

## Akumulacja osadów na równinach zalewowych rzek silnie zmienionych antropogenicznie: górna Wisła i Odra

Dariusz Ciszewski<sup>1</sup>, Agnieszka Czajka<sup>2</sup>



D. Ciszewski      A. Czajka

**Sediment accumulation on alluvial plains of the heavily impacted river reaches: upper Vistula and Odra, southern Poland.** *Prz. Geol.*, 57: 576–583.

*A b s t r a c t.* Overbank sediment profiles of the channelized and heavily polluted Vistula and Odra rivers were investigated in southern Poland. The sediments are usually represented by sandy layers about a dozen centimetres thick, intercalated with black sandy muds few centimetres thick and rich in organic matter. Accumulation of these sediments started by the end of 19<sup>th</sup> century. The sediments are contaminated with heavy metals in amounts exceeding background values by two orders of magnitude and contain coal particles dispersed in black layers. These fine sediments initially accumulated over gravel bars at the channel banks due to lateral channel stabilization by stony groynes and bank revetments, constructed in 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century. Progressively the sediments, which are up to 4 m thick, became a part of 20–30 m wide floodplain zones along many reaches of the upper Vistula and Odra. The distribution of these sediments is related to the degree of channel narrowing and incision induced by 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century channelization.

**Keywords:** river sediments, accumulation, channelization, pollution, heavy metals

W zlewniach rzek użytkowanych gospodarczo akumulacja osadów na równinach zalewowych różni się od obserwowanej w warunkach naturalnych. Odlesianie powierzchni zlewni i ich zamiana na grunty orne spowodowały przyspieszenie tempa akumulacji osadów. W zlewniach lessowych, najbardziej podatnych na erozję, obserwuje się wzrost tempa akumulacji osadów o co najmniej rząd wielkości, a jego przeciętne roczne wartości dochodzą do kilku lub nawet kilkunastu centymetrów na rok (Knox, 2006). Natomiast znacznie wolniejszy przyrost osadów jest obserwowany wzdłuż rzek, których zlewnie zajmują głównie łąki, z najwyższymi wartościami występującymi w sąsiedztwie koryta oraz w obniżeniach równiny zalewowej (Walling i in., 1996). Akumulację w dnach dolin zwiększa także eksploatacja i przeróbka kopalni, gdyż powoduje osadzanie się nawet kilkumetrowej miąższości osadów, które pochodzą z kopalń lub zakładów przerobczych i często są wymieszane z materiałem erodowanym z obszaru zlewni. W osadach tego typu zawartość metali ciężkich przekracza naturalne wartości nawet setki razy (Marron, 1992; Lecce & Pavlovsky, 2001). Budowa zapór, progów przeciwrumowiskowych oraz eksploatacja żwirów lub piasków z koryta rzeki powodują natomiast ujemny bilans transportu, który rzeka równoważy w niższym biegu poprzez wzmoczoną erozję koryta, skutkującą redukcją ilości osadów przyrastających na równinie zalewowej (Simon & Rinaldi, 2006; Wyźga, 2001).

Największe zmiany w przestrzennym zróżnicowaniu ilości osadów akumulowanych w dnie doliny wywołuje regulacja rzeki. Zabiegi prowadzone w korytach rzek górskich służą ich lateralnej stabilizacji, podczas gdy celem regulacji wielu rzek nizinnych jest także umożliwienie żeglugi poprzez skrócenie i wyprostowanie biegu koryt oraz ustabilizowanie głównego nurtu rzeki. Efekty tych działań, takie jak zwiększony spadek, zawężenie koryta, przyspieszona erozja dna, zostały opisane na Wiśle i Odrze (Trafas, 1992; Warowna, 2003; Babiński, 1992; Ciszewski,

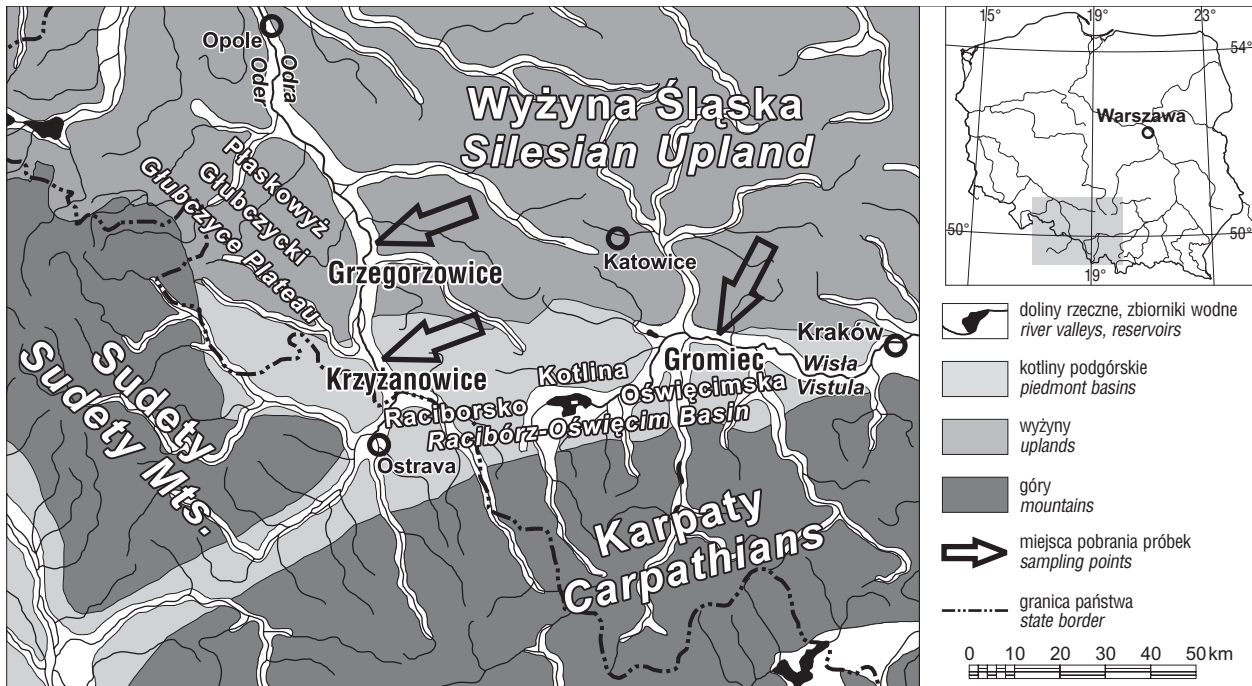
2006). Natomiast znacznie mniej uwagi poświęcono akumulacji osadów, której największe natężenie miało miejsce w górnych biegach Wisły i Odry (Łajczak, 2003; Czajka, 2005). Cechą charakterystyczną osadów deponowanych w tych odcinkach jest duży udział występujących naprzemianlegle jasnych warstw piaszczystych i ciemnych o dużej zawartości substancji organicznej. Określenie czasu i obszaru ich akumulacji oraz litologii i zanieczyszczenia jest celem prezentowanych badań.

### Dorzecze górnej Wisły i Odry

Dorzeczca górnej Odry oraz górnej Wisły powyżej miejsc pobrania próbek w Krzyżanowicach i Gromcu są do siebie podobne pod wieloma względami. Obszar dorzecza górnej Odry powyżej wodowskazu w Krzyżanowicach w Kotlinie Raciborskiej wynosi 5870 km<sup>2</sup>, natomiast powierzchnia dorzecza górnej Wisły powyżej wodowskazu w Gromcu w Kotlinie Oświęcimskiej wynosi 5301 km<sup>2</sup> (ryc. 1). W Krzyżanowicach i Gromcu podobne są również przepływy, wynoszące odpowiednio 58,4 m<sup>3</sup>/s i 60,5 m<sup>3</sup>/s, a także spadki koryt — odpowiednio 0,4 m/km i 0,38 m/km. W dorzeczach obydwu rzek wybudowano zbiorniki oddziałujące na ilość transportowanych osadów, a Wisła i Odra zostały uregulowane poprzez skrócenie ich biegów, umocnienie brzegów opaskami i stabilizację nurtu ostrogami. Prace te na każdej z rzek miały jednak inny przebieg i zostały wykonane w różnym czasie. Regulacja Odry polegała na wykonaniu przekopów skracających bieg rzeki, a następnie na budowie ostróg chroniących brzegi i utrzymujących nurt tak, aby pogłębił on nowe zwężone koryto (Born, 1948). W okręgu raciborskim największe przekopy skracające bieg Odry wykonano w latach 1786, 1850–1860, 1870–1882 i 1903. Od połowy XIX w. zaczęto wykonywać także opaski i nieregularnie rozmieszczone ostrogi kamienne. Prace regulacyjne są prowadzone również współcześnie w związku z budową polderu Buków i suchego zbiornika w Raciborzu. Bieg Wisły w badanym odcinku skracano poprzez przekopywanie wybranych meandrów od połowy XIX w. oraz w latach 1926–1929. Od około 1840 r. budowano ostrogi, a od około 1890 r. usypywano wały przeciwpowodziowe. Największe natężenie prac

<sup>1</sup>Institut Ochrony Przyrody PAN, al. Mickiewicza 33, 31-120 Kraków; ciszewski@iop.krakow.pl

<sup>2</sup>Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec



Ryc. 1. Obszar badań i lokalizacja miejsc pobrania próbek  
Fig. 1. Study area and location of sampling sites

związanych z budową opasek i ostróg było w I połowie XX w. (Łajczak, 1995).

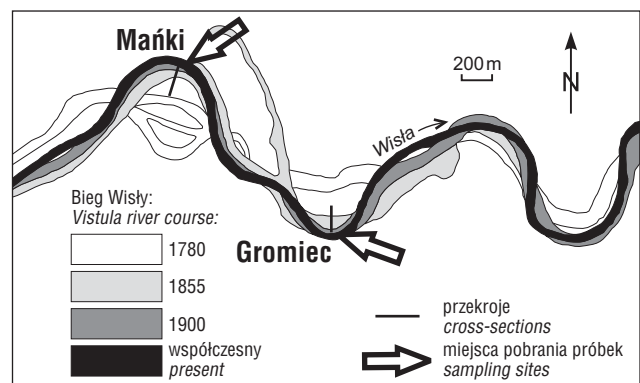
Górna Wisła i Odra należą do najbardziej zanieczyszczonych odcinków rzek w Polsce. Do Wisły wpływają ścieki przemysłowe i komunalne, transportowane głównie przez Przemysł z obszaru Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP), natomiast do Odry zanieczyszczenia trafiają zarówno z obszaru GOP, za pośrednictwem rzek Kłodnica, Bierawka i Ruda, jak i z Ostrawsko-Karwińskiego Okręgu Przemysłowego (OKOP). Zrzuty ścieków na dużą skalę rozpoczęły się już w początku XIX w. wraz z przemysłowym wydobyciem węgla i rozwojem opartego na nim przemysłu ciężkiego. Ilość wód zrzucanych zarówno z kopalń węgla, jak i rud cynku systematycznie rosła, osiągając wartości maksymalne w II połowie XX w. (Czaja, 2005). Efektem były ponadnormatywne zawartości m.in. zawiesiny, siarczanów, chlorków, azotanów w wodach obydwóch rzek (szczególnie w latach 70. i 80. XX w.), a także duże koncentracje metali ciężkich w ich osadach (Absalon & Matysik, 2007; Helios-Rybicka i in., 2001). Od początku lat 90. XX w. następuje stopniowe, choć nieregularne zmniejszanie się zanieczyszczenia tych rzek i ich osadów. Mimo to Wisła i Odra w górnych biegach wciąż prowadzą wody ostatniej, V klasy czystości, a ich osady są silnie zanieczyszczone kadmem i cynkiem (Helios-Rybicka i in., 2001).

#### Materiały i metoda badań

Miejsca lokalizacji odsłoneń w dolinach górnej Wisły i Odry zostały wybrane na podstawie map współczesnych oraz archiwalnych z XVIII i XIX w. W dolinie górnej Wisły osady zostały pobrane w dwóch odsłonięciach wysokości 4 m, usytuowanych na brzegach wypukłych zakoli meandrowych w pobliżu miejscowości Gromiec i Mańki (ryc. 2). Ponadto w sąsiedztwie miejsc pobrania próbek wykonano 4–6 wierceń mających na celu określenie miąższości i zasięgu występowania osadów rytmicznie warstwowych, a w osi obu zakoli sporządzono przekroje niwelacyjne. W dolinie górnej Odry osady również zostały

pobrane w dwóch odsłonięciach, oddalonych od siebie o około 20 km, w pobliżu miejscowości Krzyżanowice i Grzegorzowice. W Krzyżanowicach odsłonięcie wykonano w odcinku stanowiącym przekop przez zakole rzeki z 1850 r., natomiast w Grzegorzowicach odsłonięcie wykonano w miejscu dawnego koryta rzeki, odciętego w czasie regulacji około 1820 r. Obydwa odsłonięcia zostały wykonane przy krawędzi koryta, do głębokości odpowiednio 3 i 4 m. Próbkę zebrano, o ile to było możliwe, z każdej warstwy. W Krzyżanowicach próbki osadów pobierano, łącząc ze sobą sąsiadujące warstwy o miąższości od kilku do ponad 20 cm.

We wszystkich próbkach oznaczono skład granulometryczny (metodą sitową i areometryczną) oraz straty prażenia w temperaturze 550°C (po przesianiu przez sito 1 mm). We frakcji <0,063 mm badanych osadów oznaczono zawartość cynku, kadmu i ołowiu metodą absorpcyjnej



Ryc. 2. Zmiany położenia koryta górnej Wisły od końca XVIII w. (wg Miega, 1779–1782; Kummerera, 1855; *Spezialkarte...*, 1905; *Mapy topograficznej...*, 1982a) oraz lokalizacja miejsc pobrania próbek i przekrojów

Fig. 2. Changes in the channel pattern of the upper Vistula river since the end of 18<sup>th</sup> century (according to: Mieg, 1779–1782; Kummerer, 1855; *Spezialkarte...*, 1905; *Mapa topograficzna...* — topographical map, 1982a) and location of sampling sites and cross-sections

spektrometrii atomowej. We frakcji <1 mm z 2–3 połączonych ze sobą sąsiadujących warstw osadów (żeby uzyskać większą masę) oznaczono aktywność <sup>137</sup>Cs, za pomocą spektrometru z detektorem germanowym firmy Canberra.

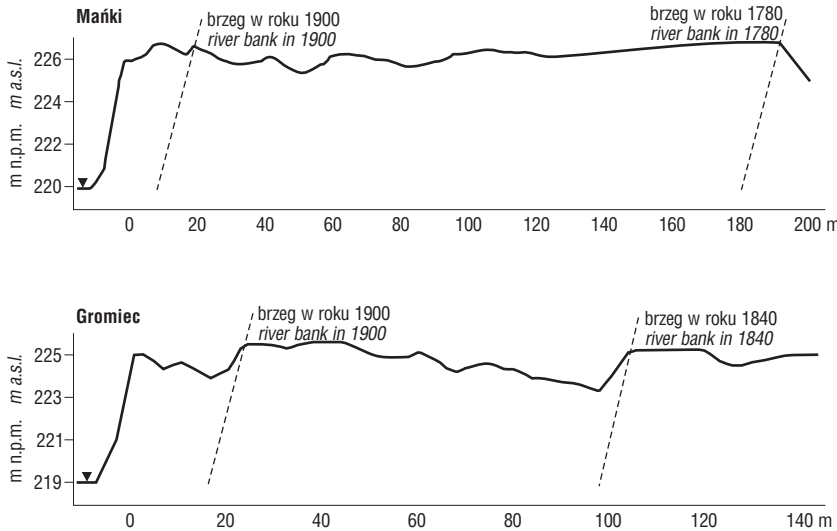
**Wyniki badań**

**Profile z doliny Wisły.** W dolinie Wisły wykonano profil w rejonie przysiółka Mańki na prawym brzegu rzeki oraz 3 km poniżej, na lewym brzegu w miejscowości Gromiec. W przekroju niwelacyjnym przez przybrzeżną część równiny zalewowej w zakolu koło Mańiek, począwszy od

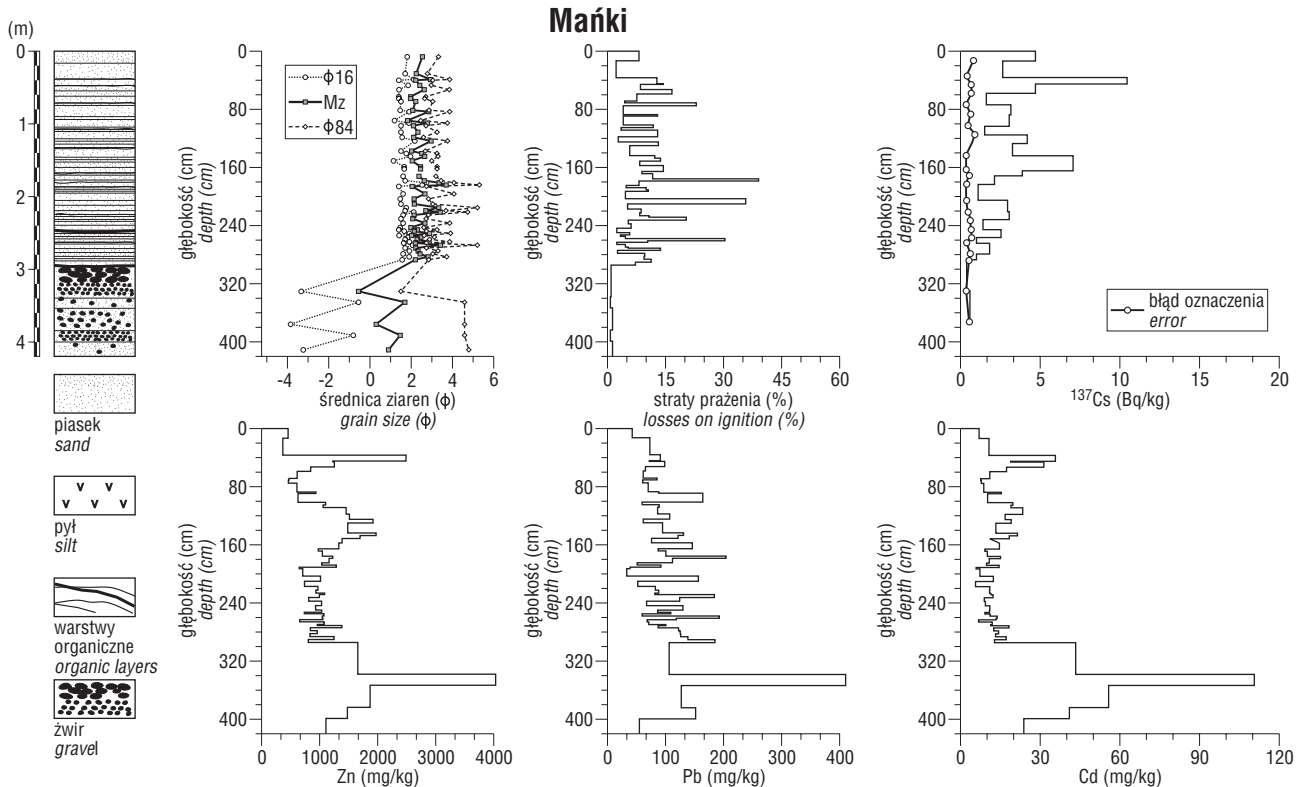
krawędzi koryta z końca XVIII w., są widoczne wały dawnych odsypów piaszczystych, przebiegające równoległe do brzegu rzeki (ryc. 3). Różnica pomiędzy ich najwyższym punktem i sąsiadującym z nim obniżeniem stopniowo zwiększa się w kierunku koryta od kilkudziesięciu centymetrów do ponad 1 m. Stok dystalny jest wyraźnie krótszy, kilkumetrowy, i bardziej stromy od kilkudziesięciometrowej długości stoków proksymalnych. Za ostatnim wałem odsypu, przy brzegu, widać krawędź o wysokości 2 m. Oddziela ona wał przykorytowy o wysokości około 1,5–2 m. Szerokość powierzchni z wałem przykorytowym pomiędzy brzegiem i wspomnianą krawędzią dochodzi do około 20 m. Strefa ta jest dobrze widoczna w rzeźbie i ciągnie się

na przestrzeni kilkuset metrów przy wewnętrznym brzegu rzeki. Brzeg opada krawędzią wysokości 6,5 m w kierunku lustra wody.

Profil Mańki wykonany w krawędzi jest wyraźnie dwudzielny (ryc. 4). W górnej części 3-metrowej miąższości występują jasne piaski średnioziarniste przewarstwione ciemnymi mułkami drobno-piaszczystymi o dużo większej zawartości materii organicznej, z widocznymi makroskopowo okruchami węgla. Zróżnicowanie litologiczne tych warstw najlepiej ilustrują wahania wartości strat prażenia, z których maksymalne przekraczają 30%, a minimalne są mniejsze od 5%. Osady piaszczysto-mułcowe są podścielone żwirami, głównie średnioziarnistymi, sięgającymi przeciętnego poziomu lustra wody. W żwirach występują maksymalne zawartości cynku, ołowiu i kadmu, chociaż udział frakcji <0,063 mm, w której koncentracje są

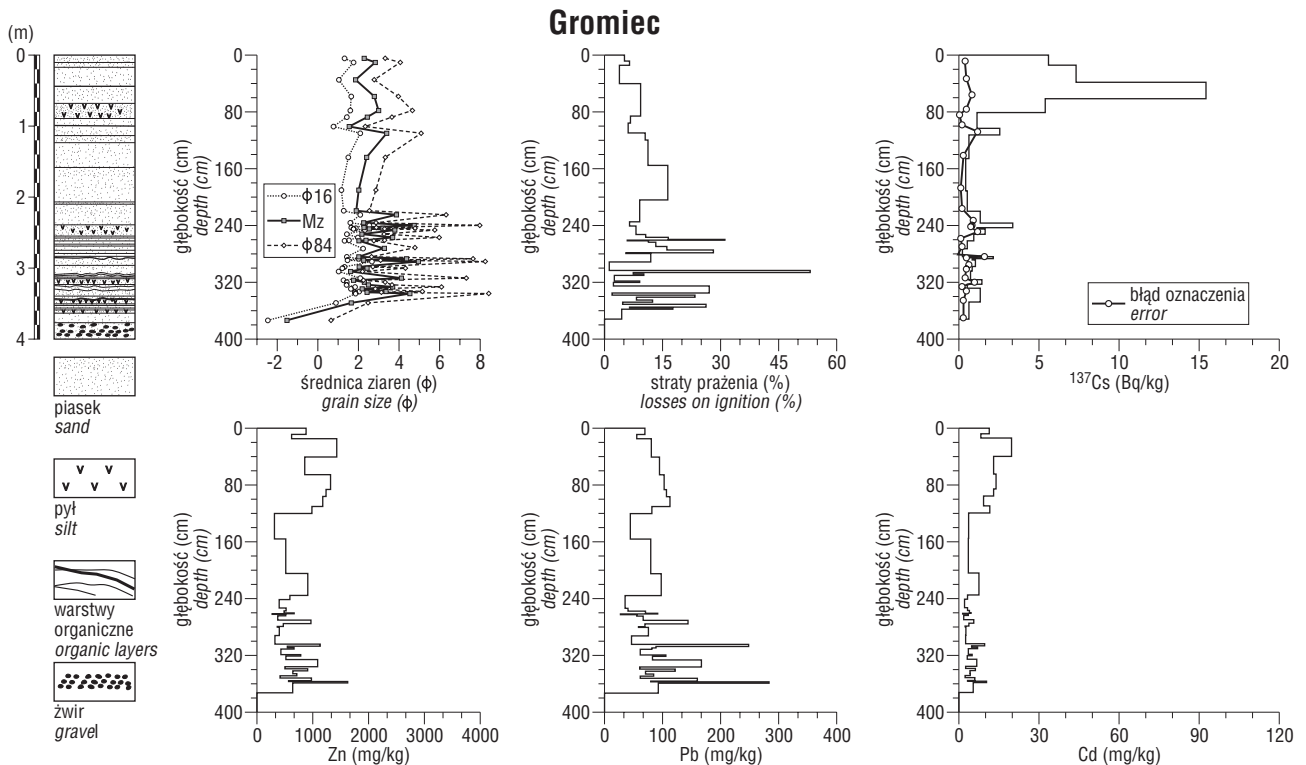


**Ryc. 3.** Przekroje morfologiczne przez przybrzeżną część równiny zalewowej Wisły koło punktów pobrania próbek w Mańkach i Gromcu  
**Fig. 3.** Morphological cross-sections through near-bank part of Vistula river floodplain at sampling sites Mańki and Gromiec



**Ryc. 4.** Litologia osadów oraz aktywność <sup>137</sup>Cs i koncentracja Zn, Pb i Cd w profilu Mańki  
**Fig. 4.** Sediment lithology, <sup>137</sup>Cs activity and concentrations of Zn, Pb and Cd in the Mańki profile





Ryc. 5. Litologia osadów oraz aktywność  $^{137}\text{Cs}$  i koncentracja Zn, Pb i Cd w profilu Gromiec  
 Fig. 5. Sediment lithology,  $^{137}\text{Cs}$  activity and concentrations of Zn, Pb and Cd in Gromiec profile

największe, jest bardzo niewielki. W osadach warstwowych koncentracje kadmu i cynku są nawet o 2 rzędy wielkości większe od wartości naturalnych dla osadów piaszczystych, a ołowiu o rząd wielkości większe (Lis & Pasieczna, 1995). Zmienna, ale wyraźnie widoczna w osadach warstwowych jest także aktywność izotopu  $^{137}\text{Cs}$ , związanego z eksperymentami nuklearnymi prowadzonymi od 1954 r. Osady warstwowe stwierdzono podczas wierceń w całej strefie przybrzeżnej szerokości 20 m. W wyższym poziomie równiny zalewowej występują masywne utwory pylaste pokrywające piaski średnio- i drobnoziarniste, w spągu przewarstwione wkładkami pylastymi. Utwory te spoczywają na żwirach dawnej łachy korytovej na głębokości około 4 m.

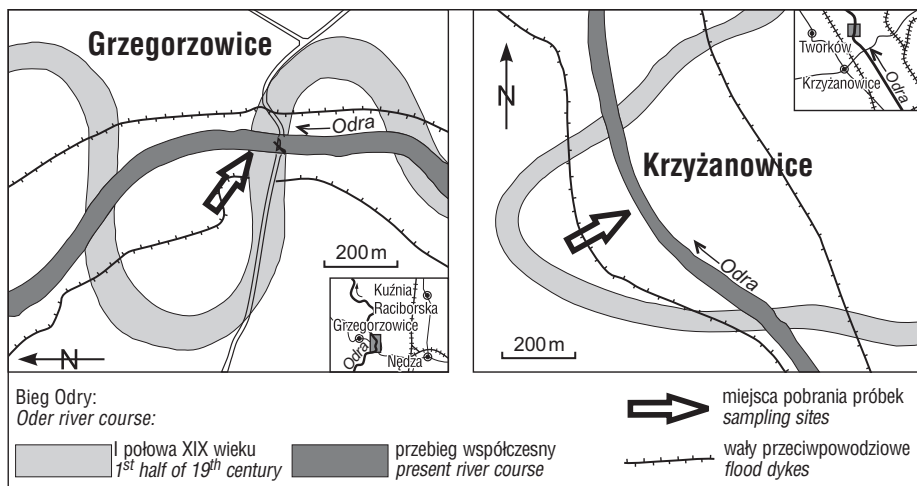
Bardziej urozmaicona jest rzeźba równiny w pobliżu przekroju Gromiec (ryc. 3). Brzeg podobnej wysokości jak w Mańkach przechodzi w osi zakola w strefę wału brzegowego o wysokości nawet 3 m i 20–30 m szerokości. Dalej, równoległe do brzegu, wznosi się krawędź o wysokości około 1,5 m, poza którą teren opada w kierunku następnej krawędzi o przebiegu naśladowującym linię koryta z 1900 r. W większej odległości od koryta, w kierunku wałów przeciwpowodziowych, występuje kolejna krawędź, która może być brzegiem rzeki z około 1840 r. W odległości około 400 m od brzegu jest widoczna kolejna krawędź równoległa do osi doliny, odpowiadająca przebiegowi koryta w końcu XVIII w.

W profilu Gromiec osady piaszczyste spoczywające na żwirach korytowych mają miąższość niemal 4 m (ryc. 5). Jasne i ciemne, naprzemianległe warstwowane osady, podobne do występujących w Mańkach, osiągają miąższość do 1,5 m. Przykrywają je masywne piaski około 2-metrowej miąższości, wyraźnie bardziej gruboziarniste. Osady okrywające są związane z formą wału brzegowego podobnej, około 2-metrowej wysokości. W osadach piaszczystych wartości strat prażenia są znacznie niższe niż w osadach warstwowych, natomiast ich zanieczyszczenie metalami

ciężkimi jest większe. W powierzchniowej, 80-centymetrowej części profilu cez ma wyraźny pik aktywności, chociaż jego wykrywalne wartości występują aż do spągu osadów warstwowych na głębokości ponad 3,5 m. Wiercenia wykonane w zakolach na zewnątrz 20–30-metrowej strefy, ograniczonej krawędzią pokrywającą się z linią brzegu w 1900 r., nie wykazały występowania charakterystycznie warstwowych osadów ani w Gromcu, ani w Mańkach.

**Profile z doliny Odry.** Rzeźba równiny zalewowej tak w pobliżu profilu w Krzyżanowicach, jak w Grzegorzowicach jest mniej urozmaicona niż nad Wisłą. W Krzyżanowicach lewobrzeżna równina zalewowa jest ograniczona wysokim wałem przeciwpowodziowym, położonym w odległości około 150 m od brzegu rzeki (ryc. 6). Wzdłuż brzegu rzeki na długości co najmniej 50 m ciągnie się wał piaszczysty wysokości około 1 m. W płytkich wkopach, które w nim wykonano, obserwowano jedną dominującą warstwę, zidentyfikowaną jako osady katastrofalnej powodzi z 1997 r. Równoległe do wału ciągnie się niewielkie obniżenie ograniczone krawędzią wysokości około 0,5 m; jest ona oddalona od brzegu przeważnie o kilka metrów. Powierzchnia znajdująca się wyżej przechodzi w kierunku wału przeciwpowodziowego w dość wyraźne obniżenie, które jest fragmentem koryta odciętego w 1850 r.; dziś jest ono niemal całkowicie wypełnione osadami.

Profil Krzyżanowice, zlokalizowany podobnie jak pozostałe w krawędzi brzegu rzeki, jest wyraźnie dwudzielny (ryc. 7). W górnej części, o miąższości 2 m, występują osady wyraźnie naprzemianległe warstwowane, podobne do obserwowanych nad Wisłą. W części stropowej są to warstwy kilkunastocentymetrowej miąższości, a poniżej ich miąższość wzrasta do ponad 20 cm. Warstwy te zapadają w kierunku lustra wody. Na głębokości 2 m występują w nich płaskie, kilkucentymetrowe otoczki przykrywające żwiry średnicy 1–2 cm. Poniżej występują żwiry z coraz większym udziałem drobniejszych frakcji. Warstwa ta ma



**Ryc. 6.** Zmiany położenia koryta Odry w XIX i XX w. i lokalizacja miejsc pobrania próbek (wg Wredego, 1753; Sternitzkiego, 1844; *Mapy topograficznej...*, 1982b)

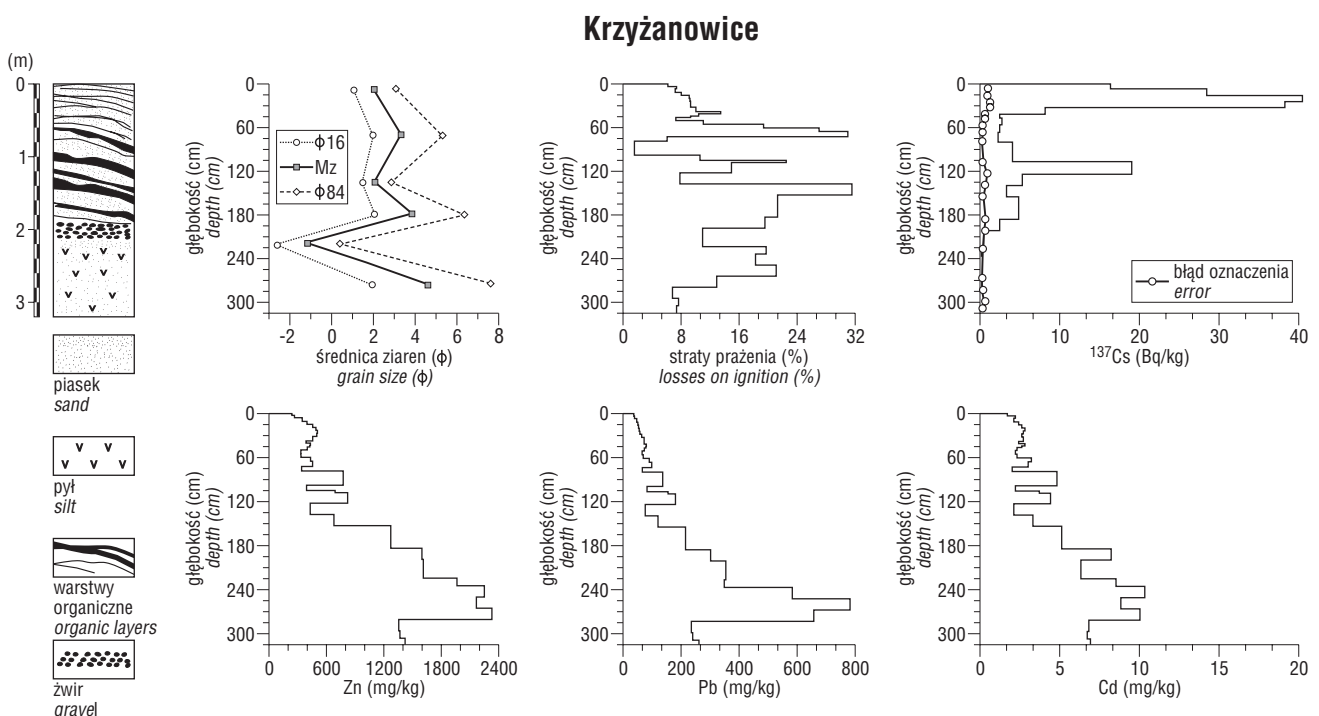
**Fig. 6.** Changes in the channel pattern of the Odra river in 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries and location of sampling sites (according to: Wrede, 1753; Sternitzki, 1844; *Mapa topograficzna...* — topographical maps, 1982b)

miąższość około 30 cm. Pod żwirami występują ciemnoszare lub prawie czarnej muły z dużym udziałem frakcji pylasto-ilastej. Zawartość materii organicznej jest duża nie tylko w osadach warstwowych, w których straty prażenia sięgają 32%, ale także poniżej żwirów, gdzie straty wynoszą około 20%. W osadach tego profilu aktywność <sup>137</sup>Cs wykazuje nietypowo dwa piki, chociaż najwyższe wartości występują w powierzchniowej warstwie miąższości 0,5 m. Mimo zanieczyszczenia osadów warstwowych metalami ciężkimi o rząd wielkości większego od wartości naturalnych, większe koncentracje tych pierwiastków występują w mało zróżnicowanych osadach położonych poniżej żwirów.

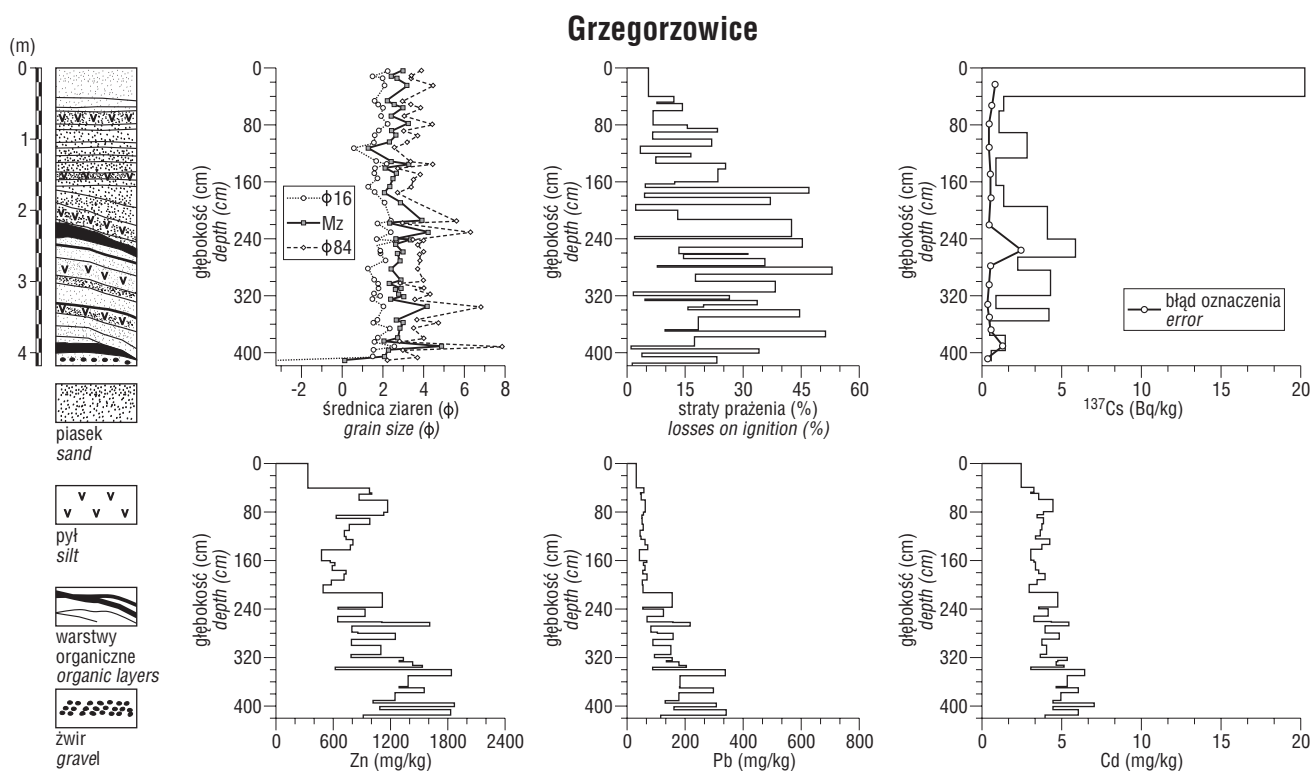
W miejscu, w którym został zlokalizowany profil Grzegorzowice, równina zalewowa w odległości 100 m od koryta

jest ograniczona poziomem tarasu wyższego i wałem przeciwpowodziowym. Współcześnie krawędzie XVIII-wiecznego koryta, odciętego przekopem w 1820 r., są niewidoczne w rzeźbie równiny zalewowej. Jednakże dzięki pracom regulacyjnym i budowie wałów, trwającym w czasie pobierania próbek, w wykopie wykonanym w odległości około 20 m od współczesnego brzegu rzeki zaobserwowano fragmenty kamiennej opaski, znajdujące się około 2 m pod powierzchnią równiny. Natomiast około 1–2 m poniżej były widoczne żwiry XVIII-wiecznego koryta Odry. Wysokość brzegu, w którym wykonano profil, jest podobna jak w dolinie Wisły i wynosi około 6 m.

Osady piaszczysto-pylaste odsłonięte w profilu Grzegorzowice mają 4 m miąższości (ryc. 8). Poniżej znajdują się żwiry, obserwowane także w sąsiednim wykopie. Cechą charakterystyczną osadów drobnoziarnistych jest warstwowanie. Różnice średniej średnicy (Mz) pomiędzy sąsiadującymi warstwami jasnymi i ciemnymi dochodzą do 1,5φ. Odzwierciedleniem tych różnic jest bardzo duża zmienność zawartości materii organicznej z maksymalnymi wartościami strat prażenia powyżej 50%. W ciemnych warstwach często zauważano liczne okruchy węgla. Zróżnicowanie aktywności <sup>137</sup>Cs w postaci dwóch pików — większego w części przypowierzchniowej i mniejszego poniżej — jest bardzo zbliżone do notowanego tak w Krzyżanowicach, jak w Gromcu. W Grzegorzowicach charakterystyczna jest duża głębokość, na której występuje dolny pik — około 2,5 m. Zanieczyszczenie osa-



**Ryc. 7.** Litologia osadów oraz aktywność <sup>137</sup>Cs i koncentracja Zn, Pb i Cd w profilu Krzyżanowice



**Ryc. 8.** Litologia osadów oraz aktywność  $^{137}\text{Cs}$  i koncentracja Zn, Pb i Cd w profilu Grzegorzowice  
**Fig. 8.** Sediment lithology,  $^{137}\text{Cs}$  activity and concentrations of Zn, Pb and Cd in Grzegorzowice profile

dów metalami ciężkimi jest podobne jak w Krzyżanowicach, z tą różnicą, że większe koncentracje wszystkich pierwiastków występują w spągu osadów warstwowych.

### Dyskusja

Urozmaicona rzeźba równiny zalewowej w bezpośrednim sąsiedztwie koryta górnej Wisły sprzyja określeniu zasięgu akumulacji współczesnych osadów aluwialnych. W rzeźbie wyraźnie zaznacza się przebieg szerokiego XVIII-wiecznego koryta Wisły. Odsypy obserwowane w badanych zakolach pomiędzy nim i korytem współczesnym świadczą o szybkiej migracji koryta Wisły w I połowie XIX w., którą następnie wyhamowały prace regulacyjne. Budowa umocnień brzegowych, podjęta w XIX w., odpowiada za rozpoczęcie zważania koryta w obu zakolach, przede wszystkim przy ich brzegach wypukłych. Zważenie było niewielkie od strony brzegów wklęsłych o dużej stabilności. W Gromcu zważenie koryta było większe. Dzięki budowie opasek i ostróg w niektórych odcinkach rzeki część przybrzeżnych osadów korytowych została ustabilizowana. Umożliwiło to depozycję pionowo przyrastających osadów powodziowych. Dla II połowy XIX w. charakterystyczne są masywne piaski grubo- i średnioziarniste przewarstwione wkładkami pylastymi zalegającymi bezpośrednio na żwirach korytowych. Wkładki pylaste, które występują w części spągowej, tworzyły się zapewne w zagłębieniach pomiędzy odsypami piaszczystymi. Natomiast wyraźnie większy udział osadów pylastych w części stropowej może być związany z dużym udziałem zawiesiny ze splukiwania intensywnie użytkowanych gruntów ornych w Beskidach i na Pogórzu Karpackim zarówno w XIX, jak i w XX w.

Naprzemianległe warstwowane osady mineralno-organiczne pojawiają się w XX-wiecznym korycie Wisły. W pobliżu miejsc pobrania próbek ich występowanie jest ograniczone wyraźnie widoczną krawędzią brzegu koryta

z przełomu XIX i XX w., która poniżej osi zakoli jest pokryta osadami tworzącymi 2-, a nawet 3-metrowej wysokości wały brzegowe. Świadczy to, że osady warstwowane pierwotnie tworzyły się w korycie przy brzegu rzeki. Z czasem dzięki utrwaleniu roślinnością narastały i osiągnęły w niektórych miejscach wysokość równiny zalewowej, stając się jej fragmentem nadbudowywanym w dalszym ciągu wałami brzegowymi, szczególnie w miejscach o maksymalnym natężeniu akumulacji poniżej osi meandrów. Szerokość strefy występowania osadów warstwowych wynosi przeważnie kilkanaście–dwadzieścia kilka metrów i jest największa w pobliżu osi zakola. Osady te występują także w innych miejscach w dolinie górnej Wisły przy brzegach XX-wiecznego koryta (Macklin & Klimek, 1992). Cechą charakterystyczną tych osadów, oprócz wyraźnego warstwowania, jest stosunkowo duże zanieczyszczenie metalami ciężkimi. Związki tych pierwiastków charakteryzują się dużą trwałością w środowisku i mogą odzwierciedlać wielkość zanieczyszczenia rzeki w momencie ich depozycji (Ciszewski & Malik, 2004). Szczególnie znaczące zawartości kadmu w osadach warstwowych są związane z eksploatacją rud cynku i ołowiu, najintensywniejszą w II połowie XX w., chociaż źródłem cynku są także różnorodne ścieki komunalne i przemysłowe. W wyniku częstych wahań poziomu wody i zalewania związków metali ciężkich zawarte w tych osadach ulegają remobilizacji, kumulują się w głębiej położonych warstwach osadów i mogą zwiększać zanieczyszczenie wód rzecznych (Ciszewski i in., 2008). Na szybką akumulację tych zanieczyszczonych osadów w XX w. wskazuje także występowanie w nich radioaktywnego cezu.

Zanieczyszczone osady warstwowane zajmują niewielką szerokość współczesnej równiny zalewowej, lecz ich miąższość jest wyjątkowo duża. Ponieważ akumulowały się one w krótkim czasie, także tempo ich przyrostu było bardzo szybkie. Można w przybliżeniu ocenić, że osady o miąższości 4 m w Mańkach, które gromadziły się



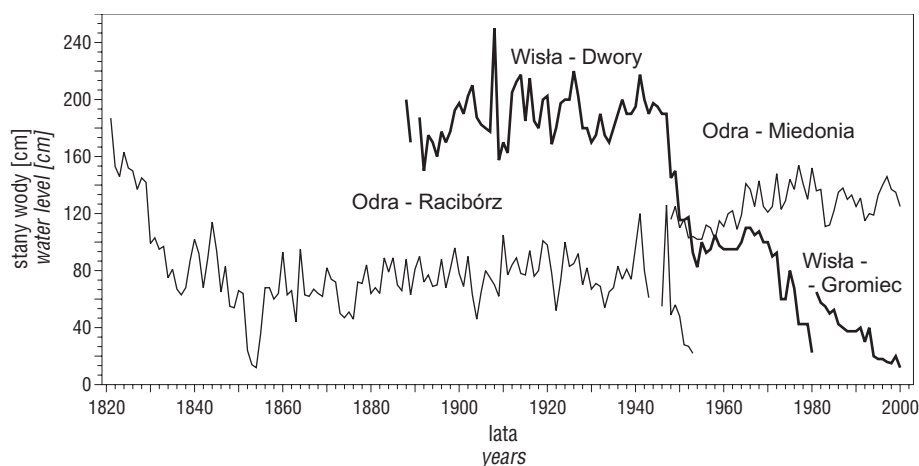
około 100 lat, przyrastały przeciętne około 4 cm rocznie. Rzeczywista akumulacja waha się znacząco w poszczególnych latach, jeśli weźmie się pod uwagę miąższość niektórych warstw osadów, zmieniającą się od 1 cm do ponad 30 cm (Czajka, 2007). Podobnie szybkie tempo akrecji piaszczystych i piaszczysto-mułkowych osadów rytmicznie warstwowanych stwierdzono także w innych miejscach w Europie, np. w podlegającym degradacji korycie rzeki Tyne (Rumsby, 2000). Z kolei szybka akumulacja takich osadów w dolinie rzeki Axe w Wielkiej Brytanii była związana z eksploatacją i przeróbką rud (Macklin, 1985).

Rozmiary i szybkie tempo akumulacji osadów obserwowanej przy brzegach Wisły i Odry są niewątpliwie związane z regulacją koryt, zazwyczaj wywołującą niemal natychmiastową erozję i zwiększenie ilości transportowanych osadów (Kesel, 2003). W dolinie Wisły najbardziej spektakularnym czynnikiem wpływającym na wielkość akumulacji jest pogłębienie koryta, wywołane głównie jego zawężeniem opaskami i ostrogami począwszy od XIX w., a także skróceniem biegu rzeki. Prace regulacyjne w tym odcinku były najintensywniejsze przed II wojną światową i tuż po niej. Zmiany intensywności pogłębienia w sąsiedztwie badanych profili w przybliżeniu są odzwierciedlone przez spadek minimalnych rocznych stanów wody obserwowany w posterunku Oświęcim-Dwory, a po jego przeniesieniu w posterunku Gromiec (ryc. 9). Rzeczywiste pogłębienie, maskowane efektem podniesienia stanów wody wskutek zawężenia koryta w XX w., było większe i w górnym biegu Wisły zmieniało się od około 3 m w Goczałkowicach do nawet około 4 m w Krakowie (Łajczak, 1995). W okresie wzmoczonego pogłębienia koryta było także obserwowane nasilenie transportu rumowiska dennego, a następnie jego sukcesywny spadek w II połowie XX w. (Łajczak, 2003). Osady, głównie frakcji piaszczystej transportowane z dużą prędkością w czasie powodzi w przybrzeżnej części koryta były deponowane i utworzyły jaśniejsze warstwy piaszczyste. Natomiast przy niższej prędkości w czasie opadania fali powodziowej był deponowany osad drobniejszej frakcji, zawierający cząstki organiczne pochodzące głównie ze ścieków komunalnych i bytowych Górnego Śląska. W ten sposób tworzyły się warstwy ciemniejsze zawierające okruchy węgla kamiennego, których zawartość może sięgać kilkudziesięciu procent (Rutkowski, 1986).

Podobne osady akumulowały się także w dolinie górnej Odry, a zasięg ich występowania jest podobnie jak w dolinie Wisły związany z regulacją koryta. Jednakże w dolinie Odry regulację rozpoczęto jeszcze w połowie XVIII w. skracaniem zakoli. Skracanie to było też początkowo główną przyczyną pogłębienia koryta, chociaż pewien wpływ miały prawdopodobnie także nieregularnie rozmieszczone ostrogi. Na ten związek może wskazywać spadek minimalnych rocznych stanów wody w Raciborzu już w początkach XIX w., a więc

około 100 lat wcześniej niż na Wiśle (ryc. 9). Poprzedził on budowę regularnych umocnień brzegów prowadzoną z przerwami od II połowy XIX w. Spadek minimalnych stanów wody w Raciborzu zapewne nie odzwierciedla rzeczywistego pogłębienia koryta Odry, które w Grzegorzowicach na podstawie około 6-metrowej wysokości brzegów, a więc podobnej jak w górnej Wiśle, można szacować na nie mniej niż 3 m (Ciszewski & Dubicki, 2008). Około 2-krotne zmniejszenie szerokości koryta Odry w XIX w. stworzyło strefę pionowego przyrostu osadów o szerokości dochodzącej nawet do 60 m. Szerokość ta jest jednak zmienna; w Krzyżanowicach przebieg niewysokiej krawędzi widocznej w morfologii lewobrzeżnej równiny zalewowej wskazuje na kilkumetrową szerokość, natomiast pozostałości opaski w Grzegorzowicach pokazują szerokość koryta w II połowie XIX w. większą o około 20 m na lewym brzegu rzeki.

Wyraźne warstwowanie osadów akumulowanych zarówno w dolinie Odry, jak i w dolinie Wisły wydaje się być związane głównie z dużą ilością substancji organicznej transportowanej rzeką. Świadczy o tym występowanie podobnych osadów w dolinie Małej Panwi, która nie była uregulowana (Ciszewski & Malik, 2004). W Małej Panwi źródłem materii organicznej były głównie ścieki z zakładów celulozowych, natomiast w Wiśle i Odrze zrzuty wód z kopalń węgla i inne, bardzo liczne źródła ścieków przemysłowych i komunalnych. Podobne osady akumulowane w XIX i w początkach XX w. opisano także w brzegach silnie zanieczyszczonej rzeki Geul w Belgii (Swennen i in., 1994). Cechą charakterystyczną tych osadów była niewielka miąższość, laminacja oraz brak ciągłości występowania wzdłuż brzegów. Miąższość osadów górnej Wisły i Odry jest wielokrotnie większa, a warstwowanie znacznie wyraźniejsze. Związane jest to z regulacją, której skutkiem była duża ilość materiału transportowanego i akumulowanego w czasie powodzi. Występowanie osadów warstwowanych



**Ryc. 9.** Zmiany minimalnych rocznych stanów wody w posterunku Dwory (od 1981 r. Gromiec) na Wiśle oraz w posterunku Racibórz (od 1948 r. Miedonia) na Odrze (wg *Sprawozdań Komisji Fizjograficznej...*, 1867–1893; *Roczników Centralnego Biura Hydrograficznego*, 1893–1912; *Roczników Służby Hydrograficznej*, 1913–1934; *Jahrbuch für die Gewässerkunde des Weichselgebietes*, 1935–1937; *Hoch, mittel und niedrig Wasserstände der Oder*, 1908; *Jarbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands*, 1901–1939, oraz roczników Państwowej Służby Hydrologicznej — początkowo PIHM, później IMGW)

**Ryc. 9.** Changes of the minimum annual water stages at the Dwory gauge station (since 1981 at Gromiec) on the Vistula river and at the Racibórz gauge station (since 1948 at Miedonia) on the Odra river (according to: *Sprawozdania Komisji Fizjograficznej...*, 1867–1893; *Roczniki Centralnego Biura Hydrograficznego*, 1893–1912; *Roczniki Służby Hydrograficznej*, 1913–1934; *Jahrbuch für die Gewässerkunde des Weichselgebietes*, 1935–1937; *Hoch, mittel und niedrig Wasserstände der Oder*, 1908; *Jarbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands*, 1901–1939, and yearbooks of Polish State Hydrological Service — abbr. first PIHM, after IMGW)

nie jest jednak spowodowane samą regulacją, gdyż w uregulowanych odcinkach środkowej i dolnej Odry bardziej odległych od zagłębi przemysłowych osady te w zasadzie nie występują. Z drugiej strony nawet w odcinkach zanieczyszczonych tworzą się one jedynie w strefie przykorytowej, a w większej odległości od koryta, w miejscach o wolniejszej depozycji, tworzą się mało zróżnicowane osady mineralne lub mineralno-organiczne (Ciszewski, 2006).

### Wnioski

Występowanie zanieczyszczonych, naprzemiennie warstwianych jasnych fluwialnych osadów mineralnych i ciemnych mineralno-organicznych w dolinach górnej Wisły i Odry jest specyficznym i nieopisywanym do tej pory połączonym efektem szybkiej akumulacji oraz bardzo silnego zanieczyszczenia rzek.

Szybka akumulacja osadów została wywołana XIX- i XX-wieczną regulacją koryt, polegającą na ich skróceniu, zawężeniu systemem opasek i ostróg, oraz zachodzącą pod jej wpływem erozją i pogłębieniem.

Akumulacja warstwianych osadów początkowo zachodziła na przybrzeżnych łachach korytowych, dzięki ich stabilizacji ostrogami i umocnieniami brzegów. Z czasem, dzięki utrwaleniu roślinnością, osady te przyrastały, osiągając wysokość zbliżoną do równiny zalewowej i stając się jej częścią nadbudowywaną dalej w niektórych miejscach wałami brzegowymi.

Osady warstwiane obu rzek mają miąższość nawet 4 m i ciągną się strefami o szerokości dochodzącej do 20–30 m wzdłuż brzegów na odcinkach wielu kilometrów. Zasięg ich występowania jest związany z wielkością zwięźnia oraz wcięcia koryt wywołanych regulacją w XIX i XX w.

Analizowane osady zawierające okruchy węgla akumulowały się od końca XIX w. i są zanieczyszczone metalami ciężkimi o zawartościach przekraczających wartości naturalne o dwa rzędy wielkości.

Badania były finansowane częściowo z grantu KBN 2 P04E 05529.

### Literatura

- ABSALON D. & MATYSIK M. 2007 — Changes in water quality and runoff in the Upper Oder River Basin. *Geomorphology*, 92: 106–118.
- BABIŃSKI Z. 1992 — Hydromorphological consequences of regulating the Lower Vistula, Poland. *Regul. Rivers Res. Manag.*, 7: 337–348.
- BORN A. 1948 — Regulacja Odry i rozbudowa urządzeń technicznych. [W:] Grodek A., Kielczewska-Zalewska M. & Zierhofer A. (red.) *Monografia Odry*. Instytut Zachodni, Poznań: 419–553.
- CISZEWSKI D. 2006 — Wpływ regulacji koryta Odry na akumulację osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi: zróżnicowanie, zmiany w czasie, zagrożenie środowiskowe. *Stud. Naturae*, 52.
- CISZEWSKI D., CZAJKA A. & BŁAŻEJ S. 2008 — Rapid migration of heavy metals and <sup>137</sup>Cs in alluvial sediments, Upper Odra River valley, Poland. *Environ. Geol.*, 55: 1577–1586.
- CISZEWSKI D. & DUBICKI A. 2008 — Reżim hydrologiczny i współczesne przemiany koryta i równiny zalewowej Odry. [W:] Starkel L., Kostrzewski A., Kotarba A. & Krzemiński K. (red.) *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków: 371–385.
- CISZEWSKI D. & MALIK I. 2004 — The use of heavy metal concentrations and dendrochronology in the reconstruction of sediment accumulation, Mała Panew River valley, southern Poland. *Geomorphology*, 58: 161–174.
- CZAJKA S. 2005 — Changes in river discharge structure and regime in mining-industrial-urban areas. *Reg. Environ. Chang.*, 5: 18–26.
- CZAJKA A. 2005 — Accumulation of sediments within the channelized reach of the Upper Odra River, Poland. [In:] Batalla R.J. & Garcia C. (eds.) *Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins*. IAHS Publications, 299: 191–196.
- CZAJKA A. 2007 — Środowisko sedymentacji osadów przykorytowych rzek uregulowanych na przykładzie górnej Odry i górnej Wisły. Wyd. UŚ, Katowice.
- HELIOS-RYBICKA E., WARDAS M., ADAMIEC E. & STRZEBOŃSKA M. 2001 — Ocena zanieczyszczenia rzek Odry i Wisły — przeszłość i teraźniejszość. *Geol. AGH*, 27: 559–671.
- Hoch, mittel und niedrig Wasserstände der Oder, 1908 — Theiner & Meinicke, Breslau.
- Jahrbuch für die Gewässerkunde des Weichselgebietes, 1935–1937 — Warszawa, wyd. 1941.
- Jarbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands Preussischen Landesanstalt für Gewässerkunde, 1901–1939 — E.S. Mittler & Sohn, Königliche Hofbuchhandlung und Hofbuchdruckerei, Berlin.
- KESEL R.H. 2003 — Human modifications of the sediment regime of the Lower Mississippi River flood plain. *Geomorphology*, 56: 325–334.
- KNOX J.C. 2006 — Floodplain sedimentation in the upper Mississippi Valley: Natural versus human accelerated. *Geomorphology*, 79: 286–310.
- KUMMERER C. 1855 — Administrativ-karte von den Koenigreichen Galizien und Lodomerien [skala ok. 1 : 115 200]. BL. 7. Verlag & Eigenthum von Autaria, Wien.
- LECCE S.A. & PAVLOVSKY R.T. 2001 — Use of mining-contaminated sediment tracers to investigate the timing and rate of historical flood plain sedimentation. *Geomorphology*, 38: 85–108.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Polski 1 : 250 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- ŁAJCZAK A. 1995 — The impact of river regulation, 1850–1990, on the channel and floodplain of the upper Vistula River, southern Poland. [In:] Hickin E.J. (ed.) *River geomorphology*. Wiley, Chichester-New York: 209–233.
- ŁAJCZAK A. 2003 — Contemporary transport of suspended material and its deposition in the Vistula River, Poland. *Hydrobiologia*, 494: 43–49.
- MACKLIN M. 1985 — Flood-plain sedimentation in the upper Axe Valley, Mendip, England. *Trans. Inst. Br. Geogr.*, 10: 235–244.
- MACKLIN M.G. & KLIMEK K. 1992 — Dispersal, storage and transformation of metal-contaminated alluvium in the upper Vistula basin, southwest Poland. *Appl. Geogr.*, 12: 7–30.
- Mapa topograficzna w skali 1:10 000, 1982a — Ark. 532.331, 162.342. OPGK, Kraków.
- Mapa topograficzna w skali 1: 10 000, 1982b — Ark. 484.233, 530.444. OPGK, Katowice.
- MARRON D. 1992 — Floodplain storage of mine tailings in the Belle Fourche River system: a sediment budget approach. *Earth Surf. Process. Landf.*, 17: 675–685.
- MIEG F. 1779–1782 — Karte des Koenigreichs Galizien und Lodomerien [skala 1 : 28 800]. Col. II, sec. 4. Wien.
- Roczniki c.k. Centralnego Biura Hydrograficznego 1893–1912. Dorzecze Wisły — Wyd. Służba Hydrograficzna w Austrii.
- Roczniki Hydrograficzne 1913–1934. Dorzecze Wisły — Wyd. Służba Hydrograficzna w Polsce.
- RUMSBY B. 2000 — Vertical accretion rates in fluvial systems: a comparison of volumetric and depth-based estimates. *Earth Surf. Process. Landf.*, 25: 617–631.
- RUTKOWSKI J. 1986 — The occurrence on carboniferous coal of anthropogenic origin in the contemporaneous Vistula River sediments near Cracow, southern Poland. *Earth Surf. Process. Landf.*, 11: 321–326.
- SIMON A. & RINALDI M. 2006 — Disturbance, stream incision and channel evolution: the roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology*, 79: 361–383.
- Spezialkarte der Oesterreichisch-Ungarischen Monarchie, 1905 — Ark. Myslovitz-Oświęcim. K. & K. Militär-Geographisches Institut, Wien.
- Sprawozdanie Komisji Fizjograficznej obejmujące pogląd na czynności dokonane w roku... oraz materiały do fizjografii Galicji, 1867–1893 — Kraków.
- STERNITZKI 1844 — Oderstrom Karte [skala ok. 1 : 5000]. Oderstrombauverwaltung, Breslau.
- SWENNEN R., VAN KEER I. & DE VOS W. 1994 — Heavy metal contamination in overbank sediments of the Geul river (east Belgium): its relation to former Pb-Zn mining activities. *Environ. Geol.*, 24: 12–21.
- TRAFAS K. 1992 — Zmiany biegu Wisły pomiędzy ujściem Przemysły a Sandomierzem. [W:] Trafas K. (red.) *Zmiany biegu górnej Wisły i ich skutki*. Wiśła w dziejach i kulturze Polski. Wyd. UW, Warszawa: 31–61.
- WALLING D.E., HE Q. & NICHOLAS A.P. 1996 — Floodplains as suspended sediment sinks. [In:] Anderson M.G., Walling D.E. & Bates P.D. (eds.) *Floodplain processes*. Wiley, Chichester-New York: 399–439.
- WAROWNA J. 2003 — Wpływ zabudowy hydrotechnicznej na warunki sedymentacji w korycie powodziowym Wisły na odcinku Zawichost-Puławy. Wyd. UMCS, Lublin.
- WREDE F.C. 1753 — Kriegskarte von Schlesien [skala 1 : 33 333]. Glatz.
- WYŻGA B. 2001 — Impact of the channelization-induced incision of the Skawa and Wisłoka rivers, southern Poland, on the conditions of overbank deposition. *Regul. Rivers Res. Manag.*, 17: 85–100.

Praca wpłynęła do redakcji 2.12.2008 r.  
Po recenzji akceptowano do druku 10.03.2009 r.