

Bartosz Korabiewski

Ślady działalności antropogenicznej w środowisku wodnym w dorzeczu górnej Kwisy

Wstęp

Badanie zawartości metali ciężkich w środowisku fluwialnym jest jedną z ważniejszych metod analizy wpływu człowieka na środowisko. Największe zainteresowanie wzbudzają rzeki obszarów silnie uprzemysłowionych lub zurbanizowanych. Większość badań w tym zakresie dotyczy wybranych facji: korytowej (Ciszewski 1993, 1998, 2000), lub wezbraniowej (Klimek 1993, 1999, 2002), a badana zmienność cech geochemicznych osadów ujmowana jest w aspekcie przestrzennym, rzadziej czasowym. Pojawiają się także opracowania dotyczące środowiska starorzeczy (Szwarczewski i Korabiewski 2003) lub środowisk limnicznych, w tym zbiorników o charakterze zaporowym (Lenczewska-Baranek 1993), sztucznych zbiorników wodnych różnej genezy (Jankowski i inni. 2005), jak też jezior naturalnych (Dauvalter 1994, Das et al 1995, Kolak et al 1998, Tylmann 2004). Badania tych ostatnich sprawiają trudności, głównie z powodu braku bezpośredniego dostępu do ich osadów. Osady limniczne stanowią swojego rodzaju kronikę wydarzeń denudacyjno - akumulacyjnym rozgrywających się w zlewni.

Spośród różnego typu zbiorników wodnych, najkorzystniejsze warunki badawcze stwarzają jeziora zaporowe. Retencjonują one wodę w celu ochrony przeciwpowodziowej, zaopatrzenia w wodę, lub na potrzeby hydroenergetyki. Dzięki konieczności prowadzenia prac konserwatorskich na tych zaporach, okresowo może dochodzić do odsłonięcia osadów dennych. Takim jeziorem jest zbiornik Leśniański. Dzięki okresowym zabiegom konserwacyjnym urzędzeń hydroenergetycznych, które miały miejsce w 2003 r. została całkowicie opróżniona zapora, umożliwiając dokładniejsze badania środowiska dennego zbiornika. Wg właściciela zapory (Zakładu Energetycznego w Jeleniej Górze), było to trzecie, całkowite opróżnienie zbiornika od czasu zakończenia jego budowy.

W przeciwieństwie do osadów limnicznych, badania osadów fluwialnych nie nastrożają poważniejszych trudności

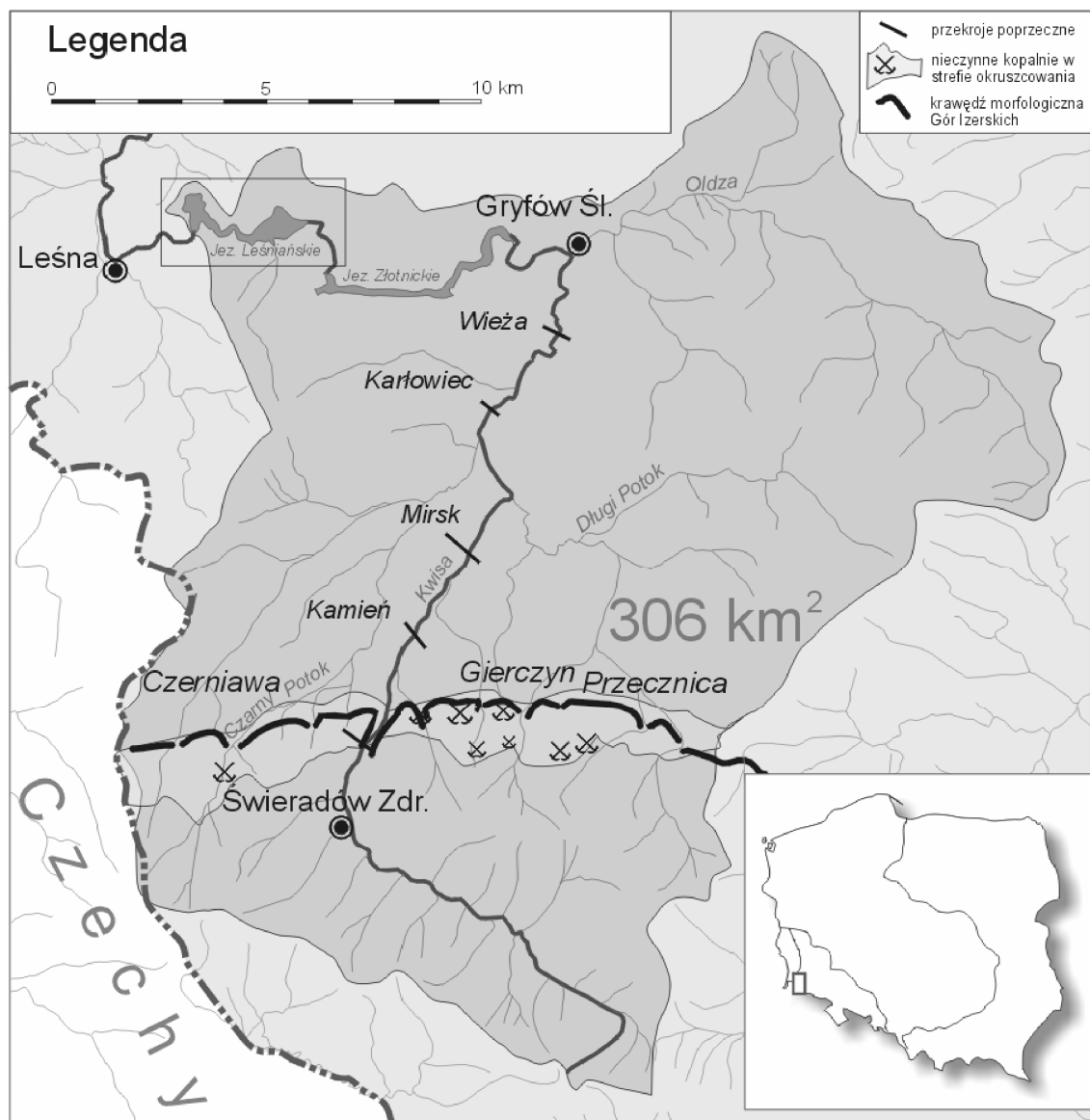
Obszar badań

Źródła Kwisy leżą w Górach Izerskich zbudowanych z gnejsów. Na wysokości Świeradowa rzeka zmienia radykalnie bieg, rozcina wyraźną krawędź morfologiczną i wpływa w falisty obszar Kotliny Mirskiej przykrytej w większości gliną morenową. Wzdłuż morfologicznej krawędzi Gór Izerskich ciągnie się strefa okruszczenia w związku polimetaliczne, głównie Sn i Co. Stanowiło to podstawę dla rozwoju na tym terenie działalności górniczo - hutniczej, której początki sięgają XVI w. Kilka mniejszych dopływów Kwisy przecina dawne tereny kopalniane z licznymi hałdami i wyrobiskami. Stanowi to potencjalne źródło zanieczyszczeń metalami ciężkimi.

Na obszarze Kotliny Mirskiej, Kwisa tworzy stosunkowo wąską (do 200 m) dolinę ze słabo zaznaczonym, 2 – 3 stopniowym systemem terasowym. Poniżej Mirska szerokość doliny wzrasta do 700 m, co objawia się czytelniejszą morfologią fluwialną w postaci widocznych stopni terasowych i meandrowania rzeki.

Kwisa powyżej Mirska ma ograniczone możliwości erozji bocznej głównie z powodu prac regulacyjnych, oraz naturalnych cech osadu (kamienisto - żwirowe podłoże z niewielkiej miąższości okrywą pylastą i pylasto - piaszczystą). Miąższość osadów stropowych typu madowego jest na ogół niewielka i sięga 25 cm. Jedynie poniżej Mirska może osiągać 1 - 2 m.

Na wysokości Gryfowa Śląskiego Kwisa zmienia kierunek z północnego na zachodni i skręcając pod kątem 90⁰ wpływa w strefę wychodni gnejsów i łupków metamorficznych, tworząc głęboki, malowniczy przełom ciągnący się na długości kilkunastu kilometrów. To naturalne zwięźnienie zostało wykorzystane do stworzenia systemu zbiorników zaporowych.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań. Kwisa z siecią dopływów w granicach zlewni cząstkowej zamkniętej zaporą w okolicy Leśnej.

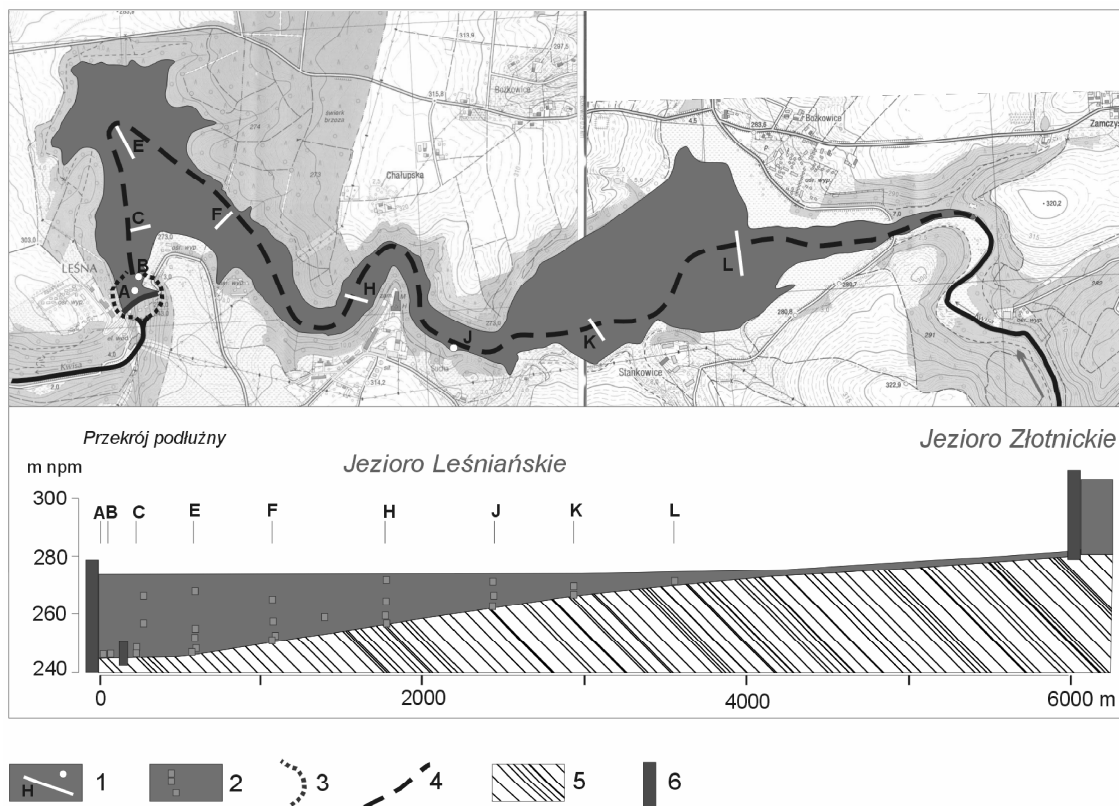
Fig. 1 Location of the study object. The Kwisa river with his tributary on the drainage basin background, locked dam near Leśna.

Powstały w 1906 r. zbiornik w okolicy Leśnej (ryc. 2) jest częścią systemu jezior zaporowych budowanych na Dolnym Śląsku od początku XX wieku, mających za zadanie głównie ochronę przeciwpowodziową. Wybudowana ok. 30 km od źródeł Kwisy tama zamyka obszar zlewni o powierzchni 306 km² (ryc. 1). W obrębie zlewni znajduje się kilka nieczynnych obecnie kopalń i hut, gdzie do końca XIX w. pozyskiwano cynę i kobalt (Dziekoński 1975).

Mocno wydłużony kształt (6 km długości przy średniej szerokości 0,23 km) i V - kształtny przekrój poprzeczny, wpływa na specyfikę sedymentacji.

W początkowym okresie zbiornik leśniański mógł przechwytywać większość niesionego przez Kwisę materiału. Wybudowanie w 1924 r. w górnej części przełomu drugiej zapory tworzącej zbiornik złotnicki (ryc. 1) sprawiło, że grubookruchowy materiał zaczął być deponowany w strefie stożka napływowego Kwisy już w rejonie Gryfowa Śląskiego. Analiza historycznych i współczesnych materiałów kartograficznych wskazuje na systematyczny proces zasypywania zbiornika złotnickiego z tego właśnie kierunku. Do zbiornika leśniańskiego zaczął docierać materiał głównie we frakcji zawieszonej. Niewielka ilość niesionego materiału znajdowała tu dogodne warunki do sedimentacji, której tempo zależało jedynie od wysokości kolumny z zawiesiną. Spiętrzenie wody przy koronie zapory leśniańskiej sięga 35 m, co przy objętości 15.000 m³ i niewielkich średnich przepływach (w lecie 2003 r. Kwisa prawie zupełnie wyschła) sprawia, że przez większą część roku wymiana wody w zbiorniku zachodzi na niewielką skalę, co sprzyja depozycji najdrobniejszej frakcji.

W morfologii dna zbiornika można wyróżnić strefę dawnego dna doliny ze słabo rozwiniętym, kopalnym ale czytelnym jeszcze w morfologii systemem terasowym, oraz strefę zboczy doliny, gdzie pod warstwą pokrywy osadowej typu limnicznego zachowały się ślady gleby leśnej.



Ryc. 2. Jezioro Leśniańskie: rzut i przekrój podłużny: 1 – transekty i pojedyncze wkopy, 2 – miejsca poboru prób na zboczach zbiornika, 3 – sztolnie odprowadzające wody ze zbiornika, 4 – położenie dawnego koryta Kwisy, 5 – podłoże skalne, 6 – schematyczne położenie zapór.

Fig 2 Lake Leśniańskie: view and longitudinal section: 1 – cross sections and single profiles, 2 – the places of sampling in the lake slopes, 3 – tunnels, 4 – location of former bed of Kwisa river, 5 – bedrock, 6 – schematic dams location.

Cele i metody badań

Celem przeprowadzonych badań było porównanie charakteru pokrywy aluwialnej Kwisy z pokrywą limniczną dna Jeziora Leśniańskiego pod kątem ich charakterystyki geochemicznej. Badania szczegółowe miały na celu:

- porównanie cech geochemicznych osadów limnicznych i aluwii rzecznych z uwzględnieniem wpływu odległości od potencjalnych źródeł zanieczyszczeń,

- ocena stopnia zagrożenia ekologicznego pod kątem zanieczyszczenia osadów metalami ciężkimi.

Obszar badań stanowiły dwa odcinki doliny Kwisy, w których badano osady dwu różnych facji. Pierwszy obszar stanowił fragment typowej doliny rzecznej z osadami facji korytovej i wezbraniowej. W dnie doliny zlokalizowano 5 przekrojów poprzecznych (ryc. 1), na linii których umieszczono po kilka profili pionowych, które następnie metodą wkopów sięgających 2 m opróbowano, pobierając materiał z różnych głębokości. Analizie laboratoryjnej poddano ok. 260 prób z dna doliny i jej zboczy. Tę samą metodę zastosowano podczas pobierania materiału z dna zbiornika leśniańskiego stanowiącego drugi odcinek badawczy, gdzie badaniom poddano głównie osady facji limnicznej. Wyznaczając 6 przekrojów poprzecznych oraz kilka pojedynczych wkopów i wierceń (ryc. 2) sięgających maksymalnie 2,5 m, wykonano ok. 30 profili pionowych pobierając blisko 200 prób z różnych głębokości. Materiał pochodził zarówno z górnego kompleksu osadowego o charakterze limicznym, jak i z partii spagowych należących do różnych środowisk, w tym osadów rzecznych oraz stokowych podścielających osad zbiornikowy.

W Laboratorium Gruntoznawczym IGiRR UW. metodą AAS firmy GBC Amanta (w płomieniu jak i w kuwecie grafitowej) oznaczono zawartość Zn, Cu, Cd, Pb, Sn, Co, Mn, Ni i Fe we frakcjach <1,0 mm przeprowadzając wstępnie ekstrakcję w kwasie azotowym HNO₃ przy użyciu mineralizatora mikrofalowego firmy Selmar. Oznaczenie pH wykonano metodą potencjometryczną przy użyciu standardowych procedur w wodzie destylowanej i roztworze KCl. Analizę zawartości substancji organicznej wykonano metodą wyprażania (dla prób silnie organicznych) oraz metodą Tiurina (dla pozostałych, w których zawartość próchnicy nie przekracza 15%).

Wyniki

Pokrywa aluwialna w dnie doliny Kwisy na odcinku Świeradów – Gryfów Śląski jest stosunkowo słabo wykształcona. Mady rzeczne występujące w stropie mają na ogół niewielką miąższość i są silnie piaszczyste. Ślady działalności górniczo - hutniczej prowadzonej na tym terenie są raczej słabo widoczne. Średnia zawartość metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Cd oraz Sn dla kilku prób) w osadach jest stosunkowo niewysoka i dla wszystkich elementów zbliżona jest do tła geochemicznego (ryc. 3). Prawdopodobną przyczyną tego faktu jest stosunkowo niska wartość pH stwierdzana w osadach rzecznych, co sprzyja migracji metali ciężkich. Wartość pH zmierzonego w wodzie destylowanej oscylowała pomiędzy 4,5 a 6,0, zaś w roztworze KCl odpowiednio o ok. 1 pH mniej. W takim środowisku metale ciężkie stają się bardziej mobilne. Dodatkowo, materiał aluwialny w tym pogórskim odcinku rzeki jest pylasto - piaszczysty z niewielką domieszką frakcji ilastej, której główny składnik – minerały ilaste – jest silnym sorbentem metali ciężkich.

Interesująco przedstawiają się wyniki badań przeprowadzonych w obrębie dna zbiornika leśniańskiego. W jego morfologii widoczny jest stary system terasowy reprezentowany przez dwa stopnie teras rzecznych, lokalnie z listwami przykorytowymi i spłaszczeniami stokowymi nadbudowanymi materiałem jeziornym. Miąższość osadów limnicznych pokrywających starsze stopnie jest silnie zróżnicowana lokalnie z tendencją wzrostową w kierunku zapory oraz w kierunku osi zbiornika. Charakter osadów limnicznych zmienia się w zależności od lokalnej morfologii, z czym zapewne łączy się wielkość i sposób przepływu.

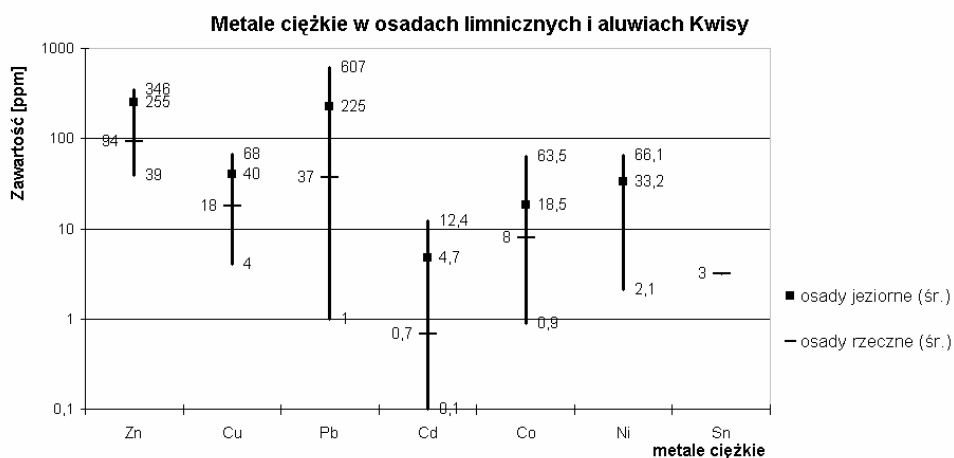
W profilu podłużnym, na odcinku 3,5 km między zaporą a ostatnim stanowiskiem, miąższość osadów zbiornikowych na najniższej terasie jest prawie niezmienna i wynosi średnio 80-100 cm. Kilkaset metrów przed zaporą miąższość ich wzrasta osiągając 200 cm.

W warunkach, kiedy istnieje system kilku zbiorników zaporowych, charakter osadów w nich występujących różni się znacznie. Brak osadów grubookruchowych w dolnym zbiorniku sprawia, że miąższość pokrywy osadowej uzależniona jest jedynie od miąższości słupa wody z zawieszoną frakcją drobną i wzrasta od początku zbiornika w kierunku zapory. W tym samym kierunku maleje średnia średnica ziarna, co również ma związek ze wzrastającą wysokością słupa wody, która w części przy koronie zapory może sięgać ok. 35 m. W tym samym kierunku wzrasta zawartość metali ciężkich w osadach wynikająca z ich wiązania przez minerały ilaste i substancję organiczną.

Z kolei w wyznaczonych profilach poprzecznych badana miąższość osadów waha się od kilku cm w partiach szczytowych do ok. 100 cm przy korycie. W wielu miejscach górnych partii zboczy, pod osadami jeziornymi zachowała się kopalna gleba leśna z poziomem próchnicznym, a czasem nawet poziomem ściółki.

Średnie stężenie metali ciężkich w badanych osadach, mimo lokalnego zróżnicowania, było stosunkowo wysokie (ryc. 3) i według 4-stopniowej klasyfikacji geochemicznej osadów wodnych (Bojakowska, Sokołowska 1998) mieściło się przeważnie w II klasie czystości. W przypadku Zn i Cu ponad 80 % prób należało do II klasy czystości – reszta stanowiła klasę I. W przypadku Cd, Pb i Co do klasy II zaliczono 35-40 % prób a ok. 40 % zaklasyfikowano jako osad wodny III klasy czystości. W przypadku Ni do II klasy należy 20 % prób, do II 30 % i ponad 45 % do I klasy czystości. Zdarzyły się ponadto próby o skażeniach pozaklasowych (7 % prób z Pb i 1 % prób z Co).

Wykonane porównanie (ryc. 3) średniej zawartości metali ciężkich w osadach limnicznych i w najmłodszych aluwjach Kwisy (Korabiewski 2001) na odcinku powyżej Gryfowa Śląskiego (ryc. 1), wskazują na podwyższoną koncentrację tych metali w osadach zbiornikowych. Średnie stężenie badanych metali jest ponad 2 krotnie większe w przypadku Zn i Cu, ponad 5 - cio krotnie wyższe dla Pb i prawie 7 krotnie większe dla Cd. Należy wspomnieć, że oznaczone w osadach jeziornych pH nie odbiega od pH oznaczonego w osadach facji powodziowej Kwisy i w roztworze wody destylowanej mieści się w zakresie 4,0 – 6,0. Pod tym względem mamy więc do czynienia z podobnymi warunkami wpływającymi na zachowanie metali w osadzie. Pozostałe czynniki, takie jak zawartość substancji organicznej oraz skład granulometryczny (głównie zawartość minerałów ilastych) są „korzystniejsze” w przypadku osadów jeziornych, co znajduje odzwierciedlenie w wyższej zawartości metali ciężkich. Są to bowiem główne sorbenty metali ciężkich.



Ryc.3. Zawartość metali ciężkich w osadach limnicznych i aluwjach
Heavy metals in the lake sediments and alluvial sediments

W rozkładzie przestrzennym metali ciężkich w profilu podłużnym, obserwowana jest ponadto niewyraźnie zaznaczona naprzemiennność występowania stref o wartościach przekraczających średnią zawartość metali ciężkich ze strefami o wartościach poniżej średniej. Tendencja taka obserwowana w osadach aluwialnych wielu polskich rzek, mogłaby w tym przypadku świadczyć o przewadze czynnika dynamicznego (prądy podwodne wywołane przepływającą wodą, sprzyjające różnicowaniu sedymentacji), nad czynnikiem statycznym (miąższość słupa wody) wpływającego na równomierne rozłożenie deponowanego materiału. Potwierdzenie tej tezy wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań szczegółowych, które będą realizowane w kolejnym etapie prac.

Wnioski

Obserwowana w profilu podłużnym jeziora niewyraźna naprzemiennność występowania stref o podwyższonej zawartości metali ze strefami o wartościach poniżej średniej, świadczyć może o dodatkowym wpływie czynnika dynamicznego (prądy podwodne, których znaczenie wzrasta w okresach obniżania poziomu zwierciadła wody w jeziorze), modyfikującego czynnika statyczny (miąższość słupa wody).

Podwyższona zawartość metali ciężkich w przypowierzchniowych warstwach osadów limnicznych jest efektem ich wzmożonego dopływu na skutek wzrostu antropopresji w ostatnich latach, oraz ich wiązania przez substancję organiczną i minerały ilaste. Obecnie trudno jest się dopatrzeć wpływu górnictwa, jakie istniało na tym terenie do końca XIX wieku, w cechach geochemicznych osadów rzecznych. Antropopresja mierzona jedynie stężeniem metali ciężkich w osadach, zdaje się tu być niewidoczna.

Istnieją bardzo wyraźne różnice w zawartości metali ciężkich w osadach limnicznych i aluviach rzecznych. Osady zbiornika leśniańskiego różnią się od osadów facji powodziowej Kwisy składem granulometrycznym i wskazują, że sedymenty zbiornika leśniańskiego stanowią doskonałą pułapkę dla większości metali ciężkich, szczególnie kadmu.

Większość (ponad 50 %) prób wykazuje II stopień czystości pod względem zawartości zbadanych sześciu metali (Zn, Cd, Pb, Cu, Co, Ni), prawie 20 % należy do klasy I a 25 % do klasy III. Niespełna 1 % prób należy do osadów pozaklasowych ze względu na przekroczenia dopuszczalnych wartości dla Pb i Co.

Ogólnie średnia lub czasem nawet wysoka zawartość metali ciężkich w osadach dennych Jeziora Leśniańskiego przy na ogół niewielkiej miąższości tego sedymentu nie stanowi poważnego zagrożenia dla ekosystemu rzeki Kwisy. Dodatkowo, materiał zdeponowany na dnie zbiornika z uwagi na drobnofrakcyjny, kohezyjny charakter wykazuje podwyższoną odporność na erozję, co można było zauważyć podczas opróżniania zbiornika.

The trace of human activity in water sediments in the upper Kwisa catchments

Summary

Reservoir sediments are a rich source of the information about denudation processes occurring in the drainage basin which these sediments close. The article presents results of analyses of geochemical water precipitates deposited on river terraces, and in bottom sediments of Leśniańskie Lake near Leśna. Lake Leśniańskie is a barrage reservoir built in 1906 in the gorge of the Kwisa valley, and is closing the drainage basin which covers the area of 306 square kilometers. On this drainage basin placed one of most important in Sudety Mts. (presently inoperative) mine of tin and cobalt. Activity of them has been stopped in the end of XIX century.

Its gorge character determines the nature of sedimentation. The research of the bottom of the reservoir has showed the dual nature of the sediments, especially noticeable on the reservoir slopes, where, under the layer of limnetic sediments, there have been preserved some traces of forest soil. The thickness of deposited limnetic sediments increases in the longitudinal profile towards the dam, reaching about 2 metres in the axis of the reservoir.

The samples taken from the bottom of the lake and from fluvial terraces, have been analyzed for the presence of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Sn, Co, Mn, Ni), subject of particle-size analysis, organic matter content and pH value. We can observe big different of heavy metals concentration between fluvial and lake sediments. The fine grained character of this type of sediments, together with the presence of organic substances, contribute to the accumulation of heavy metals, which might pose a threat to the environment.

The research results presented here indicate a higher metal content in the limnetic sediments than in the fluvial ones of the main supplying river. The average concentration of heavy metals is over twice as high in the case of Zn and Cu, five times as high in the case of Pb and almost seven times as high in the case of Cd. However, these quantities do not exceed the limits for the 1st and 2nd class of water sediment purity scale. The maximum recorded quantities are within the 2nd and 3rd class of water purity scale. Some sediments are beyond the water sediment purity scale (Pb – 14 samples and Co – 2 samples).

The sediments of Lake Leśniańskie, due to their small quantity as well as relatively low concentration of heavy metals, are not a threat to the environment.

Literatura

- Bojakowska I., Sokołowska G., 1998, Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych, *Przegląd Geologiczny*, vol. 46, nr 1, s. 49-54.
- Ciszewski D., 1993, Antropogeniczne osady korytowe (na przykładzie rzeki Chechło), [w:] *Antropogeniczne aluwia Przemszy i Wisły Śląskiej*, Georama 1, z. 1, UŚ WNoZ, Sosnowiec, s. 21-24.
- Ciszewski D., 1998, Wpływ morfologii koryta rzeki na akumulację metali ciężkich w osadach dennych, *Przegląd Geologiczny*, vol. 46, nr 3, s. 264-270.
- Ciszewski D., 2000, Hydrodynamiczne procesy rozpraszania osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi w korytach wybranych rzek Górnego Śląska, *Geographia. Studia et Dissertationes*, UŚ, tom 23, s. 7-36.
- Das B.K., Singh M., Van Grieken R., 1995, The elemental chemistry of sediments in the Nainital lake, Kumaun Himalaya, India, *The Science of the Total Environment*, 168, s. 85-90.
- Dauvalter V., 1994, Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia, *The Science of the Total Environment*, 158, s. 51-61.
- Dziekoński T., 1972, *Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII do połowy XX wieku*, PAN, Ossolineum, s. 418
- Jankowski A.T., Molenda T., Rzętała M., Bebek M., Mitko K., 2005, Heavy metals In bottom deposits of antropogenic water reservoirs (a case of study of settlement tank sof mine waters, *Limnological Reviev* 5, s. 101-105.
- Klimek K., 1993, Środowisko sedimentacyjne antropogenicznych osadów pozakorytowych w dolinie Przemszy i Wisły Śląskiej, [w:] *Antropogeniczne aluwia Przemszy i Wisły Śląskiej*, Georama 1, z. 1, UŚ WNoZ, Sosnowiec, s. 3-15.
- Klimek K., 1999, A 1000 Year Alluvial Sequences as an Indication of Catchment/ Floodplain Interaction: The Ruda Valley, Sub-Carpathians, Poland, [In:] *Fluvial Processes and Environmental Change*, Brown AG, Quinn TA (eds.) John Wiley: Chichester, s. 329-343.
- Klimek K., 2002, Human-induced overbank sedimentation in the Foreland of the Eastern Sudety Mountains, *Earth Surface Processes and Landforms* 27, s. 391-402.
- Kolak J.J., Long D.T., Beals T.M., Eisenreich S.J., Swackhamer D.L., 1998, Anthropogenic inventories and historical and present accumulation rates of copper in Great Lakes sediments, *Applied Geochemistry*, vol. 13, s. 59-75
- Korabiewski B., 2001, *Morfogeneza doliny górnej Kwiszy w okresie neoholocenu w świetle badań metalostratygraficznych i gleboznawczych*, maszynopis pracy doktorskiej, IG Uwr, Wrocław, s. 1-195
- Lenczewska-Baranek J., 1993, Transport i sedimentacja zawiesin w warunkach spiętrzenia Wisły w Łączanach, [w:] *Antropogeniczne aluwia Przemszy i Wisły Śląskiej*, Georama 1, z. 1, UŚ WNoZ, Sosnowiec, s. 25-30.

Szwarczewski P., Korabiewski B., 2003, Wybrane geochemiczne cechy osadów wypełniających starorzecza w dolinie dolnej Pilicy w okolicach Warki, Prace i Studia Geograficzne, t. 33, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, s. 71-81.

Tylmann W., 2004; Heavy metals In recent lake sediments as an indicato of 20th century pollution: Case on lake Jasień, Limnological Review 4, s. 261-268.

**Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego
Zakład Geografii Fizycznej
Uniwersytet Wrocławski
Pl. Uniwersytecki 1
50-137 Wrocław
korabiewski@geogr.uni.wroc.pl**