

**Mieczysław Banach**

Akademia Pomorska  
Słupsk

**Izabela Chlost**

Akademia Pomorska  
Słupsk

**Z BADAŃ NAD STRUKTURĄ I WŁAŚCIWOŚCIAMI  
OSADÓW ZBIORNIKA KRZYNIA  
RESEARCH ON STRUCTURE AND CHARACTERISTICS  
OF SEDIMENT OF KRZYNIA'S RESERVOIR**

**Zarys treści:** Na przełomie XIX i XX wieku powstała koncepcja energetycznego wykorzystania rzeki Słupi. Prace regulacyjne, zmierzające do uzyskania odpowiedniego spadku rzeki, umożliwiły wybudowanie stopni piętrzących, a następnie uruchomienie elektrowni m.in. w Gałąźni Małej, Strzegominie i Krzyni (Florek 1997). Powstałe w toku tych działań zbiorniki stanowią obecnie interesujący materiał badawczy, albowiem od momentu budowy i nieprzerwanego funkcjonowania nie były bagrowane.

Budowa zbiorników zaporowych wywołuje skutki w postaci jakościowych i ilościowych zmian procesów obiegu materii i energii w zlewni. Zmiana bazy erozyjno-denudacyjnej rzeki oraz zmniejszenie prędkości pierwotnego przepływu kształtują odmienne warunki erozji, transportu i sedymentacji materiału. Duże znaczenie dla wymienionych procesów ma także budowa geologiczna i morfologia zlewni, wpływająca na tempo i mechanizm jej transformacji.

**Słowa kluczowe:** zbiornik zaporowy, osady dennie, metale ciężkie, kaskada

**Key words:** reservoir, bottom sediments, heavy metals, river cascade

**Cel i metody pracy**

Zasadniczym celem opracowania jest określenie rodzaju i jakości deponowanego materiału w odmiennych niż naturalne warunkach środowiska depozycyjnego, jakim jest zbiornik zaporowy Krzynia, ostatni w kaskadzie Słupi. Efekt pracy stanowi mapa przestrzennego rozkładu różnorodnych frakcji powierzchniowych osadów dennych oraz rozpoznanie ich właściwości chemicznych.

Osady pobrane z powierzchniowej warstwy dna o miąższości 5-7 cm poddano analizie granulometrycznej oraz geochemicznej. Ogółem pobrano 121 prób, z czego

około 52% ze strefy brzegowej za pomocą czepaka własnej konstrukcji, resztę z otwartego akwenu czepakiem Eckmana-Birge'a oraz Eickelkampa. Analizę cech uziarnienia osadów drobnych (pyły, ily) wykonano metodą laserową, aparatem typu „Analysette-22”, natomiast osadów grubszych (piaski, żwiry) metodą sitową o wymiarach oczek 8-0,045 mm. Klasyfikację ziaren podano za instrukcją CUG-1975 (Racinowski, Szczepk 1985). W 30 spośród pobranych prób określono laboratoryjnie zawartość biogenów, materii organicznej, metali ciężkich oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

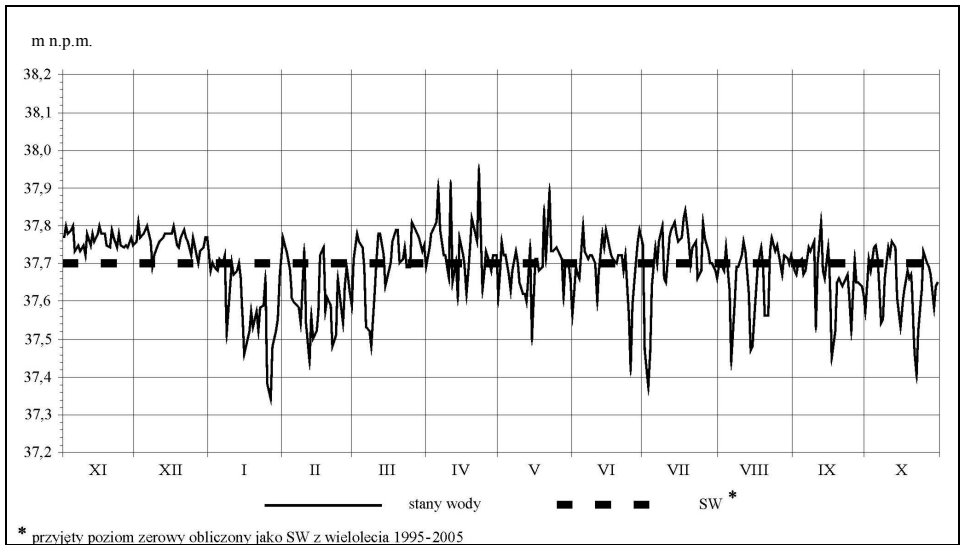
### **Cechy morfometryczne na tle ogólnej charakterystyki zbiornika Krzynia**

Zbiornik Krzynia powstał w 1926 roku po spiętrzeniu Słupi o 7,0 m jako kolejny, po Bytowej i Konradowie, etap energetycznej eksploatacji rzeki. Leży w środkowym biegu rzeki, wykorzystując naturalne warunki środowiska przyrodniczego, w erozyjnej rynnicy wyścielonej materiałem glacyfluwalnym o cechach sandrów dolinnych (Orłowski 1989). Wydłużony kształt zbiornika (długość w osi doliny 3900 m) rozszerza się w części przyczaporowej i tu osiąga maksymalną szerokość 500 m, a łączna powierzchnia wraz z deltą zajmuje 74,8 ha (Florek, Łęczyński 2001). Zbocza przełomowej na tym odcinku doliny Słupi są strome (do 45°) i wysokie (do ok. 23 m). Rynnowy charakter doliny sprawia, iż zbocza te, opadając stromo do wody, dają duże głębokości w niewielkiej odległości od brzegu. Największe głębokości (ponad 5 m) towarzyszą dolnej, limnicznej części zbiornika w miejscach dawnego koryta rzeki, najpłytsze zaś występują w strefie delty. Na całej długości zbiornika znajdują się jedynie cztery niewielkie dopływy, wszystkie lewostronne. Pierwszy z nich – Brodek jest dopływem pośrednim, niosącym przeciętnie ok. 0,24 m<sup>3</sup>/s wody, który zasila stare koryto Słupi łączącej się ze zbiornikiem tuż poniżej zapory w Strzegominie. Kolejny ciek, o średnim przepływie ok. 20,5 l/s, wpada do zbiornika również powyżej delty, natomiast pozostałe dwa dopływają już bezpośrednio do zbiornika właściwego, średnio dostarczając odpowiednio 40,6 l/s i 5 l/s.

Elektrownia w Krzyni pracuje w systemie szczytowo-przepływowym przy średnim przepływie rocznym 7,78 m<sup>3</sup>/s (Raport... 1997). Racjonalna gospodarka wodna, odznaczająca się niewielkimi wahaniami stanu wodny w ciągu doby, maksymalnie do kilkunastu centymetrów (sporadycznie do 30; rys. 1), oraz wahaniami sezonowymi (do 60 cm), jest niezwykle istotna dla przebiegu procesów brzegowych i rodzaju deponowanego materiału.

### **Powierzchniowe osady denne i źródła ich dostawy**

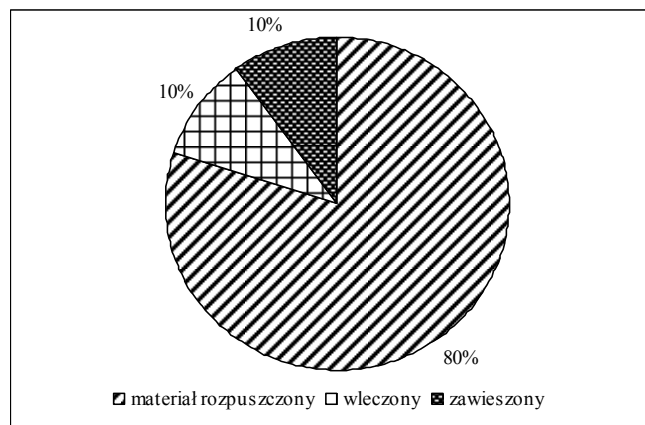
Źródłem aluwii w zbiorniku Krzynia jest głównie dostawa tranzytowa ze zlewni (w tym z dopływów bocznych samego zbiornika) oraz lokalna dostawa materiału pochodzącego z rozmycia brzegu macierzystego na skutek falowania lub egzacji. Dużo mniejsze znaczenie ma akumulacja pochodzenia eolicznego i produkcja autochtoniczna biomasy. Według badań powadzonych przez E. Florek (1997),



Rys. 1. Codzienne stany wody w zbiorniku Krzynia w roku hydrologicznym 2005 według danych Elektrowni Wodnej Krzynia

Fig. 1. Daily water level fluctuations of Krzynia basin in the hydrological year 2005, according to the data from the Water Power Station in Krzynia

E. Florek i Łęczyński (2001, 2002) stopień wypełnienia zbiornika nie jest duży. Autorzy szacują, iż delta obejmuje 23% pierwotnej powierzchni zbiornika (75 ha), a obecne tempo sedymentacji zachodzi znacznie wolniej i mniej intensywnie niż po wybudowaniu stopnia wodnego. O rodzaju transportowanego materiału (rys. 2)



Rys. 2. Szacunkowa wartość rodzaju deponowanego materiału w zbiornikach zaporowych Słupia (Florek, Łęczyński 2002)

Fig. 2. Approximated values of different kind of settled material in the dam basins of the Słupia River (Florek, Łęczyński 2002)

decyduje wybitnie lesisty charakter zlewni, wynoszący 43,3% całej zlewni Słupi i ok. 75% w środkowym jej biegu, w miejscu położenia zbiorników. Materiał wleczony (piaszczysty i żwirowy), stanowiący obecnie zaledwie 10% dostarczanego osadu, akumulowany jest w postaci delty, natomiast materiał drobny deponowany jest w dolnej, limnicznej części zbiornika.

Jest to typowe dla zabudowy kaskadowej (Cyberski 1984), dla zbiorników o długoletniej żywotności oraz ze względu na racjonalną gospodarkę wodną elektrowni (niewielkie wahania stanów wody).

Uzyskane wyniki potwierdzają cechy powierzchniowych osadów dennych zbiornika. Ponad 60% powierzchni dna (poza deltą) wyścielają osady drobne, brunatnoszare, o frakcji mułku (rys. 3). Głębsze partie zbiornika, stanowiące stare koryto meandrującej Słupi, wypełniają ropy. Osad grubszy, o składzie granulometrycznym piasku, dominuje w delcie, natomiast o frakcji piasku i żwiru – w strefie przybrzeżnej i płytkowodnej (do 1-1,5 m głębokości), najbardziej narażonej na erozję falową.

Z powyższego wynika, że ze względu na przechwytywanie i deponowanie grubszego materiału przez zbiorniki położone wyżej źródłem dostawy osadu do zbiornika, poza substancjami rozpuszczonymi, jest głównie ładunek zawiesiny tranzytowej Słupi, a w mniejszym stopniu denudacja zlewni bezpośredniej. Podczas kartowania terenowego nie stwierdzono bowiem świeżych nisz abrazyjnych, osuwisk, a brzegi zbiornika są stabilne i utrwalone zwartą roślinnością. Istnieją jednakże przesłanki, że proces abrazyi nadal trwa, na co ma wpływ działalność wiatru i napierająca na brzegi pokrywa lodowa. Potwierdzeniem tego jest dość częste podmywanie systemu korzeniowego drzew, powodujące ich przewracanie się do wody.

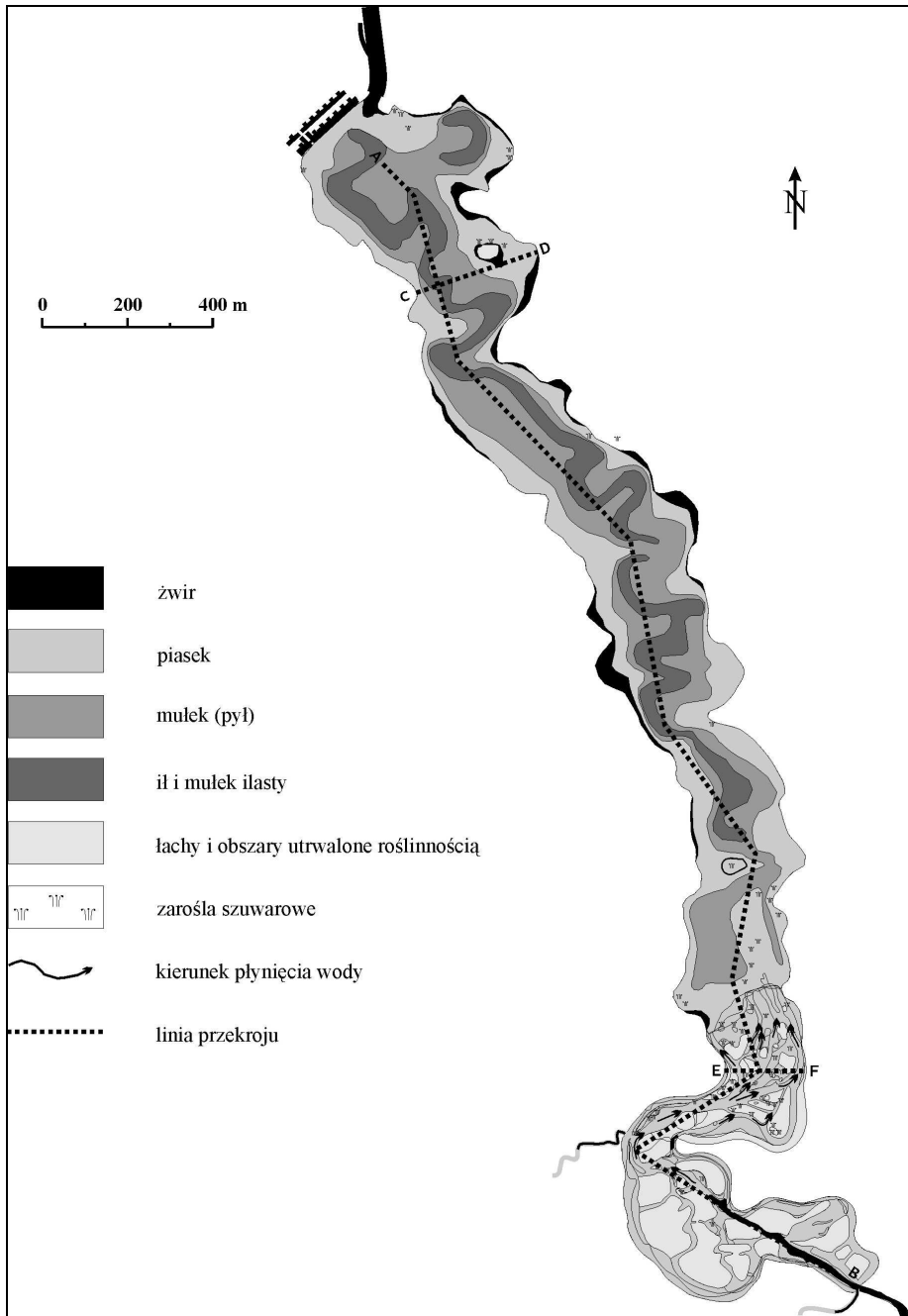
### **Osady denne w przekroju podłużnym**

Cechy osadów w przekroju podłużnym (rys. 4) odzwierciedla przestrzenne zróżnicowanie dynamiki wód w basenie sedymentacyjnym. W dolnej części dominuje osad drobny, pochodzący z depozycji zawiesiny. Jedynie w pobliżu kanału doprowadzającego wodę do elektrowni wzrasta procentowy udział osadu grubszego, piaszczystego, co jest wynikiem tzw. uciągu wody, który porywa najdrobniejsze cząstki osadu.

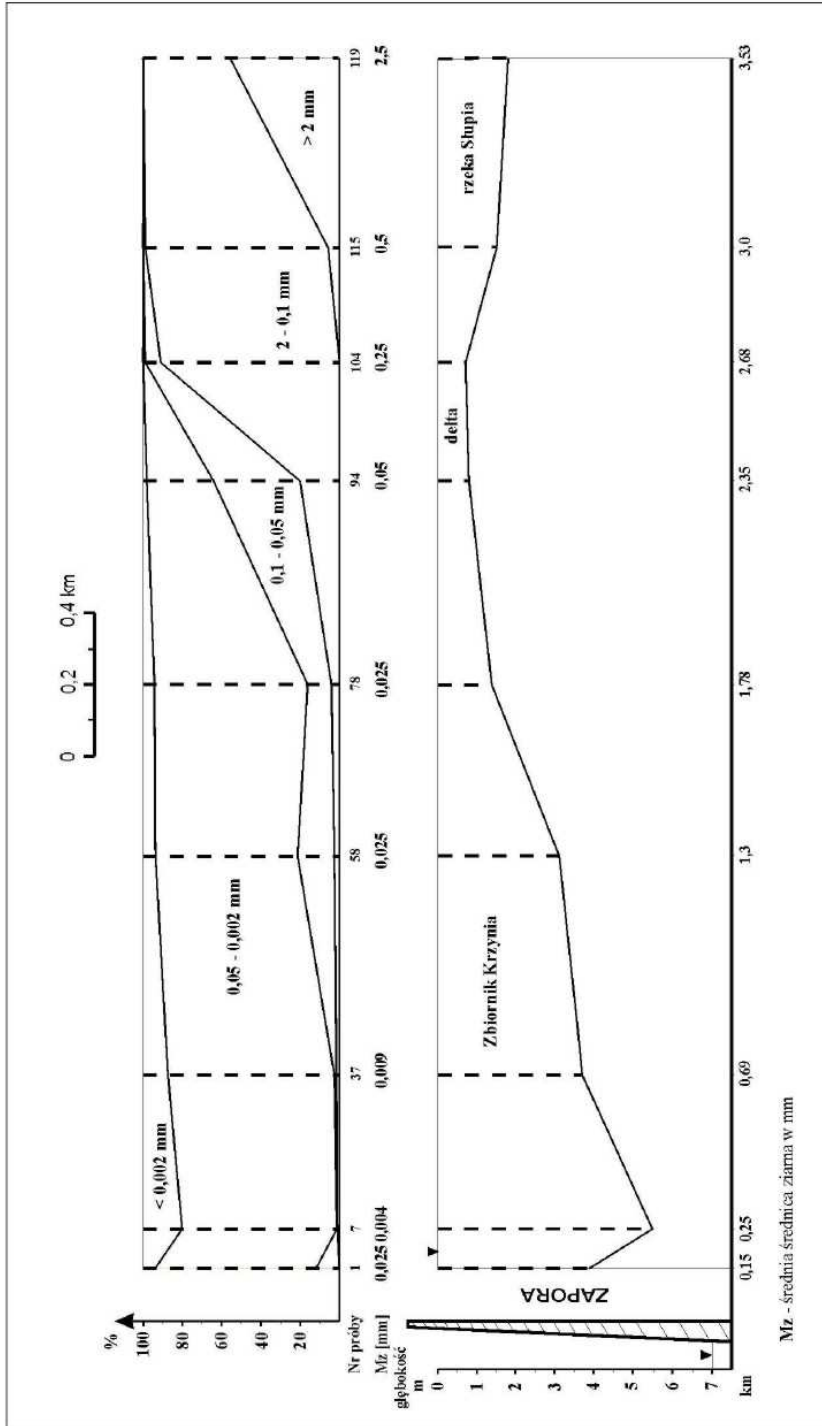
Im dalej od zapory, tym szybciej zwiększa się średnia średnica ziaren (Banach 1985) i na 2,7 km od zapory udział ziaren o charakterze mułku (poniżej 0,1 mm) jest już znikomy. Jest to już czoło delty i delta Słupi, gdzie przeważa osad piaszczysty, począwszy od piasku drobnego do gruboziarnistego. Powyżej delty, za przewężeniem terasy zalewowej rzeki grubość osadu w korycie rośnie. Dominuje tu facja korytowa z przewagą żwiru i otoczków. Jest to już odcinek erozyjny rzeki, poniżej elektrowni Strzegomino.

### **Osady denne w przekroju poprzecznym**

Zróżnicowanie granulometryczne osadów w przekroju poprzecznym wynika z oddalenia od linii brzegowej i różnic głębokości. Im dalej od brzegu, tym na ogół



Rys. 3. Rodzaj i rozmieszczenie osadów w zbiorniku Krzynia z zaznaczonymi przekrojami. Szczegóły delty na podstawie: Florek, Łęczyński 2001  
 Fig. 3. Type and deposition of settled material in Krzynia basin with marked cross-sections. Details of Słupia River delta based on: Florek, Łęczyński 2001



Rys. 4. Granulometria osadów w przekroju podłużnym (A-B) zbiornika Krzyżynia  
 Fig. 4. Granulometry of bottom sediments in the longitudinal section (A-B) of Krzyżynia basin

większa jest głębokość i zmniejsza się średnia średnica ziaren osadu. Zależność ta jest rezultatem spadku wraz z głębokością siły erozyjnej i transportowej fal. Stąd najgrubszy osad spotykany jest wzdłuż linii brzegowej (rys. 5), jego głównym składnikiem jest żwir i otoczaki o średnicy nawet do kilkunastu centymetrów. Jest to rezyduum z rozmycia brzegu macierzystego w procesie falowania (Banach 1994).

Wzdłuż wschodniego brzegu zbiornika osady grubsze, piaszczysto-żwirowe zalegają szerszą strefą niż wzdłuż brzegu zachodniego. Wynika to z asymetrii doliny oraz większej dynamiki wody w tej strefie, gdyż przeważają tu wiatry z sektora zachodniego. Prawe zbocze jest zdecydowanie wyższe niż lewe i choć utrwalone roślinnością, bardziej narażone na abrazję wiatrową.

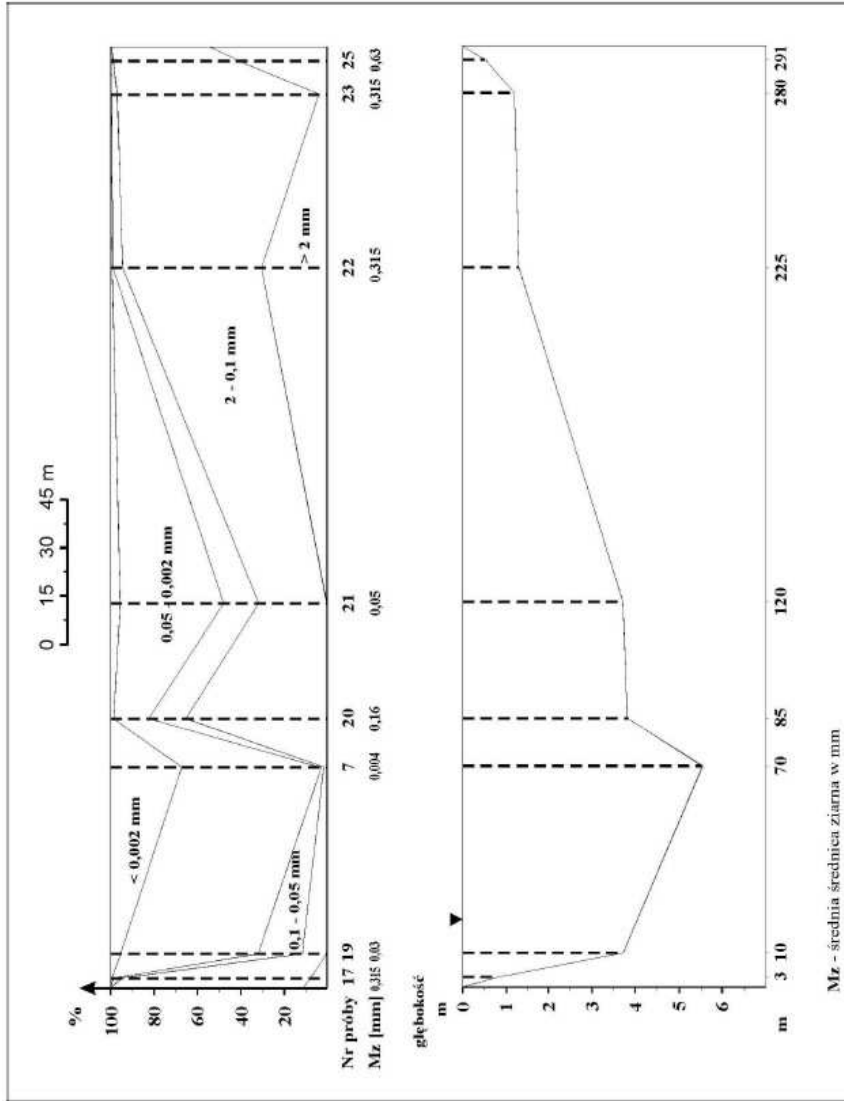
W obrębie czaszy zbiornika, na odkrytym akwenie osady są drobniejsze i mniej zróżnicowane, z dominantą mułków. Następuje wzrost procentowego udziału ziaren grubszych na wszelkich krawędziach, załomach i wypukłościach dna.

Odmienny obraz kształtuje się w obrębie delty, gdzie osady są znacznie mniej zróżnicowane granulometrycznie aniżeli w części limnicznej zbiornika (rys. 6). Stwierdza się tu ogólny wzrost frakcji wraz z oddaleniem od brzegów, co wskazuje na przewagę cech fluwialnych nad zbiornikowymi w tej części akwenu. Osady w delcie składają się przede wszystkim z różnoziarnistych piasków, a udział frakcji pylastej nie przekracza 20%.

### **Wybrane cechy geochemiczne osadów**

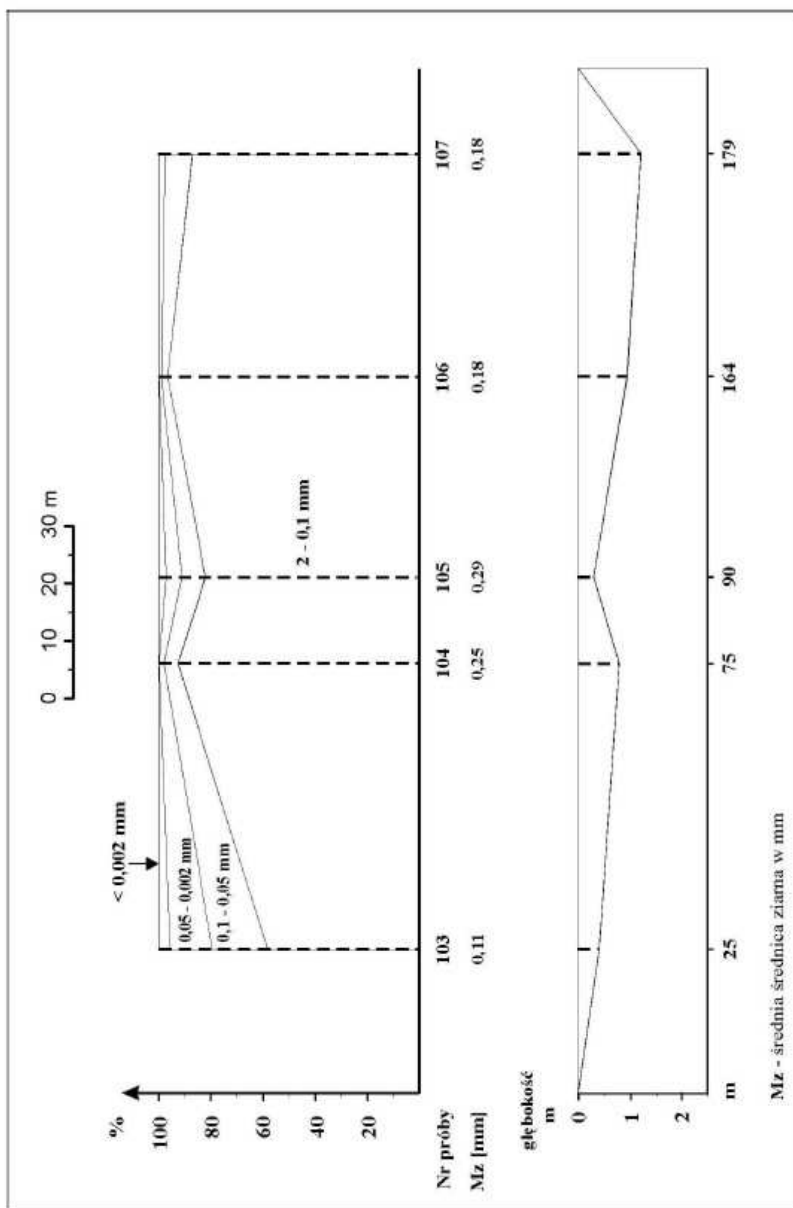
Osady są ważnym wskaźnikiem w badaniu zanieczyszczenia środowiska ze względu na znacznie wyższą koncentrację zanieczyszczeń w porównaniu z ich zawartością w wodzie. Głównym składnikiem osadów zbiornika Krzynia są krzemiany (55-99%), co jest uwarunkowane położeniem akwenu w obszarze młodoglacjalnym. Źródłem związków krzemu, które przechodzą do wód i osadów, jest proces wietrzenia skał, wymywanie minerałów oraz opady atmosferyczne (Dojlido 1995). Ten powszechnie występujący pierwiastek nawet w bardzo wysokich stężeniach jest neutralny wobec środowiska. W osadach zanotowano również dużą zawartość materii organicznej (do 33%), która wynika nie tylko z dostawy tranzytowej, ale głównie lokalnej w postaci liści, igliwia i gałęzi drzew porastających zwartą ścianą brzegi i zbocza wąskiej doliny Słupi. Najmniej materii organicznej jest w strefie płytkowodnej, tj. w strefie znacznej dynamiki wody, natomiast najwięcej w głębozłoczkach oraz poniżej czoła delty.

W procesie mineralizacji materii organicznej w osadach dennych zbiorników zaporowych uwalnianiu ulegają również mineralne związki azotu i fosforu. Przyczyną ich śladowej ilości (azot – do 1,7%, fosfor – do 0,05%) w badanym zbiorniku może być duża lesistość zlewni oraz fakt, iż Krzynia stanowi ostatni basen sedymentacyjny rzeki, a zatem większość tych związków jest zakumulowana w zbiornikach położonych wyżej. Teza ta jednak wymaga szerszego zbadania i udokumentowania. Na przykład w zbiorniku wrocławskim na dolnej Wiśle pozostaje 19-25% fosforu oraz 7-9% azotu (Giziński i in. 1985). Większa jest zawartość tych biogenów w osadach dolnej, limnicznej części zbiornika aniżeli w górnej, reolimnicznej (Kenzer, Głogo-



Rys. 5. Granulometria osadów w przekroju poprzecznym (C-D) w pobliżu zapory zbiornika Krzynia  
 Fig. 5. Granulometry of bottom sediments in the traverse cross section (C-D) nearby the dam in Krzynia basin

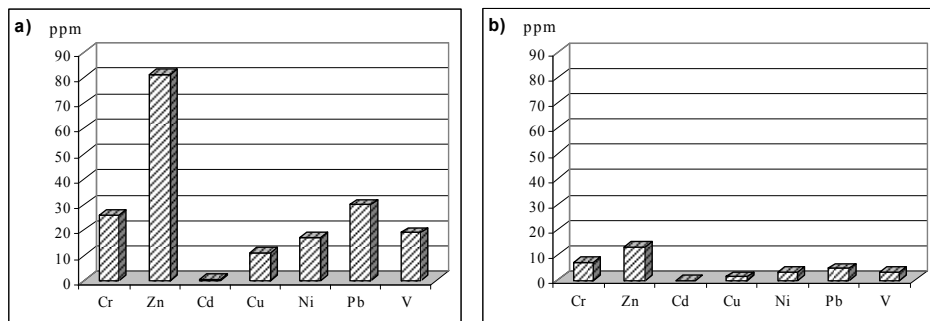




Rys. 6. Granulometria osadów w przekroju poprzecznym (E-F) w delcie zbiornika Krzynia  
 Fig. 6. Granulometry of bottom sediments in the traverse cross section (E-F) of Słupia River delta in Krzynia basin

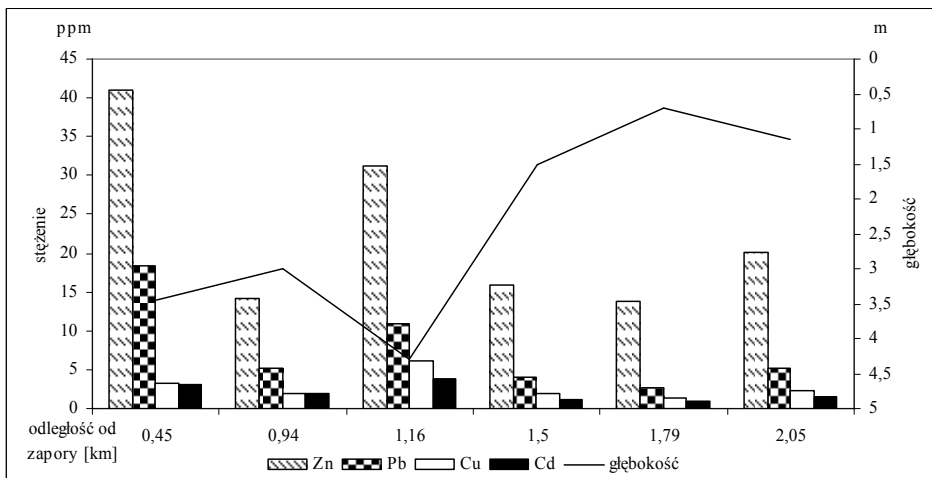
wska 2000). Makroskopowym wskaźnikiem ubóstwa w biogeny zbiornika Krzynia jest także mała ilość wyższej roślinności wodnej w strefie litoralu. Po 80 latach istnienia zbiornika występuje ona poza deltą jedynie punktowo, zajmując niewielki procent długości linii brzegowej.

W osadach dennych określono wstępnie zawartość metali ciężkich (rys. 7). Ich poziom odzwierciedla na ogół stężenia charakterystyczne dla osadów niezanieczyszczonych, czyli odpowiada poziomowi tła geochemicznego. Spośród ujętych w badaniu pierwiastków jedynie kumulacja chromu w osadach limnicznej części zbiornika przekracza 2,6 razy dopuszczalną normę tła geochemicznego (10 ppm). Nie zagraża ona jednak bezpośrednio życiu organicznemu zbiornika. Niemniej jednak zbiorniki kaskady Słupi stanowią barierę dla migracji zanieczyszczeń, przechwytyjąc je i akumulując w znacznych stężeniach. Dla porównania: w aluwjach Słupi poniżej kaskady i Słupska, na posterunku reperowym w Charnowie, zawartość tych samych metali ciężkich jest następująca: chrom (6 ppm), cynk (20 ppm), kadm (<5 ppm), miedź (6 ppm), nikiel (1 ppm), ołów (<5 ppm), wanad (9 ppm) (Raport... 2002).

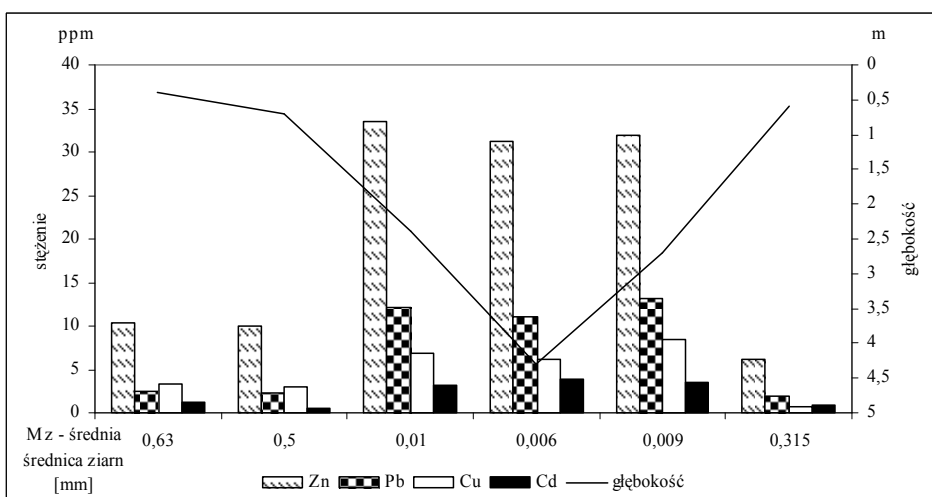


Rys. 7. Metale ciężkie w osadach dennych zbiornika Krzynia: a) przy zaporze, b) w delcie  
Fig. 7. Heavy metals in the bottom sediments of Krzynia basin: a) next to the dam, b) within the delta

Istotnym czynnikiem wpływającym na wielkość stężenia badanych wskaźników jest morfometria zbiornika oraz rodzaj deponowanego materiału. Zauważalne są następujące prawidłowości: spadek zawartości związków w miarę oddalania się od zapory ku delcie i wzrost ich poziomu wraz ze zwiększaniem się głębokości. W obu przypadkach maleje średnica ziarn i osad przechodzi w frakcję drobną, mułkowo-ilastą. Powyższe spostrzeżenia ilustrują rysunki 7 i 8. W konstrukcji wykresu z rysunku 8 uwzględniono punkty biegnące wzdłuż osi zbiornika, przebiegające zarówno przez stare koryto Słupi, jak i dawny poziom zalewowy rzeki, stąd różny jest przebieg linii głębokości. Zarysowane związki pomiędzy rodzajem deponowanego materiału, głębokością a stężeniem zakumulowanych pierwiastków czytelne są również w przekroju poprzecznym (rys. 9).



Rys. 8. Stężenie wybranych metali ciężkich w zależności od odległości od zapory  
 Fig. 8. Concentration of selected heavy metals depending on the distance from the dam



Rys. 9. Stężenie wybranych metali ciężkich w przekroju poprzecznym zbiornika Krzunia  
 Fig. 9. Concentration of selected heavy metals in the traverse cross section of Krzunia basin

Do wskaźników trwałych zanieczyszczeń organicznych zbadanych w zbiorniku Krzunia należą wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) z grupy związków kancerogennych. Ich podstawowym źródłem są produkty powstałe z przeróbki węgla i ropy naftowej, ale też ścieki komunalne i spływ powierzchniowy z dróg. Do wód powierzchniowych dostają się głównie w zawiesinie (Dojlido 1995). Poziom zanieczyszczenia WWA osadów zbiornika określony w kilku punktach na

różnej głębokości jest znikomy i mieści się w przedziale 0,18-0,53 ppm, przy wartości tła 5 ppm.

## Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Stwierdzono, że w zbiorniku Krzynia w wąskich strefach pływicznej przybrzeżnej obu brzegów zalegają osady grube (żwiru i piaski), a na odkrytej przestrzeni osady drobne (mułki i ły).
2. Przestrzenny rozkład uziarnienia wynika ze zróżnicowanej głębokości; w miarę zwiększania się głębokości maleje średnica ziaren osadu, a wzrasta udział materii organicznej.
3. Osad gruby platformy przybrzeżnej jest pochodzenia miejscowego z rozmycia brzegów macierzystych i lokalnie z dopływów. Osad drobny odkrytego akwenu, to głównie depozycja ładunku zawiesiny tranzytowej Słupi oraz z bezpośredniej zlewni zbiornika.
4. Poziom kumulacji związków w osadach uzależniony jest od odległości od zapory i głębokości.
5. Stężenia wybranych wskaźników nie wykraczają ponad poziom tła geochemicznego, co jest rezultatem dużej lesistości zlewni oraz dobrej jakości wód zbiornika (II klasa pod względem fizykochemicznym i biologicznym).

## Literatura

- Banach M., 1985, *Osady denne – wskaźnik hydrodynamiki zbiornika wrocławskiego*, Przegąd Geograficzny, t. LVII, z. 4
- Banach M., 1994, *Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, nr 161
- Cyberski J., 1984, *Zjawiska akumulacyjno-erozyjne w rzekach objętych oddziaływaniem budowlanych piętrzących*, Czasopismo Geograficzne, t. LV, z. 3
- Dojlido J. R., 1995, *Chemia wód powierzchniowych*, Białystok
- Giziński A., Kenzer A., Mieszczankin T., 1985, *Problemy ekologiczne dolnej Wisły a ochrona Bałtyku*. W: *Harmonizacja polskiego prawa ochrony środowiska ze standardami europejskimi*, Przysiek, s. 19-23
- Florek E., 1997, *Akumulacja w zbiornikach Krzynia i Konradowo na Słupi w świetle analizy zdjęć lotniczych*. W: *Geologia i geomorfologia Pobrzeża i południowego Bałtyku 3*, red. W. Florek, Słupsk
- Florek E., Łęczyński L., 2001, *Zmiany środowiska doliny rzeki Słupi z uwzględnieniem wpływu pracy elektrowni wodnych i eksploatacji zbiorników przyzaporowych EW Krzynia, EW Strzegomino, EW Gałąźnia Mała*, Archiwum Elektrowni Wodnych, Słupsk
- Florek E., Łęczyński L., 2002, *Transformacja zbiorników przyzaporowych na środkowej Słupi*. W: *Środowiska górskie – ewolucja rzeźby. Streszczenia referatów i posterów*. VI Zjazd Geomorfologów Polskich w Jeleniej Górze, Wrocław
- Kenzer A., Głogowska B., 2000, *Hydrochemia zbiornika wrocławskiego*, Prace Limnologiczne AUNC, nr 21, Suplement, s. 8-10

- Orłowski A., 1989, *Budowa geologiczna zlewni i doliny Słupi*. W: *Ewolucja doliny Słupi w późnym wistulianie i holocenie*, Zeszyty Naukowe AG-H, nr 1241, Geologia, t. 15, z. 1-2
- Racinowski R., Szczypek T., 1985, *Prezentacja i interpretacja wyników badań uziarnienia osadów czwartorzędowych*. Skrypt przeznaczony dla studentów IV i V roku geografii studiów dziennych i zaocznych, Katowice
- Raport o stanie środowiska województwa śląskiego w latach 1995-1996, 1997, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Śląsk
- Raport o stanie środowiska województwa pomorskiego według badań monitoringowych przeprowadzonych w 2001 roku, 2002, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Gdańsk

### Summary

The former authorities implemented a concept of energetic management of the Słupia River 80 years ago. The reservoirs were not dredged and they remain classical examples of collectors, deposit basins of a matter from a denudative reception basin. In Krzynia's reservoir, the last link of a cascade, there is a vast spectrum of various-grained deposits. In narrow sections of a littoral shallow of both shores there are coarse-grained deposits (sands, gravels and pebbles), and in an open area there are fine-grained deposits (limes and silts). Spatial distribution of graining is an effect of depth: the deeper it gets the smaller a diameter of deposit's grains and increases a share of an organic matter. Coarse-grained deposits of a littoral shallow are effects of local washouts of the shores in a process of undulation and local tributaries. Fine-grained deposits of an open water-region are deposition of transit sediment of the Słupia River and direct reception basin.

Chemical constitution of deposits depends on various processes progressing in the reception basin. Concentration of selected coefficients (bio-genes, heavy metals and WWA) do not exceed a level of geochemical background. A level of cumulating of compounds in deposits depend on a distance from a dam and depth; in fine-grained deposits there is almost one order of magnitude of compounds more than in coarse-grained deposits. Low concentrations of analyzed chemical compounds in deposits result from small anthropopression in a drainage basin of the Słupia River and location of the reservoir that is the last link of the cascade.