „steps”, 6 – residuum, 7 – slope of coastal platform, 8 – trunks of trees, 9 – in situ sediment, 10 – coastal platform sediments, in periodically drying out part of this formed beach ridges (I) or beach steps (II), h – thickness of sediment layer abrasive out, ab – abrasion, ak – accumulation, arrows designate direction of dominating process, dashed line marked original slope

można stwierdzić, iż formy te maksymalnie mogły się zachowywać przez 5–6 lat, w latach 1981–1986, 1988–1994, kiedy utrzymywał się niski stan wody na zbiorniku.

Na fragmentach brzegu, gdzie na powierzchni platformy przybrzeżnej nie zawsze występuje dostateczna ilość materiału, poszczególne wały położone są w stosunku do siebie w kilkumetrowych odstępach. W tych miejscach, plaża zatracą swój jednolity, ciągły charakter.

Obserwowane wały plażowe osiągają najczęściej 0,5–1,5 m szerokości i 0,15–0,4 m wysokości względnej. Miąższość osadów złożonych w tych formach wynosi 0,10–0,6 m. Nachylenie stoków wału jest zróżnicowane i zależne od granulometrii osadów je budujących oraz sytuacji hydrodynamicznej na zbiorniku w okresie ich powstawania. Im osady budujące formę są grubsze, tym nachylenie stoku proksymalnego większe (Gradziński i in. 1986). Odwrotnie sytuacja ma się z falowaniem. Według L. Kurowskiego (2002b), prowadzącego badania przekształceń plaży na wybrzeżu Bałtyku, wraz z narastaniem falowania nachylenie tego stoku zmniejsza się. Ponadto, w okresach spracowywania zbiornika ze względu na ciągłe obniżanie lustra wody na przypłychnowych fragmentach brzegu wały te mają bardzo słabo wykształcony stopień wyznaczający jej zewnętrzny zasięg.

Forma plaży jest odmienna na przygłębiowych odcinkach brzegu, mających najczęściej abrazyjny charakter. Charakteryzuje się ona najczęściej niepełnym profilem z wykształconym jedynie stokiem proksymalnym. Często ma ona raczej postać nie tyle wału (-ów), co prawie horyzontalnej, łagodnie opadającej w kierunku zbiornika terasy (półki) czy zespołu kilku teras, zakończonych wyraźnymi stopniami, które osiągają od kilku do 30 cm wysokości (ryc. 19). Stopnie te są odpowiednikiem mikroklimów, wyróżnianych w strefach brzegowych mórz (Kostrzewski, Zwoliński 1985c).

W okresach piętrzenia zbiornika, zarówno na przygłębiowych jak i przypłychnowych fragmentach brzegu, zachodzi przemodelowanie istniejącej plaży. Przemieszczanie strefy zmywu ku wewnętrznej części platformy, aktywowane intensywnym falowaniem, powoduje niszczenie, czy wręcz unicestwienie istniejącej plaży bez względu na jej dotychczasową formę, czy to klasycznego wału czy półki. Na linii maksymalnego zasięgu fal powstaje bardzo wyraźny próg morfologiczny o wysokości 0,3–0,4 m z często towarzyszącą mu niszą erozyjną. Wysokość stopnia bardzo często ograniczona jest maksymalną miąższością osadów złożonych na powierzchni platformy.

Na dystalnym stoku plaży często można obserwować niewielkich rozmiarów, wydłużone obniżenia (*swale*, Otvos 2000) niejednokrotnie mające formę wypełnionej wodą laguny plażowej. Mają one 5–50 m długości i 5–10 m sze-



Fot. 24. Sekwencja wałów plażowych z widoczną pozostałością okresowej laguny, Rzadkwin

The beach ridge plain with residue periodic lagoon called swale, Rzadkwin



Fot. 25. Sierpy plażowe, Bronisław

Beach cusps, Bronisław



Fot. 26. Wał mineralno-
organiczny na linii
maksymalnego zasięgu
wody, Skalmierowice
The mineral-organic ridge on
maximum water line,
Skalmierowice



Fot. 27. Cypel swobodny, Janikowo
The free spur, Janikowo



Figure 1. Relationship between the number of items and the correlation coefficient.



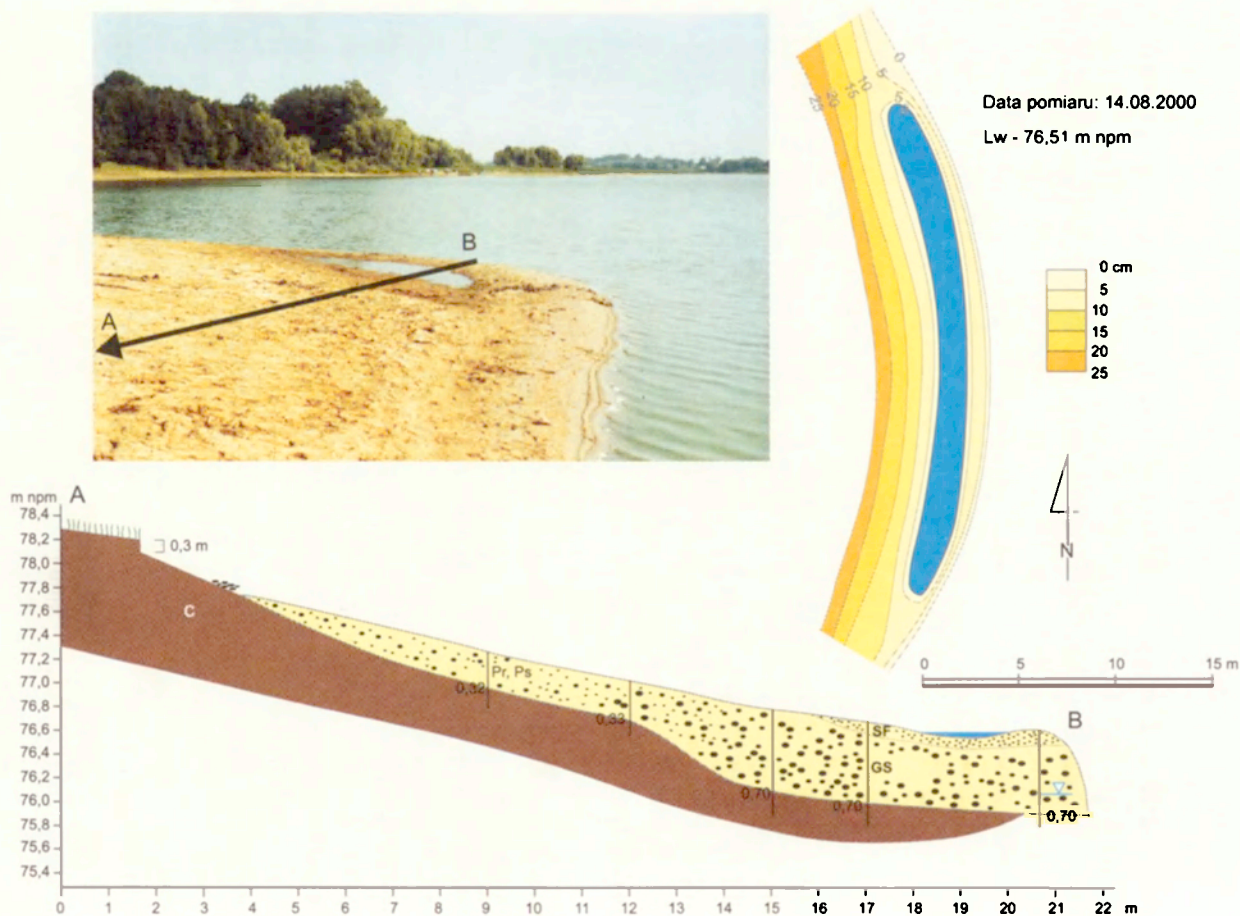
Figure 2. Relationship between the number of items and the correlation coefficient.

rokości. Jeśli są zasilane wodami gruntowymi wówczas mają charakter sezonowy i istnieją do powtórnego spiętrzenie zbiornika powyżej rzędnej, na której ukształtował się okalający je wał brzegowy, co jednocześnie prowadzi do jego zniszczenia. Natomiast w sytuacji, gdy laguna nie posiada dodatkowego zasilania poza wodą, która dotarła tu w okresie jej tworzenia oczko wodne zachowuje się zaledwie przez kilkanaście dni (fot. 24), po czym przyjmuje postać mniej lub bardziej podmokłego obniżenia.

W obrębie większych form tego typu, o powierzchni kilkunastu metrów kwadratowych, podobnie jak w obserwowanych przez L. Kurowskiego na wybrzeżu Bałtyku (Kurowski, 2002b), można obserwować niewielki, kilkucentymetrowej szerokości i głębokości kanał wlotowy z rozwiniętą deltą u jego ujścia do laguny. Rozmiary tej formy są bardzo zróżnicowane i wahają się od kilkudziesięciu centymetrów do ponad 1 m² powierzchni. Ponadto, zaznaczają się również podobnych rozmiarów do opisanych kanałów wlotowych, kanały wylotowe (*kanaly powrotne*, Kurowski 2002b) nie stowarzyszone z formami pozytywnymi. Dno samego obniżenia pokrywa, kilkucentymetrowej miąższości, seria osadów drobnoziarnistych, najczęściej mułków piaszczystych.

Sporadycznie, na niewielkich odcinkach brzegu przypląciznowego powstający wał brzegowy przyjmuje charakterystyczną postać łukowo wygiętych sierpów (festonów) plażowych. Jest to efekt prostopadłego nadbiegania fali wzdłuż prostoliniowych odcinków brzegu (Širokov, Lopuch, Levkevič 1992; Lopuch 2002). Na zbiorniku pakoskim formy te nie osiągają dużych rozmiarów, najczęściej 3–5 m szerokości i 2–5 m długości. Tworzą ciągi o długości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Występują one na całej szerokości odslanianej części płytcizny (fot. 25).

Poza opisanymi, typowymi mineralnymi wałami brzegowymi, w strefie brzegowej zbiornika pakoskiego można obserwować wały mineralno-organiczne lub organiczne (fot. 26). Te powszechnie występujące formy powstają na linii maksymalnego zasięgu fal, a twory je budujące stanowią mieszaninę osadów mineralnych oraz fragmentów roślin, głównie liści i patyków. Ich tworzeniu sprzyja fakt nakładania się wysokich stanów wody, które występują na tym akwenie w okresie zimowo-wiosennym z dostatkami obumarłej materii organicznej unoszonej na powierzchni wody, a pochodzącej z podtopionych w tym okresie krzewów otaczających zbiornik. Formy te powstają zarówno wzdłuż abrazyjnych odcinków brzegu, powyżej niskich bądź u podnóża wysokich klifów, jak i wzdłuż akumulacyjnych jego fragmentów. Mają one postać wydłużonych, prostoliniowych, rzadziej sierpowo wygiętych kilkumetrowej długości wałów, tworzących ciągi o długości od zaledwie kilku do kilkuset metrów. Osiągają najczęściej 0,5 m szerokości i 0,3 m wysokości. Ich trwałość jest zróżnicowana, jednak najczęściej wynosi około 1 roku, czyli okresu



Ryc. 20. Odsyp piaszczysty z tworzącym się wałem brzegowym oddzielającym okresową lagunę, Dobieszewice. SG – piasek żwirowy, SF – piasek mułkowy, C – torf, osad organiczny, (kod litofacjalny – tekstura, wg. T. Zieliński 1995); 1 – nawiercone zwierciadło wód podziemnych.

The lateral sand bar with lagoon swash bar separated, Dobieszewice. SG – gravelly sand, SF – fine sand, C – carbonaceous deposit (lithofacial code by T. Zieliński 1995); 1 – groundwater level met during drilling

rozdzielającego kolejne dwa maksima stanów wody na zbiorniku. W okresie wegetacyjnym formy te porasta roślinność, co sprawia, iż stają się one trudne do rozpoznania w terenie.

Cypel akumulacyjny

Materiał mineralny złożony na powierzchni platformy często przybiera formę cypli akumulacyjnych. Są to formy sezonowe, nie utrwalone, w kształcie trójkąta o podstawie związanej z lądem (ryc. 18). Rozmiary obserwowanych na zbiorniku pakoskim tego rodzaju form nie są zbyt okazałe. Zarówno ich szerokość jak i długość nie przekracza 1,5–3 m, a miąższość tworzących je osadów wynosi od 0,2 do 0,8 m, i wyraźnie wzrasta w kierunku zbiornika.

Występują tu dwa typy cypli akumulacyjnych. Pierwszy, to formy swobodne (fot. 27), często występujące cyklicznie. Powstają one wzdłuż przyplączynowych, prostolinijnych odcinków brzegu. Zbudowane są z osadów o stosunkowo dużej miąższości, przekraczającej 0,4–0,6 m. Zwykle występują w obrębie środkowej i dolnej części odsłanianego fragmentu platformy przybrzeżnej. Form tych nie obserwuje się w strefie wysokich stanów wody, w górnej, abrazyjnej części platformy przybrzeżnej, co ma zapewne związek z niewielką miąższością występujących tu osadów. Jeśli formy te występują cyklicznie wówczas tworzą kilkudziesięciometrowej długości ciągi.

Drugi typ cypli akumulacyjnych to cypłe wymuszone. Ich występowanie związane jest z zachowanymi w strefie brzegowej zbiornika pniami drzew, wyciętych w ramach przygotowywania czaszy zbiornika przed jego napełnieniem. Pnie te pełnią obecnie funkcję swoistych zaczepów na zapleczu, których akumulowany jest materiał żwirowo-piaszczysty (fot. 28). Formy tego typu współwystępują z wcześniej opisanymi, ale również powstają na niższych rzędnych. Cypłe wymuszone występują najczęściej pojedynczo, a tylko wyjątkowo w większych zespołach.

Wypełnienia wgłęć linii brzegowej

Zarówno wały brzegowe, które z czasem przekształcane są w wały plażowe, jak i cypłe akumulacyjne są formami charakterystycznymi dla przyplączynowych, prostolinijnych fragmentów brzegu. Wraz z rozwojem strefy brzegowej zespoły tych form powstają również we wgłębieniach linii brzegowej, co prowadzi do ich wypełnienia, a tym samym wyprostowania linii brzegowej. Na zbiorniku pakoskim sytuacje takie obserwowane są sporadycznie. Wypełnieniu ulegają niewielkie, 150-metrowej długości wgłębienia linii brzegowej wzdłuż brzegów przyplączynowych, gdzie nachylenie platformy przybrzeżnej nie przekracza kilku stopni. Wgłębienia te, rozdzielające zwykle abrazyjne odcinki brzegu, na obecnym etapie rozwoju strefy brzegowej wypełnione są tylko w niewielkim stopniu. Osady akumulowane są tu w górnej i środkowej

części odłanianej platformy przybrzeżnej, na rzędnych 76,3–76,8 m n.p.m., co odpowiada najczęściej występującym stanom wody na zbiorniku (ryc. 4). Strefa ta, o niewielkim nachyleniu nie przekraczającym 3–5°, rozciąga się na przestrzeni niespełna 20 m. Akumulowane osady tworzą nieciągłą warstwę o zróżnicowanej miąższości i granulometrii. Miąższość osadów piaszczysto-żwirowych w obrębie wałów wynosi 0,15–0,3 m a w obrębie rozdzielających je obniżzeń, zaledwie 0,1 m mułków piaszczystych.. Zarówno powyżej jak i poniżej tej strefy powierzchnia platformy jest pozbawiona osadów, bądź występują one jedynie w postaci lokalnych nieciągłych smug piaszczystych.

Odsyp

Kolejną, przystającą, formą akumulacyjną obserwowaną w strefie brzegowej zbiornika pakoskiego jest odsyp. Forma ta w rzucie pionowym, podobnie jak cypel, nawiązuje do trójkąta, którego podstawa związana jest z macierzystym brzegiem. Jednak odsyp w odróżnieniu od cypla powstaje na wypukłości linii brzegowej rozdzielającej abrazyjne fragmenty brzegu, często dodatkowo uwarunkowane istniejącym wyniesieniem pierwotnego podłoża. Formy te rozbudowywane są jedno- bądź dwustronnie tworzącymi się, wraz z opadającym poziomem wody w zbiorniku, kolejnymi generacjami wałów, cypli, a nierzadko i kos akumulacyjnych (ryc. 20). Odsypy osiągają 10–60 m długości i 10–40 m szerokości. Miąższość budujących je osadów wzrasta w kierunku akwenu wraz z opadającym macierzystym podłożem tak, iż ich strop, a tym samym powierzchnia formy, jest prawie płaska, o nachyleniu nie przekraczającym 1° (fot. 29). Granulometria, jak i stopień wysortowania osadów jest bardzo zróżnicowana, od bardzo dobrze przemytych żwirów i piasków gruboziarnistych po mułki piaszczyste.

Ich miąższość wzrasta od 0,2 m w części początkowej do 1,4 m w części końcowej, odzbiornikowej. Miąższość ta jest wystarczająca, aby formy te, mimo iż nie są utrwalone roślinnością, podlegając przekształcaniu w okresie wysokich stanów wody, odtwarzały się w kolejnych cyklach pracy zbiornika. Formy tego typu, podobnie jak wcześniej opisane rozwijają się na poziomie od 77,0 do minimum 76,4 m n.p.m.

7.2. FORMY SWOBODNE

Kosa

Formy swobodne to takie, które z macierzystym brzegiem związane są tylko jednym swym końcem (ryc. 18). Na zbiorniku pakoskim są to kosa, które stanowią bardzo liczną i zróżnicowaną grupę form. Udokumentowano tutaj różnego rodzaju kosa, od bardzo prostych, o niewielkich rozmiarach i sezonowym charakterze do bardzo dużych, złożonych, zarówno sezonowych, jak i



Fot. 28. Cypel wymuszony, Kołuda Mała
The forced spur, Kołuda Mała.



Fot. 29. Odsyp z okresową laguną, Janikowo – Pompownia
Lateral sand bar with lagoon, Janikowo – Pump station



Fot. 30. Kosa sezonowa, Trląg
The seasonal spit, Trląg



Fot. 31. Kosa sezonowa, Dobieszewice. Widoczne pnie drzew pełni tu funkcję stabilizującą
The seasonal spit, Dobieszewice. Three trunks stabilised this form



Fot. 32. Kosa trojramienna, Bronicewice
The spit with three arms, Bronicewice



Fot. 33. Zespół form akumulacyjnych, Bronisław
Group of accumulative forms, Bronisław

stałych, częściowo już utrwalonych roślinnością. Formy te mają wyraźnie wydłużony kształt i najczęściej występują wzdłuż brzegów przyplączynowych. W zależności od swojego charakteru i położenia osiągają do 60 m szerokości i do 250 m długości (fot. 30). O ile kosa o niewielkich rozmiarach powstają zarówno wzdłuż prostoliniowych, wklęsłych jak i wypukłych odcinków brzegu na całej odsłanianej powierzchni platformy przybrzeżnej, to duże formy kos rozwijają się tylko w specyficznych warunkach. Powstają one jako przedłużenie prostoliniowego, abrazyjnego fragmentu brzegu, którego linia brzegowa wyraźnie zmieniła kierunek tworząc wypukłość bądź wklęsłość (ryc. 1; ryc. 21).

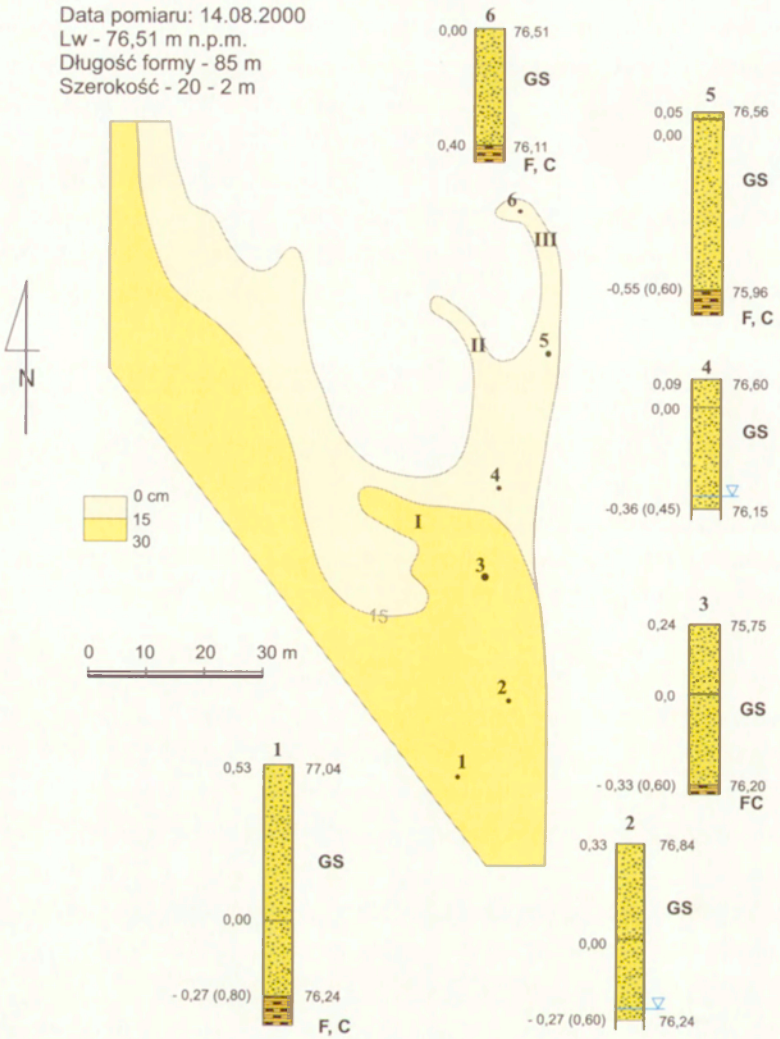
Największa na zbiorniku pakoskim forma tego typu, występuje w Bronisławiu. Kosa ta swoim przebiegiem nawiązuje do północnej linii brzegowej dawnego Jeziora Bronisławskiego i kontynuuje się wzdłuż dawnego koryta Noteci, które nadal pełni funkcję głównej drogi wodnej w tej części akwenu. Zasadnicza część kosa rozwija się prostopadle do obecnej linii brzegowej zbiornika. Omawiana forma nadbudowuje wyniosłość istniejącą w obrębie dawnej równiny zalewowej,

Zasadnicze części dużych kos położone są w poziomie najczęściej występujących stanów wody, choć ich rozwój zachodzi także w czasie najniższych obserwowanych stanów wody na zbiorniku. Czasem rolę swoistego zaczepu dla powstającej kosa, podobnie jak w przypadku wcześniej opisanych cypli wymuszonych, pełnią zachowane pnie drzew (fot. 31).

Duże, złożone formy przyrastają w postaci kolejnych, narastających wałów powstających wraz z opadającym poziomem wody w zbiorniku. Transport materiału biorącego udział w tworzeniu tych form zachodzi wzdłuż brzegu, wzdłużbrzegowym strumieniem osadów (ryc. 22). Kierunek ich przyrastania jest związany z lokalną cyrkulacją wód w strefie brzegowej.

Mięszość osadów w obrębie kos dochodzi do 1,4 m. W budowie geologicznej omawianych form występuje naprzemienne ułożenie utworów o zróżnicowanym wysortowaniu i granulometrii. Obok piasków gruboziarnistych z gładzikami o średnicy 1–2 cm występują także słabo przemyte mułki piaszczyste z pojedynczymi żwirami. W związku z tym, iż są to formy usytuowane na przedłużeniu linii brzegowej a nie poprzecznie do niej, akumulowane osady bardzo często wyrównują nierówności podłoża, a ich mięszość często maleje w kierunku końca formy. Dobrym przykładem takiej formy jest, monitorowana od 2000 roku, kosa w Broniewicach, o powierzchni ponad 1700 m² (ryc. 1; ryc. 23). Forma ta umiejscowiona jest w południowo-zachodnim zakolu Jez. Pakoskiego Południowego, na przedłużeniu prostoliniowego, abrazyjnego fragmentu brzegu. Ta, częściowo utrwalona roślinnością, forma rozwija się od 77,15 m n.p.m. do najniższego obserwowanego poziomu, tj. 75,57 m

Data pomiaru: 14.08.2000
 Lw - 76,51 m n.p.m.
 Długość formy - 85 m
 Szerokość - 20 - 2 m

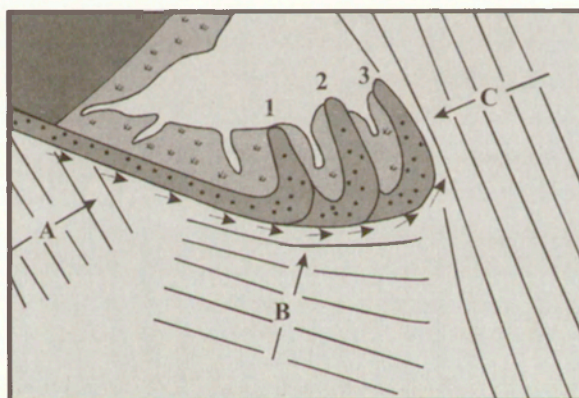


Ryc. 21. Kosa trójramienna, Dobieszewice

GS – żwir piaszczysty o rozproszonym szkielecie ziarnowym, F – mułek / ił, C – torf, osad organiczny (kod litofacjalny – tekstura, wg. T. Zieliński 1995); 1 – nawiercone zwierciadło wód podziemnych

The spit with three arms, Dobieszewice

GS – sandy gravel, F – fines, C – carbonaceous deposit, (lithofacial code by T. Zieliński 1995); 1 – groundwater level met during drilling.



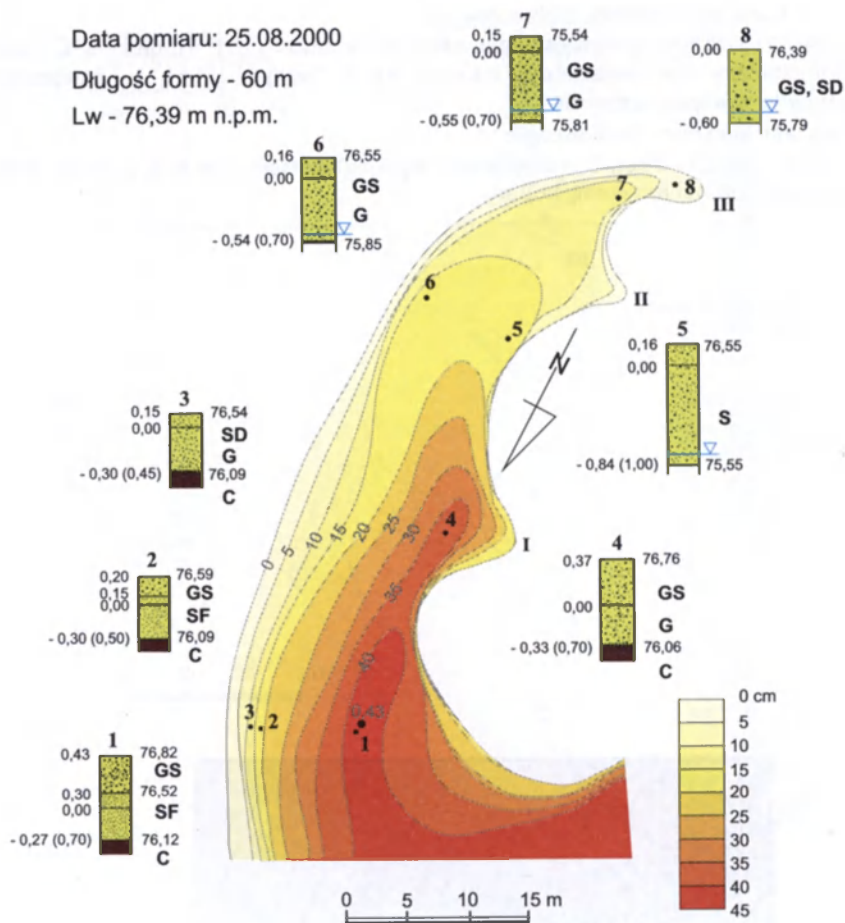
- A – dominujący kierunek fal – dominated wave direction
 → – wzdłużbrzegowy prąd osadów – along shore sediments stream
 1,2,3, – kolejno przyrastające ramiona kosi – next increasing spit arms

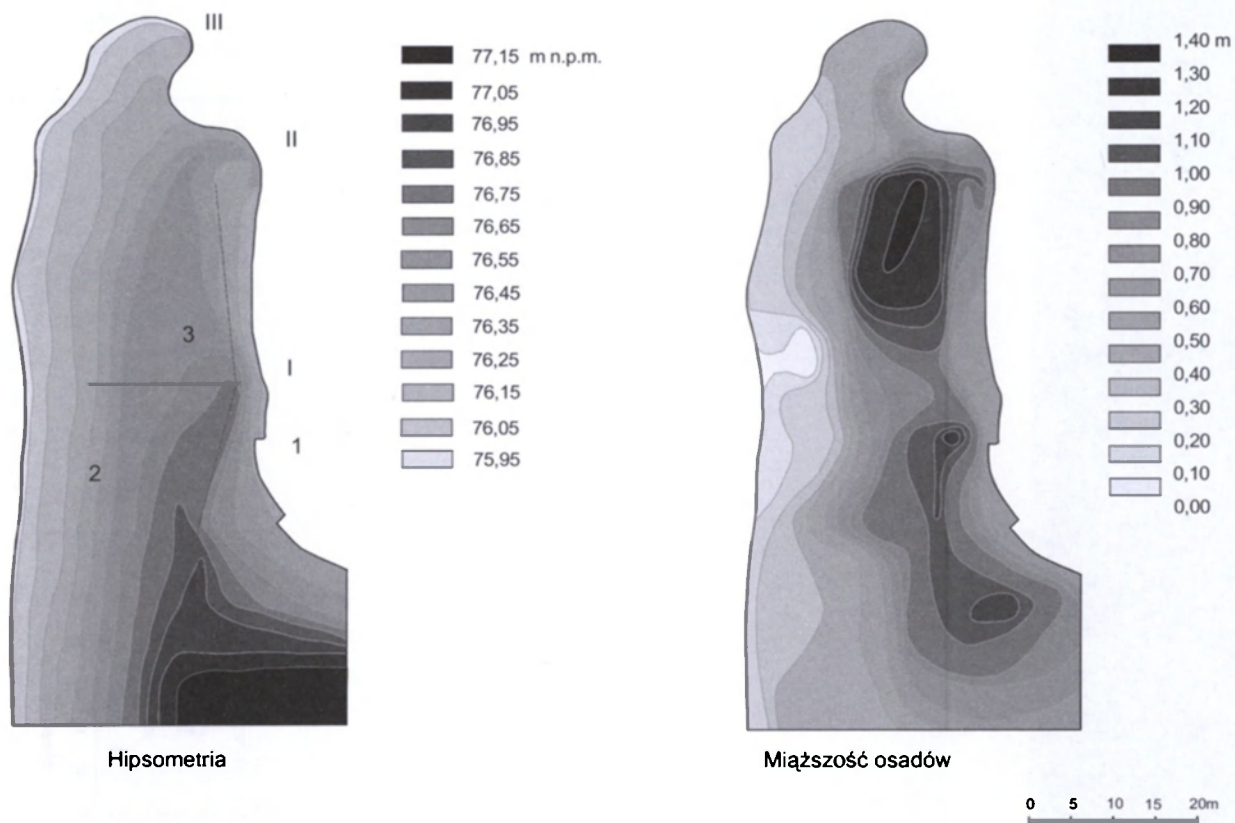
Ryc. 22. Rozwój kosi wieloramiennej (wg E. Bird, F. Charles, 2000)
 Development of multiarms spit (by E. Bird, F. Charles, 2000)

Data pomiaru: 25.08.2000

Długość formy - 60 m

Lw - 76,39 m n.p.m.



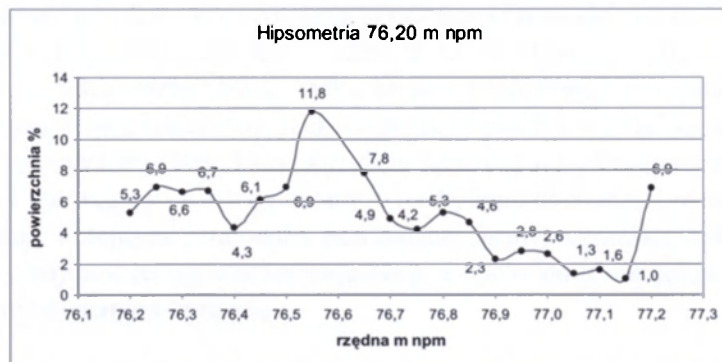
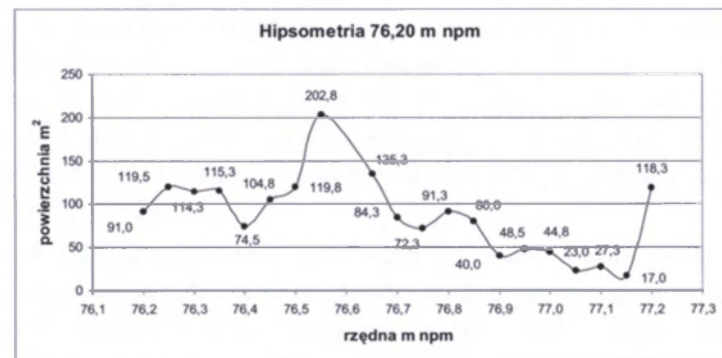
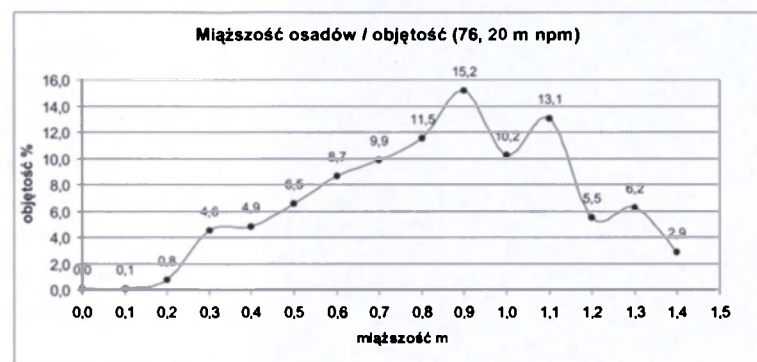
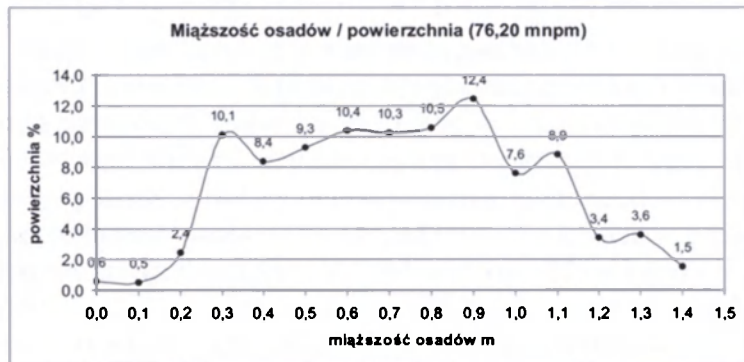
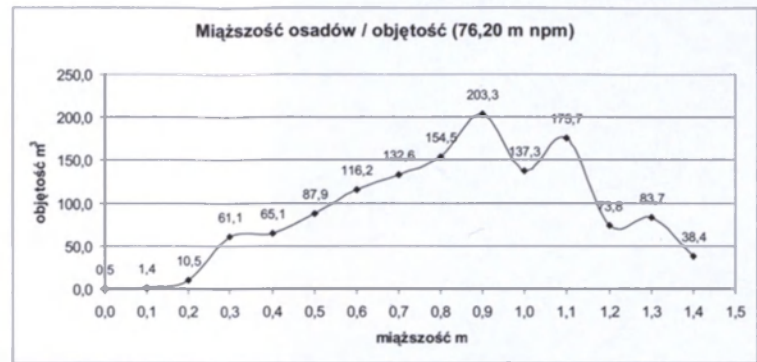
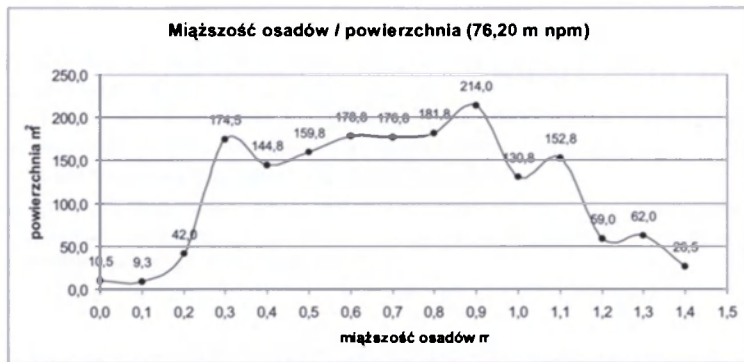


Ryc. 24. Kosa wieloramieniczna w Broniewicach

Pomiary wykonano 29.10.2003 r; przy poziomie wody w zbiorniku wynoszącym 75,97 m n.p.m. Nachylenie powierzchni formy: 1 – stok odlądowy, 15–40°, 2 – stok odzbiornikowy, 2°, 3 – płaska część środkowa, 0°24'; I, II, III – kolejne ramiona formy

The spit with three arms, Broniewice

Measurement date – 29.10.2003 y, water level in reservoir elevated on 75,97 m asl. Inclination of form surface: 1 – opposite reservoir slope, 15–40°, 2 – reservoir directed slope, 2°, 3 – flat middle part of this form, 0°24'; I, II, III – sequences spit arms



Powierzchnia formy – 1723,0 m²

Objętość osadów – 1341,85 m³

Średnia miąższość osadów – 0,78 m

Obliczenia wykonano dla poziomu wody 76,20 m npm

Ryc. 25. Kosa w Broniewicach, 2003 r. – powierzchnia i miąższość osadów

The spit in Broniewice, 2003 y – form survey and thickness of sediments

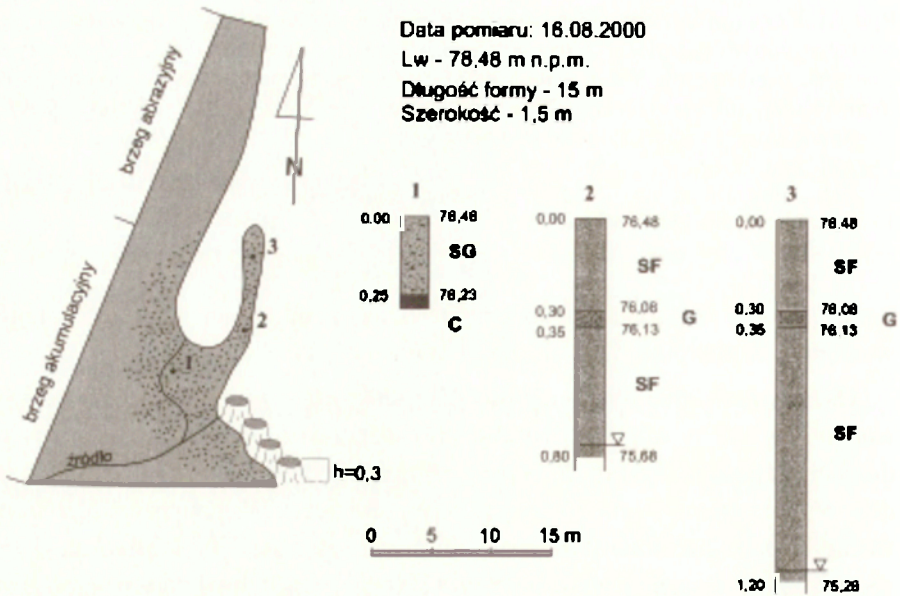
Ryc. 23. Kosa trójramienna, Broniewice. SF – piasek mułkowy, GS – żwir piaszczysty o rozproszonym szkielecie ziarnowym, G – żwir o zwartym szkielecie ziarnowym, C – torf, osad organiczny, S – piasek, SD – piasek diamiktonowy o równomiernie rozproszonej frakcji pylastej, (kod litofacjalny – tekstura, wg. T. Zieliński 1995), l – nawiercone zwierciadło wód podziemnych
 The spit with three arms, Broniewice. SF – fines sandy, GS – sandy gravel, G – gravel, C – carbonaceous deposit, S – sand, SD – diamictic sand (lithofacial code by T. Zieliński 1995); l – groundwater level met during drilling

n.p.m., choć jej część zasadnicza, najbardziej zaznaczająca się w morfologii, występuje w poziomie 77,0–76,5 m n.p.m. (ryc. 24; fot. 32).

Osady omawianej formy wyrównują nierówności podłoża. W okresie prowadzonych obserwacji kosa ta miała wykształcone od 3 do 6 ramion. Ze względu na nieregularny kształt do obliczeń objętości złożonych w jej obrębie osadów wykorzystano metodę krzywej batymetrycznej. W tym przypadku wodę zastąpiły osady, a izobaty linie równej miąższości osadów. Obliczona w ten sposób objętość osadów wynosi ponad 1300 m³, a ich średnia miąższości 0,8 m. Diagram zależności miąższości i objętości (ryc. 25) wskazuje, iż serie o miąższości 0,3 do 1,1 m obejmują blisko 90% formy, a najwięcej osadów występuje w warstwie o miąższości od 0,8 do 1,1 m, która stanowi 50%.

Dynamika opisanych form jest odwrotnie proporcjonalna do ich wielkości. Im forma bardziej okazała tym jej stabilność jest większa. Formy małe, kilkumetrowej wielkości, mimo znacznej miąższości zdeponowanych w nich osadów, nie mają szans na zachowanie się w okresie wysokich stanów wody, jak miało to miejsce w przypadku formy obserwowanej w 2000 r w Jankowie. Niewielka kosa w czasie podnoszenia stanów wody uległa całkowitemu zniszczeniu (ryc. 26).

W kilkuletnim okresie prowadzonych badań, który na tle całego okresu funkcjonowania zbiornika cechował się zdecydowaną przewagą wysokich stanów wody (ryc. 3), tego typu formy nie odtwarzały się w kolejnych sezonach, a jedyną ewentualną ich pozostałością były wały brzegowe. Natomiast w przypadku form dużych, o powierzchni przekraczającej kilkaset metrów, a na zbiorniku wykształconych jest 5 takich form, w okresie wysokich stanów wody przemodelowaniu ulegają tylko końcowe ich części – ramiona – natomiast zasadnicza część formy zachowuje się. Ponadto, w przekroju poprzecznym większych tego typu form, wyraźnie zaznacza się ich asymetria. Stok odlądowy jest węższy i bardziej stromy, o nachyleniu dochodzącym do 50°, urozmaicony kolejnymi ramionami powstającej formy, natomiast stok odzbiornikowy najczęściej prawie horyzontalny, o nachyleniu nie przekraczającym 5° i wyrównanym kształcie.



Ryc. 26. Kosa sezonowa, Jankowo

SF – piasek mułkowy, G – żwir o zwartym szkieletcie ziarno-wym, SG – piasek żwirowy, (kod litofacjalny – tekstura, wg. T. Zieliński 1995); l – na-wiercone zwierciadło wód podziemnych

The seasonal spit, Jankowo

SF – fines sand, G – gravel, SG – gravely sand (lithofacial code by T. Zieliński 1995); l – ground-water level met during drilling

7.3. FORMY ZAMYKAJĄCE

Mierzeja

Zasadniczą cechą form zamykających jest ich obustronne połączenie z brzegiem. Proces zamykania tych form prowadzi do oddzielenia niewielkich fragmentów zbiornika (ryc. 18).

W obrębie strefy brzegowej zbiornika pakoskiego występuje tylko jedna, dobrze wykształcona forma tego typu. Zlokalizowana jest ona na prawym, wschodnim brzegu akwenu, w środkowej jego części (ryc. 1; ryc. 8). Forma mająca ponad 150 m długości i 30 m szerokości odcina zatokę zasilaną wodami gruntowymi. Powstała ona w wyniku akumulacji osadów transportowanych przez prąd wzdłużbrzegowy. Woda z utworzonej w ten sposób laguny w okresie średnich i niskich stanów wody, gdy mierzeja jest osuszana, jest odprowadzana do zbiornika przez niewielki ciek. Miąższość osadów w przekroju poprzecznym waha się od 0,9 m w strefie bezpośrednio przylegającej do

oddzielenego oczka wodnego do niespełna 0,3 m po stronie odzbiornikowej. Mierzeja jest zbudowana z dobrze przemytych żwirów i piasków gruboziarnistych z przewarstwieniami piasków drobnoziarnistych bądź mułkowatych. Forma ta przyrasta z południa na północ i tylko jej końcowy fragment w okresach wysokich stanów wody podlega przekształceniom. Pozostała, zasadnicza jej część została już utrwalona roślinnością krzewiastą. Jej ekspansję skutecznie ograniczają wysokie stany wody utrzymujące się w przeważającej części okresu wegetacyjnego.

Formy zamykające pojawiają się na płytkich sztucznych zbiornikach wodnych o niewielkich wahanach stanów wody po około 25–30 latach ich eksploatacji. Obecność tych form jest zdaniem niektórych badaczy świadectwem stabilizacji i dojrzałości strefy brzegowej zbiornika, jej ostatnim etapem rozwoju (Širokov, Lopuch, Levkevič 1992; Lopuch 2002). Zależność taka, zapewne ze względu na dużą mobilność strefy zmywu i napływu na powierzchni platformy przybrzeżnej nie zachodzi jednak na zbiornikach o znacznych wahanach stanów wody. Zwrócił już na to uwagę G.I. Ovčinnikov (2003) na podstawie badań zbiorników Kaskady Angarskiej. Pogląd ten potwierdzają także badania prowadzone na zbiorniku pakoskim. Po blisko 30 latach eksploatacji tego zbiornika w morfologii jego strefy brzegowej trudno bowiem doszukać się elementów przemawiających za wygaszaniem kształtujących ją procesów. Zarówno procesy abrazji, jak i akumulacji zachodzą tu bardzo dynamicznie.

W obrębie strefy brzegowej zbiornika pakoskiego w jednym cyklu jego pracy współwystępują i rozwijają się formy akumulacyjne o zróżnicowanej wielkości i trwałości. Obserwuje się wśród nich, zarówno niewielkie sezonowe cykle akumulacyjne, jak i utrwalone, wieloetapowe kosy o powierzchni przekraczającej kilkaset metrów kwadratowych. Świadczy to o ciągle trwającym procesie ich kształtowania. Formy te występują na całej osuszonyj części platformy przybrzeżnej, najpowszechniej w poziomie najczęstszych stanów wody, tj. 76,3–76,9 m n.p.m. stanowiących 26% wszystkich dobowych stanów wody na zbiorniku w całym okresie jego istnienia.

Duże wahania stanów wody w zbiorniku pakoskim warunkują wieloetapowość rozwoju form akumulacyjnych. Formy większe są najczęściej złożone z różnogenetycznych form mniejszych (fot. 33).

Ciągłe obniżanie poziomu wody, prowadzi do przemieszczania po platformie strefy zmywu i napływu. Najwyraźniejsze skutki morfologiczne tej migracji uwiadcniają się w przypadku plaży, która składa się z kilku równoległych wałów, często oddzielonych oczkami wodnymi. Obraz morfologiczny plaży zbiornika pakoskiego zbliżony jest do form obserwowanych na brze-

gach morskich w strefie pływów, bądź jezior o podwyższonym w przeszłości poziomie lustra wody. Cechą charakterystyczną obserwowanych form jest ich „rozciąganie” po platformie wraz z opadającym poziomem wody w zbiorniku. W efekcie, w przeciwieństwie do form akumulacyjnych na zbiornikach o małych wahaniami stanów wody, miąższość występujących w nich osadów nie zawsze wzrasta, a niekiedy wręcz maleje w kierunku linii wody. Największe nagromadzenie form akumulacyjnych na zbiorniku pakoskim występuje obecnie wzdłuż brzegów przyłytycznowych.

8. PODSUMOWANIE

Zasadniczym celem pracy było jakościowe i ilościowe określenie przekształceń strefy brzegowej zbiornika pakoskiego po blisko 30. latach jego funkcjonowania oraz stworzenie, na bazie uzyskanych wyników, schematu rozwoju strefy brzegowej sztucznego, nizinnego zbiornika retencyjnego średniej wielkości, o dużych, kilkumetrowych wahaniami stanów wody w cyklu rocznym, z uwzględnieniem jego jeziornej genezy.

Rozpatrywane komponenty strefy brzegowej zbiornika pakoskiego, takie jak: morfometria platformy przybrzeżnej wraz z występującymi na jej powierzchni osadami, charakter i wzajemny stosunek poszczególnych typów brzegu oraz występujące tu formy akumulacyjne, przeanalizowane zarówno pod kątem stopnia zaawansowania ich rozwoju, jak również czasowej i przestrzennej zmienności, wskazują na początkowy etap jej rozwoju. Pomimo już 30-letniego okresu funkcjonowania zbiornika ciągle zachodzi proces kształtowania strefy. Charakter i przebieg procesów w niej występujących cechuje się wyraźną wieloletnią i roczną zmiennością, uwarunkowaną dużymi, kilkumetrowymi wahaniami stanów wody. Istotna jest tutaj zarówno ich wielkość, jak i zakres. Nie w każdym cyklu eksploatacyjnym zbiornika pakoskiego, gromadzona w nim woda osiąga poziom równy, bądź wyższy od podstawy aktywnego klifu, który podlegając abrazji jest jedynym źródłem materiału dostarczanego w obręb kształtującej się platformy przybrzeżnej, umożliwiając jej rozwój. Z kolei wielkość amplitudy stanów wody bezpośrednio wyznacza szerokość części platformy przybrzeżnej podlegającej przekształcaniu.

Pomimo niewielkich rozmiarów strefa brzegowa zbiornika pakoskiego wykazuje wiele podobieństw do stref brzegowych innych sztucznych zbiorników wodnych o zdecydowanie większych rozmiarach, cechujących się podobnym reżimem eksploatacyjnym.

W wyniku bardzo dużej wysokości dokonanego spiętrzenia podwodnej części strefy brzegowej zbiornika pakoskiego nadal zachowały się formy i osady związane ze starą strefą brzegową jezior sprzed ich spiętrzenia. Zostały one częściowo włączone do współcześnie kształtującej się strefy brzegowej.

LITERATURA

- Adams D.K., Wesnousky S.G., 1998, *Shoreline processes and the age of the Lake Lahontan highstand in the Jessup embayment, Nevada*, Geological Society of America Bulletin, s. 1318–1332.
- Allan C.J., Wayne J.S., Kirk R.M., Taylor A., 2002, *Lacustrine Shore Platforms at Lake Waikaremoana, North Island, New Zealand*, Earth Surface Processes and Landforms, 27, s. 207–220.
- Arfi R., 2005, *Seasonal ecological changes and water level variations in the Selingue Reservoir (Mali, West Afrika)*, Physics and Chemistry of the Earth, 30, s. 432–441.
- Atlas Hydrologiczny Polski*, 1986, J. Stachy (red.), IMiGW, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Atlas Jezior Polski*, 1999, Poznań.
- Avakian A.B., 1998, *Problematyka zaporowych zbiorników wodnych*, Przegl. Geogr., 70, 1–2, s. 11–27.
- Avakian A.B., Liebiebieva I.P., 2002, *Vodochranilisca XX veka kak globalnoje geograficeskoe javlenie*, Izvestia AN, Geografia, 3, s. 13–20.
- Avakian A.B., Saltankin V.P., Šarapov V.A., 1987, *Vodochranilisca*, Mysl, Moskwa, 327 ss.
- Babiński Z., 2002, *Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych*, AB, Bydgoszcz, 185 ss.
- Babiński Z., Grześ M., 1974, *Zbiorniki zaporowe*, Geografia w szkole, 4, s. 188–193.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1998, *Hydrologiczna terminologia jeziorna*, Zeszyty Terminologiczne, Seria Nauki o Ziemi, 2, Retro-Art., Warszawa, 30 ss.
- Banach M., 1977, *Rozwój osuwisk na prawym zboczach doliny Wisły między Dobrzyniem a Włocławkiem*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 124, 101 ss.
- 1981, *Abrazja brzegów a zamulanie zbiornika Włocławek*, Gospodarka Wodna, 11–12, s. 283–287.
- 1988, *Główne procesy a osady w strefie brzegowej zbiornika Włocławek*, Przegl. Geogr., 60, s. 267–299.
- 1992, *Morfodynamika form akumulacyjnych strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, [w:] M. Banach, R. Glazik (red.), *Zbiornik Włocławski – niektóre problemy z geografii fizycznej*, Dokum. Geogr., 1, s. 267–299.
- 1994, *Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Prace Geogr. IGiPZ PAN 161, 180 s.
- 1997, *Rozwój procesów egzogenicznych w projektowanej kaskadzie dolnej Wisły (KDW)*, Przegl. Geogr., 69, 1–2, s. 121–139.
- 2004, *Ewolucja strefy brzegowej zbiorników zaporowych*, Dokum. Geogr., 31, s. 11–12.
- Banach M., Grobelska H., 2003, *Stan dynamiki brzegów zbiornika Jeziorsko*, Słupskie Prace Geogr., 1, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk, s. 91–106.
- Banach M., Spanila T., 2000, *Geodynamic evolution of water reservoir banks*, Acta Montana IRSM AS CR, Series A, 15116, s. 45–66.

- Bartkowski T., 1962, *O terasach nad Jeziorem Pakoskim (Wysoczyzna Kujawska)*, Czasopismo Geogr., 33, 3.
- Bird E., Charles F., 2000, *Coastal Geomorphology: an introduction*, J. Wiley & Sons, chichester, New York, 322 ss.
- Bogoslovskij B.B., 1960, *Ozeroviedenie*, Izdatielstvo Moskovskovo Universiteta, Moskva, 335 ss.
- Choiński A., 1995a, *Zarys limnologii fizycznej Polski*, UAM, Poznań, s. 298.
- 1995b, *Katalog jezior Polski, część trzecia: Pojezierze Wielkopolsko-Kujawskie*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań, s. 149.
- Cyberski J., 1984, *Wstępne wiadomości o zbiornikach retencyjnych w Polsce*, Czasopismo Geogr., 3, s. 289–300.
- 1965, *Procesy denudacyjne w strefie przybrzeżnej zbiornika rożnowskieo*, Prace Śl. Hydrol. i Meteorol., 3–4, s. 42–52.
- Dąbkowski S.L., 1978, *Wyniki wstępnych badań abrazji brzegu zbiornika Nysa*, Gosodarka Wodna, 10, s. 312–316.
- Drwal J., Gołębiowski R., 1968, *Próba klasyfikacji brzegów i niektóre procesy brzegowe Jeziora Raduńskiego*, Zeszyty Geogr. WSP Gdańsk, 10, s. 185–197.
- Finarov D.P., 1986, *Geomorfologičeskij analiz i prognozirovanije pereformirovanija beregovej zony i dna vodochranilisc*, Nauka, Leningrad, 227 ss.
- Gierszewski P., 1988, *Zmiany brzegów wywołane termicznymi ruchami lodu na przykładzie zbiornika Włocławskiego*, Przegl. Geogr., 60, 4, s. 657–674.
- Geograficzny Atlas Polski dla Szkół Średnich*, 2000, PPWK Warszawa–Wrocław.
- Głodek J., 1985, *Jeziora zaporowe świata*, PWN, Warszawa.
- Gołdyn R., 1990, *Wpływ piętrzenia wód na procesy ekologiczne w jeziorach służących jako zbiorniki retencyjne*, [w:] *Funkcjonowanie ekosystemów wodnych, ich ochrona i rekultywacja, Ekologia jezior, ich ochrona i rekultywacja. Eksperymenty na ekosystemach*, cz. II, SGGW – AR, Warszawa.
- Gradziński R., Kostecki A., Radomski A., Unrug R., 1986, *Zarys sedymentologii*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Grobelska H., 1999, *Aktualny stan strefy brzegowej zbiornika pakoskiego*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, *Eksploatacja i oddziaływanie dużych zbiorników nizinnych (na przykładzie zbiornika Jeziorsko)*, Stow. Inż. i Techn. Wodnych i Melioracyjnych, Zarząd Główny, Zarząd Oddziału w Poznaniu, Uniejów 20–21.05.1999 r., s. 195–211.
- 2000, *Platforma przybrzeżna jako wskaźnik dojrzałości sztucznych zbiorników wodnych (na przykładzie zbiornika pakoskiego)*, Materiały Konferencyjne „Zbiorniki Zaporowe – metody badań i ocen jakości wody”, WIOŚ w Bydgoszczy, Sucha 17–19.10.2000 r., s. 48–52.
- 2001a, *Rozwój strefy brzegowej podpiętrzonych jezior na przykładzie zbiornika pakoskiego*, [w:] K. German, J. Balon (red.) *Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie*, Problemy Ekologii Krajobrazu, 10, IG i GP UJ, Kraków, s. 83–91.
- 2001b, *Zbiornik Pakoski*, *Zapiski Kujawsko-Dobrzyńskie*, t. 16, Ekologia i Ochrona Środowiska, Włocławskie Towarzystwo Naukowe, Włocławek, s. 59–72.

- 2002a, *Strefa brzegowa zbiornika pakoskiego na Noteci Zachodniej – morfologia i osady platformy przybrzeżnej*, Przegł. Geogr., 2002, 74, 4, s. 547–567.
- 2002b, *Jeziro czy sztuczny zbiornik pakoski*, Gospodarka Wodna, 9, s. 372–375.
- 2004, *Charakterystyka i dynamika platformy przybrzeżnej zbiornika pakoskiego (1975–2003)*, [w:] A.T. Jankowski, M. Rzętała (red.), *Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne – funkcjonowanie, rewitalizacja i ochrona*, Uniw. Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec, s. 57–69.
- Grześ M., 1972, *O piętrzeniu jezior w dorzeczu górnej Noteci*, Gospodarka Wodna, 4, s. 136–137.
- GUS, 1997, *Ochrona Środowiska, Informacje i opracowania statystyczne*, GUS, Warszawa.
- GUS, 2000, *Ochrona Środowiska, Informacje i opracowania statystyczne*, GUS, Warszawa.
- Gutry-Korycka M., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany obiegu wody*, [w:] I. Dynowska (red.), *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*, Drukarnia Uniw. Jagiełońskiego, Kraków, s. 273–393.
- Habidov A.S., 1999a, *Strojenije osadočnych tolšč beregovoj zony Novosibirskovo vodochranilišca*, [w:] O.V. Kašmienskaja (red.), *Berega morej i vnutrennych vodojemov. Aktualnye problemy geologii, geomorfologii i dinamiki*, Izdatielstvo SO RAN, Naučno-Izdatelskij Centr OIGGM, Novosibirsk, s. 138–150.
- 1999b, *Pierienos vzviesiennyh nanosov v beregovoj zonie vodochranilišc*, [w:] O.V. Kašmienskaja (red.), *Berega morej i vnutrennych vodojemov, Aktualnye problemy geologii, geomorfologii i dinamiki*, Izdatielstvo SO RAN, Naučno-Izdatelskij Centr OIGGM, Novosibirsk, s. 191–203.
- Habidov A.S., Žindariev L.A., Savkin V.M., 1999, *Evoljucija beregov vodochranilišc uslovijach dlinnopieriodnyh koliebanij urovnia vody*, [w:] O.V. Kašmienskaja (red.), *Berega morej i vnutrennych vodojemov. Aktualnye problemy geologii, geomorfologii i dinamiki*, Izdatielstvo SO RAN, Naučno-Izdatelskij Centr OIGGM, Novosibirsk, s. 114–124.
- Hejns D.M., Tosteson E.D., 1999, *Naturnyje issliedovanija vzviesiennyh nanosov i mielkomasštabnyh form rjeliefa i pribrežnoj zonie*, [w:] O.V. Kašmienskaja (red.), *Berega morej i vnutrennych vodojemov, Aktualnye problemy geologii, geomorfologii i dinamiki*, Izdatielstvo SO RAN, Naučno-Izdatelskij Centr OIGGM, Novosibirsk, s. 172–182.
- Hellsten S., 1998, *Environmental factors related to water level regulation – a comparative study in northern Finland*, Boreal Environmental Research, 2, s. 345–367.
- 2000, *Environmental factors and aquatic macrophytes in the littoral zone of regulated lakes, Causes, consequences and possibilities to alleviate harmful effects*, Acta Universitatis Ouluensis, A Cientae Rerum Naturalium 348, Oulun Yliopisto, Oulu, 45 ss.
- Horský O., Spanilá T., 1997, *Remodeling of water reservoir banks by exogenous processes*, [w:] P.G. Marinos & all (ed.), *Engineering Geology and the Environment*, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, s. 2711–2716.

- Ikonnikov L.B., 1972, *Formirovanie beregov Gorkovskogo vodochranilisca*, Moskva, Nauka, 96 s.
- Iłowska L., 1999, *Operat wodno-prawny opracowany w celu przeprowadzenia prób hydraulicznych Gazociągu BN 1400, na odcinku przekroczenia Zbiornika Pakoskiego*, Maszynopis, Archiwum Inspektoratu Eksploatacji Wód ODGW w Bydgoszczy.
- Jaguś A., 2000, *Procesy brzegowe w obrębie zbiornika Poraj*, Geographia, Studia et Dissertationes, 23, UŚ, Katowice, s. 59–90.
- Jankowski A.T., 1995, *Z badań nad antropogenicznymi zbiornikami wodnymi na obszarze górnośląskim*, [w:] *Wybrane zagadnienia geograficzne*, WNoZ UŚ, Oddz. Katowicki PTG, Sosnowiec, s. 12–18.
- 1999, *Antropogeniczne zbiorniki wodne na obszarze górnośląskim*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia, 29 Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, 103, UMK, Toruń, s. 129–142.
- Jańczak J., Kowalik A., Brodzińska B., 2004, *Teoretyczne możliwości retencyjne większych jezior polskich*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 502, Inżynieria Środowiska, XIII, Wrocław, s. 125–132.
- Jaroszewski W., Marks L., Radomski A., 1985, *Słownik geologii dynamicznej*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Jokiel P., 2004, *Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Łódź, 114 ss.
- Kaczmarek Z., 1978, *Zasoby wodne Polski i zasady ich racjonalnego użytkowania*, Nauka Polska, 8.
- Kačjugin E.G., 1975, *Geologičeskoje izučjenje dinamiki beregov vodohranilisc*, Nauka, Moskva.
- Kajak Z., 1998, *Hydrologia-limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*, PWN, Warszawa.
- Kaniecki A., 1997, *Wpływ XIX-wiecznych melioracji na zmiany poziomu wód*, [w:] *Wpływ antropopresji na jeziora*, Wyd. Homini, Poznań, s. 67–71.
- Kieraś W., Majka J., Racinowski R., 1973, *Próba określenia ilościowej charakterystyki abrazji na zbiorniku solińskim*, Gospodarka Wodna, 4, s. 129–131.
- Kirk R.M., Komar P.D., Allan J.C., Stephenson W.J., 2000, *Shoreline Erosion on Lake Hawea, New Zeland, Caused by High Lake levels and Storm-Wave Run up*, Journal of Coastal Research, 16, 2, s. 346–356.
- Kondracki J., 1994, *Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne*, PWN, Warszawa, 340 ss.
- Korolec H., 1968, *Procesy brzegowe i zmiany linii brzegowej Jeziora Mikołajskiego*, Prace Geogr. IGPAN, 73, 68 ss.
- Korwin M., 1968, *Dawne zbiorniki wodne w Polsce*, Gospodarka Wodna, 8, s. 286–290.
- Kostecki M., 1975, *Wstępne obserwacje nad transformacją brzegów zbiornika w Tresnej*, Gospodarka Wodna, 4, s. 114–145.
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., 1983, *Uwarunkowania współczesnych procesów morfogenetycznych modelujących wybrzeże klifowe – w oparciu o cykl obserwacyjny 1982/83*, Spraw. Pozn. TPN 1983 (dr.1985), 101, s. 41–48.

- 1984, *Kartowanie morfologiczne współczesnego systemu denudacyjnego wybrzeży klifowych wyspy Wolin; propozycja sygnatury*, Spraw. Pozn. TPN 1984 (dr.1986), 103, s. 49–52.
 - 1985a, *Morfosystem wybrzeży klifowych wyspy Wolin /uwagi metodyczne/*, Spraw. Pozn. TPN 1985 (dr.1987), 104, s. 72–75.
 - 1985b, *Zróżnicowanie ruchów masowych i form z nimi związanych na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin /propozycja klasyfikacji/*, Spraw. Pozn. TPN 1985 (dr.1987), 104, s. 75–79.
 - 1985c, *Formy erozyjnej i akumulacyjnej działalności wód na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin / propozycja klasyfikacji/*, Spraw. Pozn. TPN 1985 (dr.1987), 104, s. 72–75.
 - 1988, *Morphodynamics of the cliffed coast, Wolin Island*, Geographia Polonica, 55, s. 69–81.
 - 1998, *Wpływ sztormów na rzeźbę wybrzeża klifowego wyspy Wolin*, [w:] Pękala Kazimierz (red.), *Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce – stan aktualny i perspektywy*, IV Zjazd Geomorfologów Polskich, Lublin, 3–6 czerwca 1998 roku. Referaty i komunikaty, s. 129–132.
- Kowalczak P., 2002, *Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji dla województwa zachodniopomorskiego*, IMiGW, Warszawa, 111 ss.
- Kowalczak P., Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kuźnicka M., Mager P., 1997, *Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji*, Materiały badawcze IMiGW, Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, 19, Warszawa.
- Kowalczak P., Sziwa R., 1987, *Zasoby wodne jezior projektowanego systemu wodno-gospodarczego górnej Noteci*, Gospodarka Wodna, 2, s. 29–30.
- Kowalewski Z., 2003, *Wpływ retencionowania wód powierzchniowych na bilans wodny małych zlewni rolniczych*, IMUZ, Falenty, 126 ss.
- 2004, *Realizacja programów rozwoju małej retencji w polsce w latach 1997–2003*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 502, Inżynieria Środowiska, XIII, Wrocław, s. 195–210.
- Kowalewski Z., Mioduszewski W., Bury C., 2002, *Stan realizacji programu rozwoju małej retencji*, Gospodarka Wodna, 12, s. 506–511.
- Kurowski L., 2002a, *Formy osadu w strefie zmywu i najplytszego przybrzeża na przykładzie wybrzeża Bałtyku między Mrzeżynem i Dźwirzynem*, Przegł. Geol., 50, 5, s. 458–462.
- 2002b, *Wpływ dynamiki falowania na zmiany w strefie plaży zewnętrznej na przykładzie wybrzeża Bałtyku między Mrzeżynem a Dźwirzynem*, Przegł. Geol., 50, 11, s.1115–1118.
- Lambor J., 1962, *Gospodarka Wodna na zbiornikach retencyjnych*, Arkady, Warszawa.
- Lavalle P.D., Lakhan V.C., 2000, *An assessment of Lake-Level Fluctuations on the Beach and Shoreline Changes*, Coastal Management, 28, s. 161–173.
- Ledeer M.R., 1986, *Sedimentologija, Prociessy i Produkty*, Mir, Moskwa, s. 429, *org. Sedimentology, Process and Product*, 1986, George Allen & Unwin, Londo, Boston, Sydney.
- Leontiew O.K., Nikiforow L.G., Safjanow G.A., 1982, *Geomorfologia brzegów morskich*, Wyd. Geol., Warszawa.

- Levkevič V.E., Lopuch P.S., 2003, *Koncieptualnyje i teoretičeskije osnovy sovremiennych beregovych processov na vodoemach Belarusi*, [w:] *Teoretičeskije i prikladnye problemy sovremennoj limnologii*, Materiały Międzynarodnej naučno-praktyčeskoj konferencii, Izdatelskij čentr BGU, Minsk, s. 111–121.
- Listkowska H., 1989, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- 1991, *Objaśnienia do Szczegółowej mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Pakość*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Lopuch P.S., 2002, *Zakonomernosti razvitia prirody vodojemov zamedlennogo vodoobmiena, ich ispolzovanie i ochrana*, Bieloruskij Gosudarstviennyj Universitet, 321 ss.
- Majde A., Niepokulczycki M., 1972, *Fotogrametryczny pomiar skutków abrazji na zbiornikach śródlądowych*, *Gospodarka Wodna*, 1, s. 11–16.
- Mapa topograficzna 1:5 000, Jezioro Pakoskie*, 1956, Poznańskie Okręgowe Przedsiębiorstwo Kartograficzne, Arkusze 1–9, Archiwum Inspektoratu Eksploatacji Wód ODGW w Bydgoszczy.
- Marsz A., 1971, *Zmiany linii brzegowej Jeziora Komorze (Pojezierze Drawskie)*, *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, s. 187–196.
- Michalczyk Z., Wilgat T., 1998, *Stosunki wodne Lubelszczyzny*, UMCS, Lublin.
- Mroczek J., Ślusarczyk U., Waclawski M., 1984, *Charakterystyka abrazji brzegów zbiornika Żywieckiego po 10 latach eksploatacji*, *Czasopismo Techniczne*, 84, 3, s. 5–11.
- Mycielska-Dowgiałło E., 1995, *Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna*, [w:] E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.), *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*, WGiSR UW, Warszawa, s. 31–103.
- Niedźwiedz T., Cebulak E., 1994, *Opady atmosferyczne*, [w:] M. Najgrakowski (red.), *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, 31, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Niedźwiedz T., Paszyński J., Czekiera D., 1994, *Wiatry*, [w:] M. Najgrakowski (red.), *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, 31, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Niewiarowski W., 1955, *Geomorfologiczna Mapa Polski, Arkusz Broniewice, Skala 1:25 000*, Rękopis, Zakład Geomorfologii i Hydrologii Niżu, IG i PZ PAN, Toruń. V/121/1.
- Niewiarowski W., 1976, *Wahania poziomu wód w jeziorze Pakoskim w świetle badań geomorfologicznych i archeologicznych*, [w:] R. Galon (red.), *Problemy geografii fizycznej*, Stud. Soc. Scien. Torunensis, s. 193–211.
- Nowaczyk B., 1994, *Krótkoterminowe wahania poziomu jezior i ich efekty morfologiczne*, *Geomorfologia i osady strefy litoralnej jezior, warsztaty terenowe*, Charzykowy, 6–10 września 1994, UAM, Poznań, s. 55–56.
- 1998, *Struktura osadów budujących formy limnoglacialne, terasy jeziorne oraz wały brzegowe i jej wymowa pelegraficzna*, [w:] E. Mycielska-Dowgiałło (red.), *Struktury sedymentacyjne i postsedymentacyjne w osadach czwartorzędowych i ich wartość interpretacyjna*, UW, Warszawa, s. 261–281.

- Okulanis E., 1981, *Studium limnologiczne Jezior Raduńsko-Ostrzyckich*, GTN, Gdańsk
- Otvos E.G., 2000, *Beach ridges – definitions and significance*, *Geomorphology*, 32, s. 83–108.
- Ovčinnikov G.I., 1996, *Wpływ procesów abrazyjnych na rozwój strefy przybrzeżnej zbiorników wodnych angarskiej kaskady elektrowni wodnych*, [w:] *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych*, 23. WBiOŚ UŚ, WNoZ UŚ, Katowice–Sosnowiec, s. 38–42.
- 1999, *Nekotoryje zakonomosti razvitija beregovoj zony Angarskich vodochranilisć*, [w:] O.V. Kašmienskaja (red.), *Berega morej i vnutrien-nych vodojemov. Aktualnye problemiologii, geomorfologii i dinamiki*, Izdatielstvo SO RAN, Naučno-Izdatelskij Centr OIGGM, Novosibirsk, s. 124–138.
- 2003, *Dinamika beregovoj zony Angarskich vodochranilisć*, Avtoreferat, Irkuck, 50 ss.
- Ovcinnikov G.I., Karnauchova G.A., 1985, *Pribrježnyje nanosy i donnyje otłożenija Bratskogo vodochranilisca*, Nauka, Novosybirsk, 68 ss.
- Ovcinnikov G.I., Makarov S.A., Akułova V.V., Rjaščjenko T.G., 1992, *Abrazionno-erozionnyje procesy i prosadočnyje deformacii v l Jessovidnych porodach technogjennyh zon*, *Geografija i prirodnyje resursy*, 4, s. 79–86.
- Ovcinnikov G.I., Trzcinskij J.B., Pavlov S. H., 1997, *Ecological problems in the area of the man-made ponds of the Angara Cascade Hydroelectric Stations*, *Engineering Geology and the Environment*, s. 2825–2830.
- Ovcinnikov G.I., Trzcinskij J.D., Rzętała M., Rzętała M., 2002, *Abrazjonno-akumulativnyje procesy v beregovoj zone vodochranilisć (na primere jużnogo priangarja i sileskoj vozvysennosti)*, UŚ WNoZ, RAN Sibirskoje Otdelenie Instytut Zemnoj Kory, Sosnowiec–Irkuck.
- Pietrucień Cz., 1976, *Udział czynników naturalnych i antropogenicznych w kształtowaniu wybranych elementów fizykochemicznych wód Jeziora Pakoskiego i Noteci*, *Stud. Soc. Scien. Torun, Toruń–Polonia*, 8, C, 4–6, s. 231–241.
- 1983, *Osobliwości hydrologiczne zbiornika Pakoskiego*, *Przewodnik Wycieczek Zjazdu Geografów Polskich*, Toruń, 15–18 września 1983, UMK, Toruń, s. 128–132.
- Piętrzenie jeziora Pakość, stadium I. Plan zagospodarowania przestrzennego otoczenia piętrzonego jeziora Pakość*, 1956, oprac J. Smagorzewski, *Archiwum Janikowskich Zakładów Sodowych w Janikowie*, nr arch. 1543/56.
- Prieto G.F.J., 1995, *Shoreline forms and deposits in Gallocanta Lake (NE Spain)*, *Geomorphology*, 11, s. 323–335.
- Pociask-Karteczka J., 1997, *Wody*, [w:] *Polska, Encyklopedia Geograficzna Świata*, Opress, Kraków, s. 83–102.
- Racinowski R., Szczypek T., 1985, *Prezentacja i interpretacja wyników badań uziarnienia osadów czwartorzędowych*, UŚ Katowice, 143 ss.

- Rydzik E., 1978, *Przyczyny i formy niszczenia brzegów zbiornika solińskiego*, Gospodarka Wodna, 2, s. 47–52.
- Rzętała M.A., 2003, *Procesy brzegowe i osady denne wybranych zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (na przykładzie Wyżyny Śląskiej i jej obrzeży)*, Uniwersytet Śląski, Katowice, 147 ss.
- Skarżyńska K., 1963, *Gopło – centrum hydrograficzne Polski przed wiekami*, Przegl. Geogr., 8, 3, s. 189–201.
- Sinkiewicz M., 1980, *Próba wykorzystania zdjęć lotniczych w badaniach form i procesów denudacyjnych w okolicach Jeziora Pakoskiego*, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego, 132, Katowice, s. 12–19.
- Spanila T., 1994, *Effect of human activities on the abrasion and sliding progress at waterwork Nechranice*, Proceedings Seven International Congress International Association of Engineering Geology, 5–9 September 1994, Lisbona, Portugal, (ed.) R. Oliveira and all, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, s. 2687–2692.
- 1996, *Landslides and abrasion processes on the shoreline of the water reservoir Nechranice*, Landslides Glissements de terrain, (ed.) K. Senneset, A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, s. 579–583.
- 1998, *Geodynamical processes on the banks of the water reservoir Nechranice*, Proceedings of the Workshop: Geodynamical Hazards Associated with Large Dams, s. 219–225.
- Spanila T., Simeonova G., 1993, *Bank deformations on some water reservoirs in Bulgaria and Czechoslovakia*, Acta Montana IGT AS CR, Ser. A, 4 (90), s. 93–110.
- Stachy J., Biernat B., 1994, *Średni odpływ jednostkowy*, [w:] Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, Wody, 32, PPWK, Warszawa.
- Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski*, 1996, Zieliński, Słota [red.], Materiały badawcze, Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, 20, IM i GW, Warszawa–Kraków, 52 ss.
- Stopień wodny i węzeł hydrotechniczny. Szczegółowy plan zagospodarowania terenu inwestycji. Zagospodarowanie terenu, drogi, zieleni*, 1971, CBS i PBW Hydroprojekt, Oddział Poznań, Archiwum Zakładów Sodowych Janikosoda S.A., Janikowo, 170P.
- Subotowicz W., Janta A., 1998, *Brzegi morskie, Trasa dydaktyczna*, Nadmorski Park Krajobrazowy Gdańsk, 21 ss.
- Szupryczyński J., 1981, *Wpływ zbiornika wodnego we Włocławku na środowisko geograficzne doliny dolnej Wisły*, Przegl. Geogr., 53, 1, s. 155–164.
- 1986, *Wpływ włocławskiego zbiornika wodnego na środowisko geograficzne*, Dokum. Geogr., 5, s. 7–22.
- Širokov V.M., Lopuch P.S., Levkevič V.E., 1992, *Formirovanie beregov malych vodochranilisc lesnoj zony*, Gidrometeoizdat, Sankt-Petersburg, 161 ss.
- Tavast E., Raukas A., 2002, *Rapid changes on the coast of lake Peipsi and their environmental cosequences*, Environmental Geology, 42, s. 750–756.
- Tłuścik W., 1971, *Morfologia rynnny jeziora pakoskiego*, Maszynopis pracy magisterskiej, Instytut Geografii UMK, Toruń, 368/71.
- Trzcinskij J.D., 1976, *Formirovanije beregov angarskich vodohranilisc. Metodika izucienija i prognoza*, Izdatielstvo Nauka, Sibirskoje otdjeljenje, Novosibirsk, 72 ss.

- Wika S., Ovčinnikov G.I., Trzcinskij J.B., Tyc A., Szczypek, 2000, *Razvitie prirodných processov na beregach Bratskogo vodochranilišča*, RAN, Sibirskoe otdelenie, Instytut Zemnoj Kory, Irkuck, 72 ss.
- Wiśniewski B., 1966, *Badania dynamiki jezior i zbiorników wodnych przeprowadzone przez IGW w 1964 r.*, *Gospodarka Wodna*, 2, s. 77–78.
- Woś A., 1993, *Regiony klimatyczne Polski w świetle częstości występowania różnych typów pogody*, *Zeszyty IGiPZ PAN*, 20.
- 1994a, *Regiony klimatyczne*, [w:] *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, Typy pogody, regiony klimatyczne*, *Klimat*, 31, PPWK, Warszawa.
- 1994b, *Klimat Niziny Wielkopolskiej*, UAM, Poznań, 192 ss.
- 1999, *Klimat Polski*, PWN, Warszawa, 302 ss.
- Wójcik G., Marciniak K., 1987, *Stosunki termiczne środkowej części Polski Północnej w latach 1951–1970*, *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia XX, Nauki Przyrodnicze*, 66, s. 29–50.
- Wójcik G., Tomaszewski W., 1987, *Opady atmosferyczne w środkowej części Polski Północnej*, *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia XX, Nauki Przyrodnicze*, 66, s. 51–69.
- Zenkovič V. P., 1962, *Osnovy ucienia o razviti morskich beregov*, AN SSSR, 710 ss.
- Zieliński T., 1995, *Kod litofacjalny i litogenetyczny – konstrukcja i zastosowanie*, [w:] E. Mycielska-Dowgiało, J. Rutkowski (red.), *Badania osadów czwartorzędowych, Wybrane metody i interpretacja wyników*, WGiSR UW, Warszawa, s. 220–234.
- Ziętara T., 1992, *Wstępne wyniki badań i prognozy dotyczące przebiegu niszczenia brzegów zbiornika w Dobczycach*, *Rocznik Naukowo-Dydaktyczny*, 151, *Prace Geogr.*, 14, Wyd. WSP Kraków, s. 95 – 107.

THE EVOLUTION OF THE PAKOŚĆ RESERVOIR SHORE ZONE (GNIEZNO LAKELAND)

Summary

Introduction

Little interest of researchers in the shore zones of artificial lowland middle-sized water reservoirs characterized by high fluctuations of the water level within a year induced the author to commence research in that scope on the Pakość Reservoir. Apart from the exploitation method, another crucial argument for the choice of the object is its genesis. It was created in 1975 as a result of the 4.5-metre accumulation of water in two lakes functioning since the late glacial (Niewiarowski 1976). It is also the biggest lake-type reservoir in Poland (Gołdyn 1990). The scale of changes on the reservoir turned the natural lake-like body of water into artificial one. The reservoir has not been the object of detailed geomorphologic research yet.

Aim, scope and methods of work

The aim of this work is a qualitative and quantitative description of the shore zone transformations on the Pakość Reservoir after nearly 30 years of its functioning and the attempt of forming, basing upon the results, the development schema of an artificial lowland middle-sized retention reservoir with high fluctuations of the water level within a year including its lake genesis.

Shore zone is the area extending from the edge of water cliff or marking the maximum wave range of the accumulation form to the foot of the shore platform bend, called also the shore shallowness.

I did the research in 1998–2003 which embraces the whole, nearly 50 kilometre-long shore zone of the Pakość Reservoir including its neighbourhood within a radius of 3–4 kilometres.

The recognition of the features of the primeval, still undergoing transformations, shore zone has been based upon rich archival materials. Among the most precious ones are: multi-scale topographic, geological, geomorphologic and hydrologic inter-war and postwar maps; situational plans of the neighbouring surrounding of accumulated lakes; panchromatic plane photos; batimetric lake plans and archival geological documentations.

Publications concerning the Pakość Lakes in terms of geomorphology (Bartkowski 1962; Tłuścik 1971; Sinkiewicz 1980) and hydrology (Pietrucień 1976, 1983) constitute an important supplement to the mentioned above materials. Yet, the most important of those is the work by W. Niewiarowski (1976) treating about water fluctuation problems in the Pakość Lake since its formation up to the accumulation with reference to the geomorphology of a neighbouring surrounding.

Systematic plein-air works commenced in 1999 and continued till November 2003. During those works standard research methods were employed, the most important of which is the geomorphologic charting involving hand drills, digs, shafts and geodesist measurements of the shore zone in cross sections. In the underwater part the

works were supplemented by boat probes including the collection of deposit samples by means of the Eckman-Bridge dipper. The collected sediments underwent the grain analysis according to the standard sieve method (Mycielska-Dowgiałło 1995) and graphic grain indices (grain diameter, standard deviation, inclination) have been determined.

In the conducted research a crucial role of indexing was played by numerous tree trunks which preserved in the shore zone after tree cutting during the reservoir spherical cap preparation. The tree trunks, which remain in their primeval position, enable to reconstruct the transformed surface and indicate the direction of occurring processes.

The materials achieved as a result of plain-air works, supplemented with a textural analysis of surface sediment tests together with archival materials have become the basis for further analyses heading for the cognition of the fundamental characteristics and development directions of the Pakość Reservoir shore zone and the influence of its lake past on processes which occur at present.

The Pakość Reservoir and its neighbourhood characterization

Parameters and location

The Pakość Reservoir was created on the West Noteć in 1975 as a result of the 4,5 metre-accumulation of waters in two lakes, the dichotomic Pakość Lake: the Northern (2.85 km²) and the Southern (4.65 km²); and not large lying to the south at a distance of over 2 km, the Bronislawski Lake (0.41 km²). This is a middle-sized reservoir with a capacity of 86.5 mln m³ (over 110%-growth of the capacity as a result of the accumulation) and 13.0 km² -area (only 8.1 km² before the accumulation). Other reservoir parameters are; length: 20.1 km, depth: average 9.2 m, max 18.7 m and width: average 0.74 km, max 2 km. The reservoir is divided by means of artificial dykes into four separate parts with a free water exchange. Both the entire reservoir as well as its individual parts have a long character.

The reservoir is located within a subglacial gutter which runs in a meridian direction dividing the Kujawska Highland (90–93 m above sea level) and the Gnieznien-ska Highland (110–120 m above sea level) (Niewiarowski 1976). The gutter is an asymmetric form with the axle moved into the eastern direction, which conditions significant differences in the slope inclinations as well as the depths accompanying the shore zone. Furthermore, in the reservoir basin morphology two depths are marked: in the northern – 18.1 m and middle reservoir part – 18.7 m.

In the reservoir shore zone dominate solid dust and sand clays, changing locally into clay sands. These forms are usually separated by means of sand series. Moreover, peats thick from a dozen centimetres within flooded terrace levels up to 2.5–4.0 metres on a former Noteć flood lowland and locally up to 4.5 metres where ground waters flow out are found in the southern part and also locally along the entire reservoir in its direct surrounding.

Overwater gutter slopes are cut by means of a dozen metre to over 2 km-long and 50 to 300 metre-wide denudation-erosive valleys, often used by period or constant bodies of water.

Within the reservoir shore zone there are trees and bushes which have been planted directly above the reservoir accumulation level before the reservoir formation. From the reservoir side the plants are accompanied by self-sown bushes. The strip is flooded at higher water levels and its draught exceeds 1 metre. The vegetation is an important factor which governs the processes that occur on the shore zone. On one hand it limits the abrasion pace of shores by means of root system and as a result of wave energy deadening on immersed trees and bushes; and on the other it favours the creation of accumulation forms in a direct contact with them.

Fluctuations of water levels

The retentive and anti-flooding functions of the Pakość Reservoir condition huge water level fluctuations within a year (fig. 3). In winter-spring season thaw water accumulation takes place, in summer-autumn, however, water shedding occurs. Water levels, both during the accumulation and shedding, change monotonously, from 1 to 3 cm a day. Within a year course no longer periods of the same water level is observed.

The exploitation manual of the reservoir allows for water level amplitudes up to 3.9 m, within the range from 75.5 m above sea level that is 0.6 m above maximum water levels which occurs on lakes before their accumulation to 79.4 m above sea level.

On average, in the entire exploitation period of the reservoir, that is in 1975–2003, annual water level amplitudes amounted at 2.4 m and balanced between 0.65 m in 1993 and 3.59 m in 1980. The most common were average water levels within the range from 76.4 up to 76.9 m above sea level, which constituted 24% of all observed day water levels. In this range, thus, takes place the most intensive transformation of the reservoir shore zone. At maximum water level amplitudes the reservoir area decreases about 4.7 km² that is 36%, which means that 1/3 of the reservoir spherical cap might be flooded and drained periodically.

During plain-air works the reservoir accumulation level varied from 75.57 m above sea level (Sept 2003) to 79.04 m above sea level (May 1999), annual amplitudes oscillated from 1.90 m to 2.84 m. Such a big range of water level fluctuation enabled to analyse the shore zone formation processes in small as well as in big active cliff material supply periods. Furthermore, low levels close to absolute acceptable minimal values allowed to perform detailed research of a large, periodically drained, shore platform part and of accumulation forms which are present there.

The natural water level of the Pakość Lakes before their accumulation amounted at about 75 m above sea level and oscillated at around 0.5 m. Lakes within a gutter with a similar water level functioned since the Younger Dryas i.e. 10.5 ka BP. In their holocen history three periods of higher water level position have been distinguished: 1) the end of subboreal period (about 5 ka BP) with water level at 79–80 m above sea level, 2) the turn of I cent. BC and I cent. AD – with water level at 79–80 m above sea level or perhaps 81 m above sea level and 3) since the end of XI till the half of XIX cent. – when after low water level during the medieval period waters raised up to 77.5–78.0 m above sea level (Niewiarowski 1976). The Noteć Canal digging in 1774 and drainage works in the half of XIX cent. on the Kujawy led to the decline of water level of the lakes located in this area of about 2.5 m (Skarzyńska 1963).

The reservoir shore zone – the typology of shores

In the shore zone research of the Pakość Reservoir, I applied the classification which bases upon the genetic criterion (Drwal, Gołębiowski 1964; Banach 1988, 1994; Ovcennikov 1996; Horsky, Spanilř 1997). The character of the transformed shore fragment was considered as a whole as the resultant of processes occurring at high as well as low water levels.

Five types of shores have been distinguished (tab. 7, fig. 8):

1. *abrasive* shore – the shore fragment in which we can observe a sediment loss in the higher part of the shore platform in a full cycle of the reservoir work; most often a gravel-stone residuum is present on its surface or there is the lack of any sediments at all. Because of a great diversity the abrasive shore has been divided further into four classes, depending on the height of the accompanying cliff: a) below 0.5 m; b) 0.5–1.0 m; c) 1.0–1.5 m and d) above 1.5 m. Within the highest cliff fragments rock falls and rockslides are common.

2. *accumulation* shore – the shore fragment where on the shore platform, which is uncovered at low water levels, occur accumulated sediments, mainly sand-gravel. The sediments assume the character of various accumulation forms, partly fixed by plants.

3. *neutral* shore – the shore fragments where no lasting symptoms of abrasion processes or accumulation have been observed.

4. *biogenic* shore – the shore fragments which are covered with plants, mainly the reed (*Phragmites communis*) and broadleaf cattail (*Typha latifolia*);

5. *reinforced* shore – stone, fibre and fascine fortifications have been used here (almost entirely damaged at present)

At present 81% of the unreinforced shore length is active on the Pakość Reservoir i.e. accumulation (20,4%) or abrasive (60,6%), yet the right shore is definitely more transformed than the left one, respectively 88% and 73% of active shores. The shore stability index i.e. the relation of the accumulation sections to abrasive ones is 0,34.

Double charting of the reservoir shores with a 4-year interval (1999 and 2003) has not shown any changes in the individual shore fragments. Both in the first as well as in the second period of research the summary length of the individual shore types was the same.

Shore platform

At present two types of shore platforms are found on the Pakość Reservoir:

– **accumulation**, which spreads along 20% of the reservoir uninforced shore length; the amount of supplied and accumulated material on its surface outnumbers its loss; accumulation forms are often associated with it;

– **abrasive-accumulation**, occupying 60% of the reservoir uninforced shore length (fig. 9).

The Pakość Reservoir shore platform is relatively narrow and steep. It is 21–55 m wide and inclined in the range 2°30'–8°30'. The narrowest and steepest part, 6°–8°, spreads along abrasive near-depth shore fragments within solid sand clay which are accompanied by a high cliff. Wider and slightly gentler platform, 3°–7°, most often

5°, accompanies abrasive low shores which fall in the reservoir direction. Yet, the gentlest with 2°30'–3° inclination lies along accumulation and neutral shore sections where it is from 27 up to 54- metre wide.

Both in the Pakość Reservoir shore platform morphology as well as in the surface sediment distribution two levels, which are divided by means of one-metre step, are marked (fig. 9). The higher, wider and more inclined level spreads from the maximum water line range or from the active cliff foot, most often shaped at 78.8 m above sea level to 76.0–75.5 m above sea level i.e. the zone of minimum water levels which occur on the reservoir. It is contemporary, genetically associated with the functioning reservoir, the shore platform part. The lower level, on the other hand, is visibly narrower and gentler, marked below 74.9 m above sea level i.e. the ordinate at which the level of the lakes oscillated before their accumulation up to about 73 m above sea level where it moves in the lake basin zone. It is the remnant of the lake old sunken shore platform, partly covered with the sediments of a new-forming shore platform and incorporated within it.

The surface of a periodically drained shore platform fragment is varied by steps up to 0.5 m high. Their genesis is connected with significant water level changes which are accompanied by periodic growths of wave intensity. The steps originate on their mother basis as well as on the reservoir accumulated sediments. In first case they constitute relatively constant element of the shore platform morphology, in second, on the other hand, they are often washed out in the following reservoir water accumulation phase.

On the reservoir shore platform surface dominate sand sediments with the grain average diameter estimated at 0.1–1 mm, most often 0.2–0.4 mm, weak and very weak selection (standard deviation δ , 0,5–2,0 phi) and varied, mainly negative, inclination. The grain average diameter decreases along the reservoir.

In the distribution of sediments their change is visibly marked depending upon the reservoir water levels and its exploitation phase cycle. In fresh cliff material supply or mother basis washout periods occurs material crumbling and selection deterioration. In preceding periods, however, occurs material thickening and selection improvement as a result of the fraction of most mobile medium and fine-grain sands.

In the higher shore platform sediments two material thickening zones are marked which lie in a dynamic spatial arrangement situated from each other at a distance of 10–15 m. They are the equivalent of the inter-embankment lowerings that are observed on big reservoirs characterized by significant water level fluctuations (Habidov 1999). Furthermore, below the bend of the contemporary shore platform occurs thicker material, better selected, probably associated with the old sunken shore platform of the lakes.

In the neighbouring shore platform cross sections huge differences of surface sediment granulometrics are present, which implies the domination of the crosswise direction of the sediments' movement. That direction is characteristic of the initial stage of the shore zone development.

The shore platform develops in, both, vertical and horizontal direction. The abrasive part of the Pakość Reservoir shore platform, after 28 years of its functioning, at a distance of about 15–20 m from the present cliff foot, lowered about 0,4–0,8 m in

relation to its primeval position. At present the pace of the cliff reverse estimates at 0.05–0.45 m a year. The vertical changes within the shore platform in the research period i.e. 1999–2003, in one reservoir work cycle estimated at 0.1–0.15 m in the accumulation part to only 2–3 cm in the abrasive part. The active edge of the cliff after 28 years of the reservoir's functioning lowered minimum 12–35 m. The lowest linear values occur along the near-depth shore in Kołuda Mala accompanied by about 5-metre high cliff. The average pace of the cliff reverse in the considered period estimated at 0.43 m a year. The highest values, on the other hand, have been recorded along the near-shallow shore accompanied by only 0.4-metre high cliff, which has moved 35 metres back. The average pace of its reverse estimated here at as much as 1.25 a year!

In the research period, i.e. 1999–2003, the cliff reverse pace in individual seasons estimated at 0–1.1 m. The average pace of the active cliff's reverse in individual sections estimated at from 0.05 up to 0.46 m a year. The biggest transformations occur in the early spring period when the frost aeration influence is present.

Abrasive shore – the development scheme

Depending on the primeval slope inclination and associate depths as well as the cliff height the Pakość Reservoir abrasive shore development has been included in two basic schemes.

Scheme 1. The development of the near-shallow abrasive shore, which is covered with turf and has the inclination no higher than 2–3° and a 0.3–0.6-metre high active cliff, comprises three stages:

1. Division of the cliff into narrow up to 1-metre long passes;
2. Transformation of the passes into little bays, and the dividing them shore fragments turn into narrow capes which are linked with the mother shore by means of a few-centimetre passes;
3. Remaining 1–1.5-metre wide and equally long capes tear off the mother shore on the entire height of the cliff, which leads to the formation of not big abrasive monadnocks. Rarely the capes might as well undergo a slow washout. This leads to the shore line flattening and closure of one development cycle. At the same time the abrasion intensity increases on a directly adjacent shore fragment which kept its convex, rarely straightforward shape.

The entire cycle lasts from a dozen weeks up to a few years.

Scheme 2. The transformation of high near-depth abrasive shores which are covered with turf and have the inclination higher than 15° includes five stages:

1. Introductory, at the slope basis, a 0.2–0.3-metre cliff, often in the form of an abrasive niche with a bush or tree root system ceiling, originates on the water line,
2. Local intensification of the abrasion intensity of shore fragments without any trees or bushes
3. Formation of 10–30 metre-long and 5–15-metre wide abrasive niches with a 0.5–1.5-metre high cliff surrounded by numerous rock falls;
4. Merger of neighbouring niches which leads to the shore line flattening and a successive increase of the active cliff height till its crown reaches the subglacial gutter edge;

5. Development of the active cliff whose crown crosses the subglacial gutter edge, which is accompanied by bigger and bigger mass movement of rockslides and rock falls.

Accumulation forms

Basing my research upon morphogenetic features and following present classifications which apply for sea shore forms (Zenkovič 1962) and artificial water reservoir with low water level fluctuations (Sirokov, Lopuch, Levkevič 1992), I divided the accumulation forms on the Pakość Reservoir into three groups:

1. Congruent, within which a beach, free and forced accumulation capes of unilateral and bilateral power, shore line dent fillings and pour-offs have been distinguished.
2. Free, including a great variety of multiscale scythes.
3. Closing, involving merely one sandbar formed on that reservoir (fig. 18).

Within the Pakość Reservoir shore zone during one work cycle co-exist and develop accumulation forms with various size and duration, from very simple little ones having a seasonal character to permanent multi-stage forms which are partly fixed by plants occupying the area bigger than a few hundred square metres. High water level fluctuations especially their lowering phase leads to washout and inflow movement on the shore platform which conditions the multi-stage form accumulation development and form accumulation overgrowth on lower and lower ordinates. Bigger forms often involve genetically various smaller forms. Most visibly the morphological results of that migration are present in case of a beach, which comprises a few, usually 5–6, or even sometimes 10–12, parallel beach embankments, very often separated by means of not big lagoons periodically or constantly filled with water (fig. 19). On the shore fragments where there is not always enough material on the shore platform surface, individual embankments lie at a distance of a few metres from one another. In such cases the beach loses its uniform character. The morphological image of the Pakość Reservoir beach resembles forms that are observed on sea shores in the tide zone (Otvos 2000), or on lakes with the water level which was raised in the past.

Also, lowering water level in the reservoir leads to the „stretching” of accumulation forms along the shore platform. As a result, contrary to accumulation forms present on reservoirs with low water level fluctuations, the flesh of building them sediments does not always increase, and sometimes even decreases in the water line direction.

Accumulation forms occur on the entire drained part of the shore platform, mainly at the level of most frequent water levels i.e. 76.3–76.9 m above sea level. They definitely occur more frequently along near-shallow than near-depth shores.

Seasonal small forms are present under different morphological circumstances. Big forms, however, remaining in individual seasons occur on the shore line curves which divide the abrasive shore fragments.

The domination of periodical forms over constant ones and the presence of merely one closing form implies the beginning stage of the shore zone development.

Conclusions

1. Within the reservoir shore zone five genetic shore types have been distinguished: abrasive, accumulation, neutral, biogenic and reinforced.
2. After nearly 30 years of the reservoir exploitation over 80% of the length of the natural shores is active.
3. Double charting of the reservoir shore zone repeated after a 4-year interval has shown the constancy of the type of shore zone formation processes which occur on individual sections.
4. Along 60% of the reservoir natural shores the shore platform develops in an abrasive-accumulation type. More rarely, along 20% of the uninforced shore, the shore platform develops in an accumulation type.
5. Both in the relief and sediments of the platform the old shore zone fragments of the lakes have been preserved.
6. The active cliff edge after 28 years of the Pakość Reservoir functioning moved 12–35 m back (0.43–1.25 a year). In 1999–2003 the reverse pace estimated at 0.005 up to 0.46 m a year and in individual years it varied from 0 to 1.1 m. The upper, inner shore platform part during the entire function period of the reservoir, at a distance of 15–20 m from the active cliff foot has lowered about 0.4–0.8 m. Vertical changes within the shore platform in one-year full exploitation work cycle of the reservoir estimate at 0.1–0.15 m in the accumulation part to only 2–3 cm in the abrasive part.

Translated by: Ewa Krzyżanowska

Adres autora:

Halina Grobelska

Zakład Geomorfologii i Hydrologii Nizów w Toruniu, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. Kopernika 19, 87–100 Toruń

E.mail: halina.grobelska@geopan.torun.pl

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, Polskiej Akademii Nauk, wydaje następujące publikacje seryjne:

- Geographia Polonica,
- Prace Geograficzne,
- Przegląd Geograficzny,
- Dokumentacja Geograficzna,
- Europa XXI,
- Geopolitical Studies,
- Bibliografia Geografii Polskiej,
- Atlas Warszawy,

oraz *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej* (1995), *Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce* (2000).

MONOGRAFIE

- 1 – T. Kozłowska-Szczęśna, K. Błażejczyk, B. Krawczyk, 1997, *Bioklimatologia człowieka*.
- 2 – L. Starkcl, 2001, *Historia Doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś*.
- 3 – T. Kozłowska-Szczęśna, K. Błażejczyk, B. Krawczyk, D. Limanówka, 2002, *Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie*.
- 4 – T. Kozłowska-Szczęśna, B. Krawczyk, M. Kuchcik, 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*.

ATLAS WARSZAWY

- 1 – Węclawowicz G., Jarosz A., 1993, *Struktury demograficzne i gospodarstw domowych*.
- 2 – Węclawowicz G., Księżak J., 1994, *Struktury wykształcenia i zatrudnienia ludności w świetle Narodowego Spisu Powszechnego 1988*.
- 3 – Węclawowicz G., Jarosz A., 1995, *Warunki mieszkaniowe ludności w świetle Narodowego Spisu Powszechnego 1988*.
- 4 – Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1996, *Środowisko fizyczno-geograficzne – niektóre zagadnienia*.
- 5 – Węclawowicz G., Jarosz A., Śleszyński P., 1998, *Wybory parlamentarne 1991 i 1993*.
- 6 – Misztal S., 1998, *Przekształcenia struktury przemysłu Warszawy*.
- 7 – Potrykowska A., Śleszyński P., 1999, *Migracje wewnętrzne w Warszawie i województwie warszawskim*.
- 8 – Luniak M., Nowicki W., Kozłowski P., Plit J., 2001, *Ptaki Warszawy 1962–2000*.

Sprzedaż i prenumeratę publikacji IGiPZ PAN prowadzą księgarnie:

– Księgarnia DHN Sp. z o.o. PAN, ul. Szczęśliwicka 2/17, 02-352 Warszawa, tel./fax 22/822-98-69; tel. 22/658-15-58.

– Główna Księgarnia Naukowa im. Bolesława Prusa, ul. Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa, tel. 826-18-35.

Od stuleci człowiek, poszukując optymalnych sposobów zaspokojenia swoich potrzeb wodnych, jak i łagodzenia niekorzystnych skutków zjawisk ekstremalnych, tworzy sztuczne zbiorniki wodne. Są one jednym z podstawowych elementów systemu zarządzania zasobami wodnymi. Mimo, że powszechną uwagę najczęściej skupiają zbiorniki bardzo duże, to jednak zdecydowaną ich większość stanowią obiekty małe i bardzo małe, o pojemności nie przekraczającej kilkudziesięciu milionów metrów sześciennych. To właśnie w nich, szczególnie na obszarach o wysokim poziomie zagospodarowania terenu, coraz częściej dostrzega się istniejące rezerwy i możliwości. Wysokie koszty społeczne i ekonomiczne tworzenia zbiorników wodnych skłaniają również do wykorzystywania w tym celu jezior. Po spiętrzeniu akweny te pozornie łatwo wpisują się w naturalne otoczenie, a zmiany jakie zachodzą w ich obrębie w następstwie ingerencji człowieka rzadko są dostrzegane. Jednak czy słusznie?

W poniższej publikacji autorka zaprezentowała wyniki swoich badań nad ewolucją strefy brzegowej zbiornika pakoskiego (Polska Północno-Zachodnia), po blisko 30-letnim okresie jego eksploatacji, utworzonego na bazie jezior funkcjonujących w tym miejscu od tysięcy lat.

PL ISSN 0373-6547
ISBN 83-87954-76-4

PRACE GEOGRAFICZNE - 205